



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA



**MELHORIA DAS CONDIÇÕES DA ÁGUA UTILIZANDO
FILTRO DE AREIA MODIFICADO COM BIOMASSA**

Vanusa Maria Ferreira de Oliveira

Uberlândia - MG
2014



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA



**MELHORIA DAS CONDIÇÕES DA ÁGUA UTILIZANDO FILTRO DE
AREIA MODIFICADO COM BIOMASSA**

Vanusa Maria Ferreira de Oliveira

Orientador: Moilton Ribeiro Franco Júnior

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Química da Universidade
Federal de Uberlândia como parte dos
requisitos necessários à obtenção do título
de Mestre em Engenharia Química.

Uberlândia - MG
2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

- O48m Oliveira, Vanusa Maria Ferreira de, 1988-
2014 Melhoria das condições da água utilizando filtro de areia modificado
com biomassa / Vanusa Maria Ferreira de Oliveira. - 2014.
88 f. : il.
- Orientador: Moilton Ribeiro Franco Júnior.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química.
Inclui bibliografia.
1. Engenharia química - Teses. 2. Águas residuais - Purificação -
Teses. 3. Resíduos agrícolas - Teses. I. Franco Júnior, Moilton Ribeiro.
II. Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Química. III. Título.

CDU: 66.0

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA QUÍMICA, EM 28/07/2014.

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Moilton Ribeiro Franco Junior

Orientador - PPGEQ/UFU



Prof. Dr. Ricardo Francisco Pires

UFTM



Prof. Dr. Miria Hespanhol Miranda Reis

PPGEQ/UFU



Prof. Dr. Ubirajara Coutinho Filho

PPGEQ/UFU

Ao amigo e companheiro Éder, que sempre esteve ao meu lado, com quem divido emoções, preocupações e alegrias, sucesso e insucesso momentâneos, que participou desde o início deste trabalho, dando sua opinião e colaboração, agradeço e dedico com amor e carinho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela oportunidade da vida, pela inexplicável presença, proteção e inspiração em todos os momentos, principalmente nos mais difíceis.

Aos meus pais Antonio e Iraní, pela confiança que sempre depositaram em mim, pelo amor e dedicação com que me ensinaram o melhor que podiam, os princípios de humildade, honestidade e respeito.

As minhas irmãs Andreza e Fabyana, que acompanharam toda essa jornada, mesmo que distante fisicamente, mas confiando e me incentivando sempre.

Aos meus amigos e a minha família, pelo carinho e confiança.

Ao orientador Moilton, pelo trabalho a mim confiado, pelo apoio e orientação.

Ao professor Ubirajara pela atenção e colaboração.

As técnicas dos laboratórios de ensino, Cleuzilene e Roberta e do Laboratório Multusuário de Microscopia Eletrônica, Francielle.

A Faculdade de Engenharia Química e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, pela oportunidade do trabalho.

A CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão da bolsa, sem a qual a realização deste projeto seria impossível.

A todos que direta ou indiretamente me auxiliaram na realização deste projeto, com incentivo, boas conversas, motivação para ir em busca dos meus ideais.

*“Todas as coisas, na Terra,
passam...
Os dias de dificuldades,
passarão...
Passarão também
os dias de amargura
e solidão...
As dores e as lágrimas
passarão.
As frustrações
que nos fazem chorar...
um dia passarão.
A saudade do ser querido
que está longe, passará.*

*Assim,
façamos a nossa parte
o melhor que pudermos,
sem esmorecimento,
e confiemos em Deus,
aproveitando cada segundo,
cada minuto que, por certo...
também passarão...”*

Chico Xavier - Emmanuel

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE SÍMBOLOS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Introdução	15
1.2. Justificativas	17
1.3. Objetivos	17
1.3.1. Objetivos específicos	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1. Água no mundo	19
2.2. Água no Brasil	20
2.3. Água e sua importância na saúde	22
2.4. Qualidade da água	24
2.4.1. Características físicas	26
2.4.2. Características químicas	27
2.4.3. Características biológicas	27
2.5. Metodologias de purificação da água	28
2.6. Tecnologias para tratamento domiciliar	30
2.6.1. Materiais alternativos para melhoramento do desempenho de BSF.....	33
a) Casca de Café	33
b) Casca de Pinus	36
3. MATERIAIS E MÉTODOS	39
3.1. Preparação do material	39
3.2. Montagem do sistema	41
3.3. Preparação da água bruta sintética	43
3.4. Análise do tratamento	44
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
4.1. Caracterização dos vegetais	49
4.2. Taxa de filtração	51

4.3. Redução de turbidez	55
4.4. Remoção de cor	58
4.5. Condutividade elétrica	61
4.6. Variação de pH	63
4.7. Variação de temperatura	65
4.8. Reduções dos parâmetros químicos	66
4.9. Redução de coliformes	71
5. CONCLUSÕES	75
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	77
APÊNDICE	78
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Regiões hidrográficas brasileiras e disponibilidade hídrica	20
Figura 2.2 – Etapas de tratamento de um sistema de ciclo completo	29
Figura 2.3 – Quatro BSF estudados por Baig et al. (2011)	32
Figura 2.4 – Principais estados brasileiros produtores de café	34
Figura 2.5 – Desenho esquemático do fruto do grão de café	35
Figura 3.1 – Materiais utilizados como meio de filtração	40
Figura 3.2 – Dois tipos de cascalho utilizados	40
Figura 3.3 – Granulometria da areia utilizada	41
Figura 3.4 – Estrutura do filtro orgânico estudada por Lima (2006)	41
Figura 3.5 – Desenho esquemático do sistema de filtração	42
Figura 3.6 – Estrutura interna dos filtros estudados	43
Figura 3.7 – Cartela de comparação para análise de cor aparente	45
Figura 3.8 – Cartela de comparação para análise de nitrogênio amoniacal	46
Figura 3.9 – Instrumentos para as medidas de turbidez, condutividade elétrica e pH	47
Figura 3.10 – Kit para análises biológicas	47
Figura 4.1 – Superfície da casca de pinus	50
Figura 4.2 – Superfície do pergaminho do grão de café	50
Figura 4.3 – Superfície da casca de café	51
Figura 4.4 – Comportamento da vazão de filtração de A1 e C2 com o tempo	53
Figura 4.5 – Vazão de filtração dos filtros A2 e P2 ao longo do tempo de estudo	54
Figura 4.6 – Vazão de filtração dos filtros modificados ao longo do tempo de estudo	55
Figura 4.7 – Variação de turbidez ao longo do tempo devido ao tratamento P1	57
Figura 4.8 – Variação de turbidez dos efluentes dos filtros de areia fina e casca de pinus	58

Figura 4.9 – Amostra do efluente do filtro de areia e modificado com casca de café	59
Figura 4.10 – Variação da CE devido a filtração com areia grossa	61
Figura 4.11 – Variação da CE devido a filtração com filtro de areia e C2	62
Figura 4.12 – Variação da CE devido a filtração com filtro de areia e P2	63
Figura 4.13 – Variação de pH devido a filtração com casca de café	64
Figura 4.14 – Variação de pH devido a filtração com filtro de pinus	64
Figura 4.15 – Variação de pH devido a filtração com filtro de areia	65
Figura 4.16 – Variação dos níveis de cloreto da água filtrada	67
Figura 4.17 – Variação dos níveis de dureza da água filtrada	68
Figura 4.18 – Variação da concentração de nitrogênio devido a filtração com areia grossa ..	69
Figura 4.19 – Variação dos níveis de nitrogênio amoniacal com o tratamento C2	70
Figura 4.20 – Variação dos níveis de nitrogênio amoniacal com o tratamento P2	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Padrões organoléptico e microbiológico da água	25
Tabela 2 – Caracterização química da casca de café	35
Tabela 3 – Caracterização química da casca de pinus	38
Tabela 4 – Vazão de filtração de cada tratamento estudado em, mLmin^{-1}	52
Tabela 5 – Valores de turbidez, em NTU, e porcentagem de remoção	56
Tabela 6 – Valores de cor aparente da água bruta sintética e do filtrado, em uH	59
Tabela 7 – Valores de temperatura da água bruta e dos filtrados durante o estudo	66
Figura 8 – Valores de cloreto, em mgL^{-1} , e porcentagem de redução	67
Tabela 9 – Valores de dureza, em mgL^{-1} , e porcentagem de redução	68
Tabela 10 – Valores de nitrogênio amoniacal, em mgL^{-1} , e porcentagem de redução	69
Tabela 11 – Concentração de coliformes totais e porcentagem de remoção	72
Tabela A.1.a – Valores de vazão dos filtros com areia grossa, em mLmin^{-1}	78
Tabela A.1.b – Valores de vazão, em mLmin^{-1} , do filtro de areia e do de casca de café	79
Tabela A.1.c – Valores de vazão, em mLmin^{-1} , do de areia e do de casca de pinus	80
Tabela A.2.a – Resultados de turbidez, em NTU, dos filtros modificados	81
Tabela A.2.b – Níveis de turbidez, em NTU, do filtrado com areia fina e casca de café	82
Tabela A.2.c – Níveis de turbidez, em NTU, do filtrado com areia fina e casca de pinus	83

LISTA DE SÍMBOLOS

A1 – Filtro de areia fina para comparar com o filtro de casca de café

A2 – Filtro de areia fina para comparar com o filtro de casca de pinus

ANA – Agência Nacional de Águas

AS1 – Água bruta sintética quando se comparou as duas biomassas em filtros de areia grossa

AS2 – Água bruta sintética quando se comparou o filtro de areia fina com o de casca de café

AS3 – Água bruta sintética quando se comparou o filtro de areia fina com o de casca de pinus

BSF – Biosand filter

C1 – Filtro modificado com casca de café e areia grossa

C2 – Filtro modificado com casca de café e areia fina

CE – Condutividade Elétrica

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

dp – Desvio padrão

NTU – Unidade Nefelométrica de Turbidez

P1 – Filtro modificado com casca de pinus e areia grossa

P2 – Filtro modificado com casca de pinus e areia fina

UFC – Unidade Formadora de Colônia

UV – Ultravioleta

Tm – Turbidez média

Vm – Vazão média

VMP – Valor Máximo Permitido

RESUMO

O desenvolvimento de uma região está intimamente ligado à qualidade de água disponível à população. Sendo assim, técnicas de purificação da água são desenvolvidas a fim de atender a regiões em que o tratamento convencional se torna inviável ou mesmo em condições emergenciais. Com o intuito de aliar o reaproveitamento de resíduos à operação de filtração de água, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de filtros de areia com recheio modificado com adição de casca de café ou de pinus, mas sem submeter os materiais a tratamentos de ativação, para a remoção de contaminantes químicos e físicos do fluido percolante. Foram construídos filtros em PVC, providos de camadas internas de areia e biomassa, que eram alimentados com água bruta sintética diariamente. As amostragens de filtrado foram realizadas, semanalmente, durante um mês, para cada recheio empregado. Os resultados mostraram que a biomassa de café não se mostrou como uma modificação eficiente para a purificação da água, uma vez que além de não reduzir a turbidez da água, provocou elevação dos valores deste parâmetro, enquanto que a casca de pinus pode ser um complemento interessante para redução de turbidez, principalmente se o tempo de operação não ultrapassar 15 dias. Além disso, ambos os materiais apresentaram uma tendência em reduzir o pH da água, mantendo-o dentro da faixa de neutralidade entre 6,0 e 7,0 em média, enquanto que a condutividade elétrica foi elevada em todos os testes. Os resultados ainda permitiram observar que, nas condições adotadas, a modificação proposta não é viável, uma vez que não realizar a limpeza dos filtros, ao invés de promover a remoção de micro-organismos, provocou a contaminação do líquido. Enfim, a biomassa de pinus apresentou potencial de uso como complemento de filtração, porém em tratamentos primários, em que uma posterior desinfecção seja realizada.

Palavras-chave: tratamento de água, uso doméstico, resíduos de agricultura.

ABSTRACT

The development of a region is closely linked to the quality of water available to the population. Thus, water purification techniques are developed to be applied in regions where conventional treatment is not feasible, or even in emergency conditions. In order to combine the reuse of waste materials to water filtration operation, the present study aimed to evaluate the efficiency of sand filters adding biomass of coffee and pine bark, but without subjecting the materials to activation treatments, to remove chemical and physical contaminants from the percolating fluid. PVC filters provided with inner layers of sand and biomass, with were fed with synthetic raw water daily, were built. The filtered samples were analyzed weekly for one month for each employee filling. The results showed that biomass of coffee did not represent an efficient modification for water purification, since it increases the turbidity of the water. While the pine bark, may be an interesting complement for turbidity reduction, especially if the operation time does not exceed 15 days. In addition, both materials showed a tendency to reduce the pH of the water, keeping it within the range of neutrality between 6.0 and 7.0 on average, while the electrical conductivity was high in all tests. Results also showed that, under the adopted conditions, the proposed modification is not feasible, since rather than promoting removal of microorganisms the process, caused contamination of the liquid, probably because the filters were not cleaned during the operation time. Finally, the biomass of pine has a potential use as a supplement to filtering, but in primary treatments, when a subsequent disinfection is performed.

Keywords: water treatment, domestic use, agriculture residue.

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1. Introdução

Nos últimos anos, as transformações devido ao avanço da tecnologia, paralelamente ao descontrolado crescimento populacional, provocaram inúmeras mudanças do meio ambiente. Como, por exemplo, o acelerado desmatamento, degradação de áreas naturais e contaminação de rios e nascentes. Não somente no Brasil, como também em todo o mundo, a escassez da água é um problema recorrente, devido à falta de reservas naturais, aliada ao mau uso deste recurso e às mudanças climáticas (DOMINGOS, 2013).

O nordeste brasileiro é a região mais afetada pela seca. Todos os anos, poços e açudes secam e as famílias da região ficam vários dias sem água, tendo às vezes, que buscá-la muito longe de suas casas e utilizar a que resta no fundo dos reservatórios, barrenta e contaminada (PINTO; HERMES, 2006). Programas governamentais existem para fornecer água com certa regularidade, pelo uso de caminhões a levam até as casas mais necessitadas, mas na maioria das vezes o recurso que chega não é de boa qualidade.

Sabe-se que muitos organismos causadores de doenças como, por exemplo, cólera, febre tifoide, hepatite, entre outras, são transmitidos pela água. O modo de transmissão de doenças mais comum é o da ingestão de água contaminada, mas a falta de higiene correta de utensílios de uso doméstico, em geral, causada pela quantidade de água insuficiente também é considerado um mecanismo de disseminação. Logo, a manutenção da saúde está intimamente ligada a programas de tratamento e distribuição de água e saneamento básico (BRASIL, 2006).

O processo de tratamento de água para consumo humano envolve uma série de operações cuja finalidade principal é a clarificação e desinfecção. Os sistemas convencionais de tratamento consistem numa rede de captação e distribuição, operações de coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, correção de pH, cloro e flúor e também pode-se utilizar adsorção para remoção de odor e sabor da água. Devido a sua complexidade, o sistema convencional centralizado não atende as regiões mais distantes dos centros urbanos, ou mesmo onde a escassez de água é recorrente. Sendo assim, sistemas não convencionais ganham cada vez mais espaço.

A filtração é uma das operações do processo de tratamento de água, um método

desenvolvido há muitos anos, consiste em um sistema com filtro lento de areia capaz de reduzir cor, turbidez e micro-organismos (DUARTE, 2011). Uma modificação desta metodologia é conhecida como BSF, sigla que deriva do inglês, *biosand filter*, devido a uma camada biológica que se forma na superfície do meio filtrante, sendo esta camada a principal responsável pela remoção de micro-organismos. Estes filtros são operados de forma contínua de modo que a areia sempre fica submersa (ELLIOTT et al., 2011). Alternativamente, podemos ter modificações deste sistema, cujo meio filtrante consiste, além de areia, em uma camada com outros materiais, como por exemplo, zeólitas naturais (MWABI et al., 2011), casca de árvore (BAIG et al., 2011) ou outros que apresentem capacidade de retenção de partículas.

Materiais gerados como resíduos da agricultura, em muitos casos, já foram estudados como adsorventes naturais devido à sua estrutura porosa. Montanher (2009) utilizou biomassa de bagaço de laranja para remoção de metais pesados. Santos et al. (2007) estudaram a capacidade de redução de poluentes orgânicos de efluentes aquosos, com sabugo de milho, serragem de madeira, mesocarpo de coco e bagaço de cana. Coelho et al. (2012) trabalharam com a remoção de antrazina em água de abastecimento público, com carvão ativado produzido com a casca de coco verde. Raymundo et al. (2008) utilizaram casca de café para remoção de corante têxtil de efluentes industriais.

Dentre as maiores produções da agroindústria brasileira, o café ainda tem papel importante, uma produção entre 46,53 e 50,15 milhões de sacas de 60 quilos de café beneficiado, é estimada para o ano de 2014. O estado de Minas Gerais é o maior produtor nacional, segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento - Conab (2014). As cascas como um todo representam cerca de 40% do fruto maduro (TAVARES et al., 2012). O material formado por casca e pergaminho de café tem alto poder nutricional e consequentemente poluidor (MATOS et al., 2000). Sendo assim, se descartado de forma incorreta pode contaminar o solo, águas subterrâneas ou mesmo rios. Este tipo de resíduo geralmente é utilizado como fertilizante na própria lavoura de café.

Outra cultura de grande importância no país é representada pela indústria madeireira e de reflorestamento. Há mais de um século várias espécies de *pinus* são cultivadas no Brasil, a variedade *Caribea hodurensis* é a mais plantada na região tropical brasileira, que abrange as regiões Amazônica, Centro-Oeste e Sudeste, com uma área de aproximadamente 700 mil hectares (AGUIAR et al., 2011). Os resíduos gerados nesta atividade, casca e cavaco, são, em geral, utilizados como combustível para a queima em caldeiras ou ainda como material de jardinagem.

1.2. Justificativas

Aliar ao processo de purificação de água, o descarte sustentável de resíduos agrícolas e industriais, parece ser uma boa opção de tratamento descentralizado de baixo custo. Diante desta realidade, este trabalho se justifica pela grande preocupação ambiental, que é a escassez de água de qualidade e também pela reutilização de materiais que são resíduos de alguns processos e podem contaminar os recursos hídricos.

Propõe um método de tratamento doméstico de água, de caráter emergencial, para a redução de turbidez, cor e também coliformes. Com o uso de filtros cujo meio filtrante seja constituído de areia e biomassas geradas pela agroindústria. Destinado principalmente para regiões em que não há outro tipo de tratamento, como no meio rural ou mesmo onde este recurso é escasso e de pouca qualidade, como algumas regiões do país. Assim, o procedimento deve ser simples, de operação e manutenção acessível a todos, com materiais de baixo custo para que possa ser utilizado pelo maior número de pessoas, em diversas localidades.

Enfim, analisar a possibilidade de se utilizar cascas de café e/ou de pinus, como complemento de filtro de areia para melhoria das condições da água. No entanto, sem submeter os materiais a procedimento químico ou físico, apresenta-se como uma proposta a ser considerada para o tratamento de água.

1.3. Objetivos

Propor uma modificação na estrutura e operação do sistema de filtração lenta para tratamento de água de uso doméstico. Construir unidades cilíndricas de polietileno para filtração lenta por meio da ação da gravidade, cujo meio filtrante seja composto de areia e certa quantia de biomassa, fruto de resíduos agroindustriais da região do Triângulo Mineiro. Visando o tratamento doméstico da água, em regiões em que o acesso a processos convencionais se torna dificultado.

1.3.1. Objetivos específicos

Construir filtros com pequenos tubos de PVC e analisar se a vazão de filtração obtida

nas condições adotadas seria viável para utilização prática, sendo a operação adotada para o sistema do tipo batelada ao invés de alimentação contínua.

Verificar se as biomassas utilizadas, casca de café e casca de pinus, seriam capazes de melhorar as características da água mesmo sem sofrer qualquer tipo de tratamento químico ou físico previamente. Supondo que este tipo de material, por ser de origem vegetal, aumenta a capacidade de retenção de partículas pelo método de adsorção, devido a porosidade da superfície.

Monitorar o comportamento das grandezas do filtrado devido a modificação de operação, isto é, alimentação com interrupções sem realizar a limpeza periódica do filtro, visando estimar o tempo útil de operação e eficiência do mesmo nestas condições.

Analizar propriedades físico-químicas e parâmetros de qualidade da água, tais como:

- concentração de cloretos e nitrogênio amoniacal;
- condutividade elétrica;
- cor;
- dureza;
- pH;
- presença de coliformes totais;
- temperatura;
- turbidez.

Nas próximas páginas é apresentada uma breve revisão do problema da escassez de água, que atinge todos os países ao redor do mundo e consequentemente o Brasil. Além das características que classificam a água como sendo própria para o consumo humano, as tecnologias utilizadas para a purificação, bem como as inovações e modificações nos processos tradicionais de tratamento.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Água no mundo

Sabe-se que a superfície do planeta Terra tem quase 1,4 bilhão de km³ de água e segundo Domingos (2013), este total se divide entre água doce, 34,6 milhões de km³ e salgada, 1,35 bilhões de km³. Além disso, apenas 30,2% do volume de água doce está disponível para a manutenção da vida, ao passo que o restante se encontra nas geleiras. Dos 10,5 milhões de km³ de água doce, a sua maioria, cerca de 98,7% consiste em reservatórios subterrâneos e apenas 92,2 mil km³ em água doce superficial. Outro agravante é que a distribuição dos recursos hídricos no planeta não ocorre de forma homogênea, caso o fosse, cada pessoa teria disponível 6500 m³ ano⁻¹. De acordo com Branco (2013) no século vinte, enquanto a população mundial triplicou, o consumo de água sofreu um aumento de seis vezes. No mundo, 29 países sofrem com problemas relacionados à água, em muitos casos, as pessoas vivem com menos de cinco litros de água por dia.

Cerca de 768 milhões de pessoas no mundo fazem uso de água imprópria para o consumo humano. A utilização de água inadequada e a falta de saneamento básico seguro, provocam muitas doenças podendo levar a morte, além de que estas condições precárias agravam ainda mais o empobrecimento de muitos países (UNITED NATIONS CHILDREN'S FUND - UNICEF, 2013). As pessoas doentes não conseguem trabalhar, no campo isso provoca a falta de alimentos, nas indústrias a redução de produção dos mais diversos produtos e serviços, logo, faltam insumos e todos os setores da economia são influenciados.

Conforme Colavitti (2013), a escassez de água potável atinge uma em cada seis pessoas no mundo, sendo as doenças relacionadas à má qualidade da água consumida, a principal causa de mortes. Branco (2013) apresenta dados preocupantes de uma projeção que indica que em 2025, a falta de água atingirá de algum modo 2,43 bilhões de pessoas, esses problemas podem ser: a sede propriamente dita, devido à escassez, ou ainda diversas doenças que são transmitidas pela água contaminada, como por exemplo, cólera e amebíase. Estima-se que até 2050, 50 países terão crise no abastecimento, atualmente países do Oriente Médio, norte da África, além de China e Índia, já sofrem com o problema.

2.2.Água no Brasil

O Brasil, segundo ANA – Agência Nacional de Águas (2002), detém aproximadamente 10% da água doce do mundo, distribuídos por doze regiões hidrográficas, são elas: Amazonas, Tocantins, Parnaíba, São Francisco, Paraná, Paraguai, Uruguai, Costeiras do Norte, Costeiras do Nordeste Ocidental, Costeiras do Nordeste Oriental, Costeiras Sudeste e Costeiras do Sul. No entanto, há grande diversidade na disponibilidade e demanda dos recursos hídricos entre estas regiões, de acordo com o mesmo órgão, a região Amazônica detém mais de 70% de água superficial, com uma vazão específica aproximadamente de 34 L/s/km², enquanto que nas regiões hidrográficas costeiras do Nordeste Oriental, do São Francisco e do Paraguai, a vazão fica em torno de 4 L/s/km². A Figura 2.1 mostra as regiões hidrográficas brasileiras e também a disponibilidade hídrica de cada uma no ano de 2002.

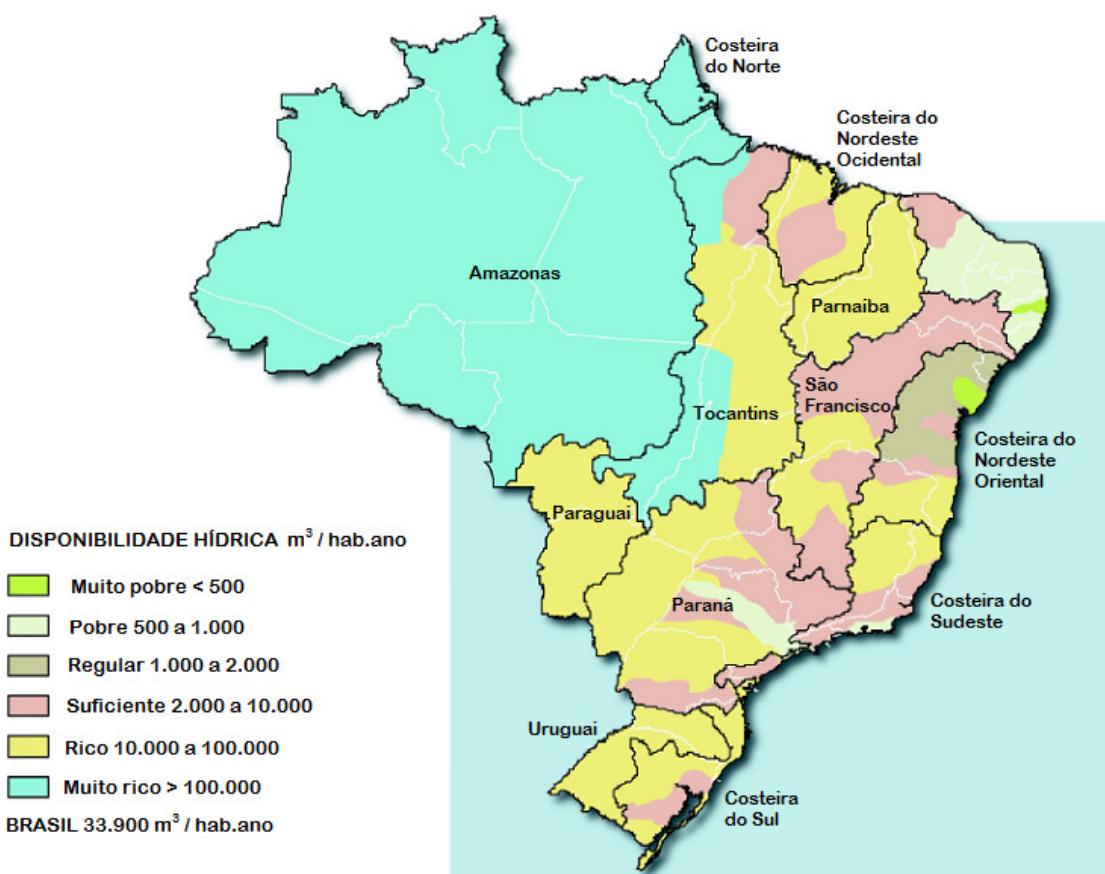


Figura 2.1 – Regiões hidrográficas brasileiras e disponibilidade hídrica. Adaptado de ANA (2002).

Vale ressaltar que a região de maior concentração dos recursos hídricos do país ainda é pouco povoada e pouco desenvolvida industrialmente, os 30% de água restantes distribuem-

se desigualmente pelo país, para atender a 93% da população, sendo que a região Nordeste, que representa mais de 20% da população brasileira, é a mais afetada pela escassez de água, com precipitações médias anuais muito irregulares, podem variar de 200 a 700 mm por ano na região semiárida (ANA, 2002).

O país dispõe ainda de recursos hídricos subterrâneos como o Aquífero Guarani, que é um reservatório na região centro-leste da América do Sul com uma área de 1,2 milhões de quilômetros quadrados entre quatro países, Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai, com aproximadamente 46 mil quilômetros cúbicos, sendo a maior parte deste total presente em terras brasileiras (2/3 da área total), nos estados de Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (DOMINGOS, 2013).

Aliada a má distribuição natural da água pelo país, tem-se o mau uso que se faz deste recurso. Desmatamento, destruição de áreas de preservação para e ocupação clandestina em grandes cidades, provocando a poluição dos rios, torna a situação ainda mais séria. Segundo ANA (2002), nos últimos trinta anos as condições da água dos rios que atravessam cidades ou mesmo regiões com intensa atividade antrópica seja de caráter industrial ou agrícola, piorou de forma progressiva.

Nem mesmo o aquífero não está livre de ameaças de contaminação, uma vez que está localizado em região muito populosa e onde a agricultura é dominante. A alta exploração, o desperdício, falta de planejamento e contaminação por defensivos agrícolas por levar a uma deterioração e redução no potencial hídrico deste manancial (DOMINGOS, 2013).

De acordo com Branco (2013) cerca de 45% da população brasileira não têm acesso a serviços de tratamento de água e 96 milhões de pessoas vivem sem esgoto sanitário. Além da falta de recursos hídricos, os brasileiros desperdiçam 40% da água tratada distribuída, se uma pessoa necessita de 40 litros de água por dia, em geral no Brasil, se consome 200 litros.

Se o consumo doméstico já é um fator agravante da escassez de água, o uso para fins comerciais é ainda pior. Cerca de 60% da água consumida no país vai para a agricultura, enquanto que as residências gastam por volta de 22% e a indústria 19% (BRANCO, 2013).

De acordo Kronemberger et al. (2011), em aproximadamente 23% dos municípios brasileiros o racionamento de água é comum, em 41% destas cidades este problema é constante e ocorre em todos as épocas do ano, não somente no período de estiagem. As principais causas de falta de água são muitas, além da seca que ainda é responsável pelo racionamento em 66% dos municípios, a quantidade insuficiente de água nos mananciais e reservatórios é a causa do problema para 41% das cidades, para outros 35% a causa é a deficiência na produção, assim como a deficiência na distribuição para 30% e em 6% dos

municípios a causa é o aumento da população em épocas de veraneio. A maioria dos problemas apresentados são presentes em grande parte das cidades nordestinas. Porém, nos grandes centros urbanos onde o consumo de água é maior, também há racionamento, como por exemplo, na região metropolitana de São Paulo, a falta de chuvas no verão de 2014 fez a quantidade de água no reservatório ficar abaixo de 20% no mês de fevereiro, conforme Climatempo (2014), a situação ficou crítica porque com o calor intenso as pessoas necessitam consumir mais água, no entanto as caixas d'água e torneiras estavam secas.

Como muitos municípios utilizam para abastecimento de água os mesmos corpos receptores de seus esgotos, o tratamento desta água tem um custo extra, e a sua qualidade fica comprometida, o que pode causar muitos tipos de doenças. Em 30,5% dos municípios do país o esgoto não tratado é lançado em rios, lagos ou lagoas, sendo que 23% destes municípios utilizam a mesma fonte para a irrigação e 16% os usam para o abastecimento humano (KRONEMBERGER et al., 2011).

2.3.Água e sua importância na saúde

Sabe-se que a qualidade de água está diretamente ligada à saúde e à manutenção da vida, uma vez que a maior parte do volume de uma célula é formada por água. O transporte de sais minerais e de outras substâncias no interior das células e entre cada uma delas é realizado por soluções aquosas, além disso, o controle da temperatura corporal também depende de água, uma vez que este processo ocorre pela eliminação de suor (BRANCO, 2013).

Além dos animais, a água também é fonte vital para outros tipos de organismos, como bactérias, vírus, protozoários, que são causadores de inúmeras doenças. Em todo o mundo, o número de crianças mortas nos últimos dez anos de diarreia é superior ao de todas as pessoas envolvidas em conflitos armados desde a Segunda Guerra Mundial (COLAVITTI, 2013). Fato que pode ser confirmado com estimativas apresentadas por Branco (2013), de que 4,6 milhões de crianças de até 5 anos morrem por ano vítimas de diarreia, devido ao consumo de água não tratada. Segundo a mesma fonte, 65% das internações hospitalares no Brasil, são causadas por doenças transmitidas pela água contaminada, sendo estas infecções a segunda maior causa de mortalidade infantil no país. Algumas doenças transmitidas pela água contaminada são apresentadas no Quadro 1, adaptado de Pinto e Hermes (2006).

Quadro 1 – Doenças relacionadas com a água.

DOENÇA	TRANSMISSÃO	PREVENÇÃO
Feco-oraís: Amebíase Cólera Febre tifoide Giardíase Hepatite infecciosa Leptospirose	Ingestão do organismo patogênico pela água ou alimentos contaminados	Implementar sistema de abastecimento e tratamento de água para o abastecimento; fornecimento de água com qualidade e em quantidade suficiente para a higiene pessoal, doméstica e dos alimentos; proteção das fontes hídricas contra possíveis contaminantes
Infecções na pele e nos olhos: Escabiose Pediculose (piolho) Tracoma Conjuntivite bacteriana aguda Salmonelose Tricoríase Enterobíase Ancilostomíase Ascaridíase	Falta de água para limpeza e correta higienização	Fornecimento de água em quantidade adequada com encanamento no domicílio; instalar reservatórios adequados de água com limpeza periódica; instalar melhorias sanitárias domiciliares; instalar sistema adequado de esgoto sanitário
Esquistossomose	Ingestão do patógeno ou penetração do mesmo através da pele	Evitar o contato com água infectada; proteger mananciais; descarte adequado de esgoto; controle de vetores e combate ao hospedeiro intermediário

Fonte: Adaptado de Pinto e Hermes (2006).

Os principais fatores que comprometem a qualidade das águas captadas para abastecimento e consumo são: lançamento de esgoto sanitário, despejos de resíduos industriais, destinação inadequada de lixo, atividade mineradora e presença de resíduos de agrotóxicos (KRONEMBERGER et al., 2011).

No meio rural o risco de contaminação também é alto, uma vez que se consome água geralmente sem nenhum tratamento prévio, coletada de poços e nascentes. Estas fontes, muitas vezes, ficam próximas a potenciais contaminantes, como por exemplo, fossas sépticas e áreas de pastagem ocupada por animais.

O sistema adequado de tratamento e distribuição da água envolve além das etapas de

purificação da mesma, procedimentos sistemáticos de monitoramento dos parâmetros de qualidade, analisar seus aspectos físico-químicos e microbiológicos, através da presença de bactérias e ciano toxinas, entre outros indicadores de poluição como, por exemplo, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO).

Conforme os dados de Guerra (2011), 63,2% dos municípios brasileiros realizam análise para conferir os aspectos físico-químicos da água distribuída. Além disso, o tratamento de água convencional é empregado em maiores proporções nas Regiões Nordeste, Sudeste e Sul, uma vez que o tipo de tratamento utilizado depende do tamanho da população. O método convencional é utilizado nos municípios com mais de 100 mil habitantes, enquanto que nas cidades com menos de 20 mil habitantes o tratamento mais realizado é de uma desinfecção simples, que pode ser realizada com cloro ou outros desinfetantes, antes da água ser distribuída a população. Por outro lado, no processo convencional, a água bruta passa por uma ETA, estação de tratamento de água, onde são realizados os processos de floculação, decantação, filtração e desinfecção com cloro e também correção do pH e fluoretação. A etapa de fluoretação consiste na adição de íons fluoreto, em concentração adequada, com o objetivo de prevenir a cárie dental da população (COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - SABESP, 2014).

2.4.Qualidade da água

Apesar de muitas pessoas ainda não terem acesso a água com qualidade adequada, procedimentos para purificação do líquido são realizados há muitos anos. O documento mais antigo que se tem notícia tratando de uma metodologia para tratamento da água, tem pelo menos 4000 anos. Na Índia, o procedimento realizado era ferver a água ou deixá-la exposta ao sol mergulhando vez ou outra peças de cobre aquecidas, logo após, filtrar e resfriar em potes cerâmicos (PÁDUA, 2009). Estes procedimentos eram aplicados nas residências apenas para melhorar o aspecto estético da água, eliminando cor e odor. A primeira ETA, estação de tratamento de água, foi instalada em Paisley na Escócia em 1804 e na Inglaterra no ano de 1829, filtros lentos de areia foram instalados para limpar a água do rio Tâmisa em Londres (PÁDUA, 2009; UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2014).

A partir do século XX com o desenvolvimento de pesquisas científicas foi possível relacionar a qualidade da água com a saúde pública e verificar que muitas doenças eram transmitidas pelo consumo de água inadequada ou mesmo contaminada, até porque antes se pensava que a transmissão de doenças ocorria somente pelo ar (PÁDUA, 2009).

Assim, surgiu a necessidade de se acompanhar as características físicas, químicas e biológicas deste recurso através de técnicas capazes de quantificar a presença de determinados contaminantes. No entanto, mesmo com o desenvolvimento das tecnologias de tratamento, não é possível assegurar que a água esteja totalmente isenta da presença de certos elementos. Portanto, a qualidade da água para consumo humano é estabelecida com base em valores máximos permitidos (VMP) para vários tipos de contaminantes sejam eles biológicos, químicos ou físicos, valores estes que são reunidos em normas e critérios conhecidos como padrões de potabilidade (PÁDUA, 2009). A legislação brasileira utiliza como referência as diretrizes e normas da Organização Mundial da Saúde.

Estas normas trazem valores diferentes a depender do uso que será dado a água em questão, assim também pode-se falar em tipos de água, algumas definições são apresentadas no artigo 5º da Portaria nº 2914 de Brasil (2011), como por exemplo, água para consumo humano é definida como “água potável destinada à ingestão, preparação e produção de alimentos e à higiene pessoal, independentemente da sua origem”, que se difere de água potável que é “água que atenda ao padrão de potabilidade estabelecido nesta Portaria e que não ofereça riscos à saúde”. Além disso, há diferença entre padrão de potabilidade e padrão organoléptico, devido aos VMP de cada um. Uma adaptação da tabela de padrão organoléptico de potabilidade da água e do padrão microbiológico da água de Brasil (2011) é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Padrões organoléptico e microbiológico da água.

Padrão organoléptico de potabilidade da água		
PARÂMETRO	UNIDADE	VMP
Amônia (como NH ₃)	mgL ⁻¹	1,5
Cloreto	mgL ⁻¹	250
Cor aparente	uH	15
Dureza total	mgL ⁻¹	500
Sólidos dissolvidos totais	mgL ⁻¹	1000
Turbidez	uT	5
Padrão microbiológico da água para consumo		
Escherichia coli ⁽¹⁾	UFC	Ausência em 100 mL
Coliformes totais ⁽²⁾	UFC	Ausência em 100 mL

Fonte: Adaptado de Brasil (2011).

(1) Indicador de contaminação fecal.

(2) Indicador de eficiência de tratamento.

O padrão de potabilidade determina os valores que definem a qualidade da água e o organoléptico apresenta valores para os parâmetros que podem influenciar na aceitação das pessoas sem provocar risco à saúde. Por exemplo, para os valores de turbidez, enquanto o VMP segundo o padrão organoléptico de potabilidade é de 5 unidades de turbidez, este valor é de 1 unidade segundo o padrão de turbidez para água pós-filtração lenta (BRASIL, 2011).

Os parâmetros representam valores numéricos das características que permitem a avaliação da qualidade da água e podem ser divididos em físicos, químicos e biológicos (BRASIL, 2006). A seguir são apresentados alguns dos principais parâmetros analisados em água para consumo humano antes e após o tratamento.

2.4.1. Características físicas

- **Temperatura:** este parâmetro deve ser monitorado uma vez que influencia a velocidade de reações e a dissolução de muitas substâncias na água, além disso, tem forte relação com densidade, viscosidade e também desenvolvimento de micro-organismos. Pode ser alterada por fatores naturais, incidência da luz solar e por atividades antrópicas, como despejo de efluentes industriais (BRASIL, 2006), em geral os equipamentos expressam temperatura em graus Celsius - °C.
- **Cor:** característica estética da água é proveniente de matéria orgânica dissolvida, substâncias orgânicas como os ácidos húmicos ou minerais como ferro e manganês, além de resíduos corantes industriais (BRASIL, 2013), sendo a intensidade da cor aparente determinada por comparação pelo método cobalto-platina, que consiste em solução de cloroplatinato de potássio (K_2PtCl_6) em cloreto de cobalto ($CoCl_2$), para cor verdadeira é necessário centrifugar a amostra (BRASIL, 2006), pode ser expressa em unidades de cor ou unidade Hazen, uH.
- **Turbidez:** é caracterizada pela redução de transparência da água, causada pela presença de materiais sólidos em suspensão como areia, ou ainda por matéria orgânica, algas, substâncias como zinco, ferro e manganês, provenientes da ação antrópica nos recursos hídricos. É um padrão sanitário de aceitação da água, além de interferir no tratamento, pode auxiliar o desenvolvimento de micro-organismos pode ser expressa por uT, unidades de turbidez, ou NTU, unidades nefelométricas de turbidez (BRASIL, 2006, 2013).
- **Condutividade elétrica - CE:** é a capacidade de transmitir corrente elétrica, isso ocorre devido a presença de substâncias dissolvidas. Assim, é pertinente fazer uma correlação

entre a concentração de sólidos totais dissolvidos e a condutividade elétrica da água, que é expressa em unidades de resistência elétrica por unidade de comprimento, por exemplo, $\mu\text{S.cm}^{-1}$ (BRASIL, 2006).

2.4.2. Características químicas

- **pH:** representa a concentração de íons hidrogênio em uma amostra, ou solução, assim é utilizado como medida de acidez ou alcalinidade numa escala que varia de 0 a 14, sendo que para valores abaixo de 7 unidades de pH considera-se a solução ácida e acima, básica. Este parâmetro influencia na solubilidade de substâncias e no desenvolvimento de organismos. Pode ser alterado de forma natural devido a dissolução de rochas e fotossíntese ou pela adição de resíduos domésticos ou industriais (BRASIL, 2006).
- **Dureza:** dureza total é a soma das concentrações de íons cálcio e magnésio presentes na água sob a forma de carbonatos ou bicarbonatos, é expressa em concentração de carbonato de cálcio (BRASIL, 2013).
- **Nitrogênio:** o elemento nitrogênio pode ser encontrado em água na sua forma molecular, como também em compostos orgânicos nitrogenados, ou ainda como íon amônio, nitrito ou nitrato. Este elemento é nutriente importante no crescimento de algas e a depender das condições pode se tornar tóxico aos organismos, sua presença se deve tanto a fatores naturais quanto à influência de atividades de despejo de efluentes domésticos, industriais ou fertilizantes e agrotóxicos (UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA, 2013).
- **Cloreto:** a presença de cloreto nas águas se deve a dissolução de alguns minerais, na forma de cloreto de sódio, cálcio e magnésio, mas também pode ocorrer devido a substâncias de caráter industrial ou mesmo doméstico. Em concentrações elevadas conferem sabor salgado à água, característico da água do mar, e também um efeito laxativo (BRASIL, 2013).

2.4.3. Características biológicas

Os parâmetros de contaminação biológica indicam a presença de certos organismos de fácil detecção, chamados de organismos indicadores, cuja presença se deve a patógenos. O principal indicador usado no controle de qualidade da água é o grupo de bactérias coliformes. Este tipo de bactéria está presente no intestino dos animais sendo eliminados

pelas fezes em grande quantidade, logo sua presença na água se deve a despejo de esgotos e são a causa da transmissão de várias doenças quando esta água contaminada é consumida (BRASIL, 2006). Este parâmetro pode ser expresso em unidades formadoras de colônia – UFC, por volume de amostra.

A fim de atender aos parâmetros de qualidade e garantir que a água esteja segura para o consumo, muitos métodos são empregados, no entanto, como diversas operações podem ser utilizadas no intuito de purificar a água, cada tipo de processo depende de uma série de fatores, como por exemplo, as características físicas, químicas e biológicas da própria água quando captada, além da localização e distância da fonte de captação em relação a comunidade a qual será distribuída, o custo para implantação e operação do sistema e o nível técnico dos operários, assim como a existência de uma área adequada para a construção da unidade de tratamento e também o padrão de potabilidade vigente (BRASIL, 2006). Logo, as tecnologias empregadas podem variar desde muito simples e de fácil operação, até métodos mais avançados e sofisticados, mas sempre com o mesmo objetivo de clarificação e desinfecção da água.

2.5. Metodologias de purificação da água

No processo de clarificação são removidas as partículas relativamente grandes, em suspensão ou sedimentáveis, como sólidos, areia, algumas bactérias, algas, matéria orgânica (BRASIL, 2006), entre outras que podem ser retidas em filtros, por exemplo. Mas aquelas partículas de diâmetros menores que se encontram dissolvidas ou na forma coloidal, necessitam de outras operações que dependem também das características do sistema. Neste caso, uma alternativa é o uso de coagulantes, substâncias que provocam a agregação das partículas de sujeira facilitando sua remoção por sedimentação (PATERNIANI et al., 2009; SABESP, 2014). Na desinfecção são empregados tratamentos para a eliminação de organismos patogênicos causadores de doenças. Em geral, se utiliza substâncias químicas como desinfetantes, sendo que a mais comum é o cloro. Na Figura 2.2 tem-se um esquema, adaptado de Sabesp (2014), das operações usualmente empregadas no sistema convencional para purificação de água.



Figura 2.2 – Etapas de tratamento de um sistema de ciclo completo.

Todos os processos apresentam vantagens e desvantagens que dependem muito das características próprias do lugar e da água bruta, tudo deve ser muito bem analisado antes de se optar por um tipo de tratamento. O tratamento convencional devido às várias etapas do processo é indicado para diversos tipos de água bruta, isso é uma grande vantagem, uma vez que no Brasil se tem variações sazonais de suas características. Além de ser flexível diante das várias propriedades da água, é de alta confiabilidade no atendimento aos padrões de potabilidade. No entanto, apresenta elevado custo de implantação e pode-se considerar que é de operação onerosa, pelo alto consumo de substâncias químicas coagulantes e pelos vários tipos de equipamentos que são necessários. Para casos em que a água bruta não variar muito suas características a filtração direta passa a ser uma alternativa mais vantajosa do que o ciclo completo (BRASIL, 2006; DUARTE, 2011).

Os métodos de filtração direta, que envolvem operações de filtração ascendente ou descendente, ou dupla filtração e a filtração lenta, dispensam as etapas de coagulação ou flotação (DUARTE, 2011). Os filtros usualmente utilizados em estações de filtração direta com escoamento descendente são de dupla camada constituída de antracito e areia, já os

filtros de fluxo ascendente possuem leito de areia (BRASIL, 2006). Em relação ao ciclo completo, a filtração direta apresenta menor custo de implantação e menor gasto de coagulante, apenas em etapas de pré-flocação (DUARTE, 2011). Entretanto, sua aplicação é limitada, porque é suscetível às mudanças bruscas de qualidade da água bruta, assim como na filtração lenta, que apesar da eficiência na remoção de patógenos e da simplicidade de operação, apresenta baixa taxa de filtração o que carece de uma maior área de filtração. Por este fato, a filtração lenta é mais vantajosa para pequenas comunidades (BRASIL, 2006).

As variações das características da água bruta a ser purificada tornam-se uma limitação ao tipo de metodologia a ser empregada, outro fator limitante é a quantidade de água, em períodos de seca a eficiência de tratamento pode ser prejudicada. Assim, torna-se necessário o desenvolvimento de tecnologias para garantir a segurança da água fornecida, principalmente onde os métodos tradicionais de tratamento não são indicados ou mesmo em regiões que ainda não têm acesso a nenhum tipo de tratamento. Os métodos de tratamento domiciliar são capazes de garantir a água, qualidade e segurança, em situações de emergência ou onde o fornecimento de água tratada foi comprometido. A metodologia apropriada assim como nos tratamentos tradicionais, depende da situação, da qualidade da água bruta, da disponibilidade de materiais e equipamentos necessários, das características da região, além dos costumes da população local e da disponibilidade de pessoas para a implementação e operação do sistema (MWABI et al., 2011).

2.6.Tecnologias para tratamento domiciliar

Sobsey (2002) elaborou um relatório para a OMS, Organização Mundial de Saúde ou WHO em inglês, World Health Organization, que tinha como objetivo analisar as diversas tecnologias utilizadas e as possíveis, para melhorar as características da água para uso doméstico e assim reduzir a transmissão de doenças. Observou que diversos métodos físico-químicos são empregados, dentre os métodos físicos os mais utilizados incluem ebulação, aquecimento pela luz solar, filtração, exposição à radiação UV pela luz solar e desinfecção com lâmpadas de luz ultravioleta. Já os métodos químicos podem ser coagulação ou flocação, precipitação, adsorção, troca iônica e desinfecção química com cloro, principalmente. E para remoção de turbidez, os processos mais empregados são a sedimentação e a filtração, com filtros de fibra, tecido ou membrana e filtros lentos de areia, a remoção de turbidez além do melhoramento estético da água tem uma influência na presença

de micro-organismos, uma vez que estes são protegidos da radiação UV ou de agentes desinfetantes pelas partículas em suspensão.

O método que envolve aquecimento e desinfecção pela radiação ultravioleta tem alta eficiência na eliminação de patógenos, sendo de simples operação e baixo custo. Consiste em expor ao sol garrafas pet transparente cheias de água, adicionalmente pode-se pintar a metade da garrafa na cor preta para aumentar a absorção de calor (PINTO; HERMES, 2006).

O uso de substâncias químicas coagulantes é empregado no método convencional de tratamento para remoção de turbidez e um dos responsáveis pelo alto custo de operação. Materiais naturais são estudados como alternativas de baixo custo para estas técnicas, como por exemplo, as sementes da árvore de *Moringa oleífera* (AMAGLOH; BENANG, 2009). A solução preparada com o pó das sementes é formada por proteínas de carga positiva que atraem as partículas de sujeira, que em geral são carregadas negativamente, formando os flocos que podem ser removidos por sedimentação (PINTO; HERMES, 2006). A solução coagulante obtida das sementes da planta é capaz de tratar água com turbidez na faixa de 50 a 100 NTU, com redução média de 90% (PATERNIANI et al., 2009).

Para tratamento doméstico de água em geral se utiliza uma modificação dos filtros lentos de areia do processo tradicional, estes filtros são chamados de BSF, que significa *biosand filter*. Esta metodologia se difere da anterior pela forma de operação, com a alimentação de água feita normalmente apenas uma vez por dia, em geral com um tempo ocioso de 18 a 22 horas entre uma alimentação e outra de água. Logo, a taxa de filtração diminui à medida que o nível de água diminui (ELLIOTT et al., 2011). Além disso, apresenta a capacidade de executar várias funções em uma única unidade, além de coar, filtrar e sedimentar partículas, este tipo de filtro é capaz de remover alguns produtos químicos e micro-organismos.

Os processos que ocorrem no interior do filtro responsáveis por promoverem o tratamento são: **predação**, devido a formação da camada biológica, chamada “Shmutzdecke”, na superfície da primeira camada de areia, onde os micro-organismos da água contaminada são consumidos por outros que estão presentes na camada biológica; **aprisionamento mecânico**, sólidos suspensos e os micro-organismos que conseguiram passar pela camada biológica ficam retidos nos interstícios das camadas de areia mais internas; **morte natural**, porque nas partes mais profundas do meio não há alimento ou oxigênio suficientes e **adsorção**, alguns patógenos e substâncias contaminantes ficam aderidas aos grãos de areia principalmente por diferença de cargas elétricas (CAWST, 2014; MWABI et al., 2011; PINTO;HERMES, 2006).

Ahammed e Drava (2011) analisaram o desempenho de BSF convencional e de um BSF modificado com camada de ferro revestido de óxido, por cerca de quatro meses, na remoção de micro-organismos e turbidez. Ao fim do estudo, foi verificado que o BSF modificado com ferro apresentou melhor desempenho na remoção de coliformes fecais e *E.coli*, em média a remoção do BSF foi de 90,0% no primeiro mês de estudo, enquanto que do BSF modificado foi de 99,3%. Além disso, a remoção de turbidez e de bactérias foi aumentada ao longo do tempo, porém, não foi observada diferença significativa de remoção de turbidez entre os dois sistemas de filtração, ambos apresentaram remoção superior a 90%, ficando o valor médio de turbidez em torno de 1,0 NTU.

Mwabi et al. (2011) analisaram o desempenho de um filtro simples de areia ao de um BSF modificado com zeólitas naturais e observaram que a remoção de nitrato da água pelo filtro de areia foi maior que pelo BSF modificado. Por outro lado, o BSF se mostrou mais eficiente na remoção de turbidez, com uma porcentagem de remoção de 93,6% contra 90% do filtro de areia. A remoção de *E.coli* pelo BSF modificado também foi maior que a apresentada pelo filtro de areia, para água sintética cuja concentração de contaminantes era maior, ambos apresentaram porcentagem de remoção acima de 90%. Porém para concentração menor de contaminantes, a porcentagem remoção também foi menor, BSF removeu cerca de 50 % dos micro-organismos enquanto que o filtro de areia reduziu pouco mais que 40%.

Braig et al. (2011) estudaram o comportamento de um BSF modificado com camada vegetal, constituída por casca de uma espécie de pinus típica da região norte do Paquistão, comparando os resultados com um BSF convencional. A Figura 2.3 mostra os filtros do sistema de tratamento do trabalho realizado.

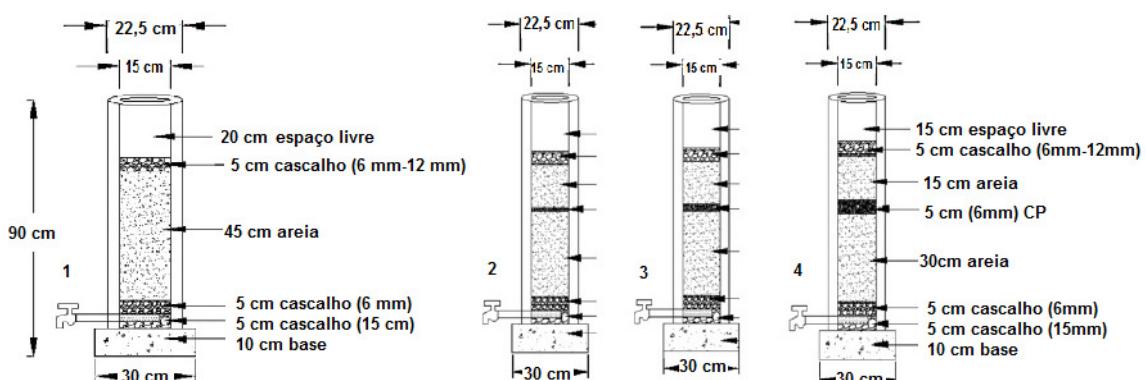


Figura 2.3 – BSF estudados: (1) BSF controle, (2) BSF com 1 cm de camada de casca, (3) BSF com 2,5 cm de camada de casca, (4) BSF com 5 cm de camada de casca. Fonte: adaptado de Baig et al. (2011).

No estudo de Baig et al. (2011) foram testadas três quantidades de biomassa além de um filtro construído apenas com areia, sendo que o melhor resultado foi observado para o tratamento com 5 cm de camada vegetal, ou seja, a maior quantidade estudada. Os experimentos foram realizados durante três meses, onde o sistema era alimentado diariamente com 20 litros de água sintética, cuja concentração de bactérias era realizada por contaminação usando esgoto fresco e as análises realizadas quinzenalmente, sendo acompanhadas as taxas de fluxo hidráulico, concentração de *E.coli* e coliformes totais, turbidez, pH, dureza e cloretos. Dentre os resultados obtidos pelos autores, vale destacar a alta eficiência de remoção de contaminantes biológicos, acima de 90%, numa média de 93% de redução de *E.coli* e 95% de coliformes totais. Em relação aos parâmetros físicos todos os quatro tratamentos estudados foram capazes de reduzir a turbidez inicial da água e elevar ligeiramente o pH. Para os parâmetros químicos, se observou que os tratamentos foram capazes de diminuir tanto os valores de dureza quanto de cloretos. As maiores reduções foram observadas no efluente do tratamento 4 (Figura 2.3), com maior quantidade de camada vegetal, aparentemente porque as característica da superfície da biomassa causou adesão de alguns materiais iônicos presentes na água (BAIG et al., 2011).

No Brasil, outros materiais de baixo custo poderiam ser utilizados como modificação de BSF a fim de melhorar sua eficiência, com o auxílio da adsorção dos contaminantes à superfície porosa de biomassas geradas como resíduos da agricultura, por exemplo, que apresentam potencial de retenção de partículas orgânicas e inorgânicas.

2.6.1. Materiais alternativos para melhoramento do desempenho de BSF

a) Casca de Café

O café é o fruto de uma planta perene de clima tropical, planta esta pertencente a família das *Rubiaceas* que reúne várias espécies, as duas espécies de maior interesse econômico, são a *Coffea arabica* e *Coffea canephora* (robusta) que constituem respectivamente, 70% e 30% da produção mundial (CEPLAC, 2013). Natural da Etiópia, a espécie arábica, pode ser uma das primeiras espécies de café que foram cultivadas, esta espécie produz cafés de qualidade, finos e requintados, possui aroma intenso e os mais diversos sabores, com inúmeras variações de corpo e acidez (CAFÉ RAIZ, 2013).

Conforme a Conab (2014), o Brasil é o maior produtor de café do mundo, e produz as duas espécies mais importantes *Coffea arabica* e *Coffea canefora*, que possui duas variedades, o Conilon e o Robusta. A primeira estimativa para a produção da safra cafeeira,

espécies arábica e conilon, em 2014 indica que o país deverá colher entre 46,53 e 50,15 milhões de sacas de 60 quilos de café beneficiado. Sendo que o café arábica representa 75,1% da produção total. A área total plantada com a cultura de café com as duas espécies no país totaliza 2.282.619 hectares. A Figura 2.4 apresenta os estados brasileiros produtores de café.

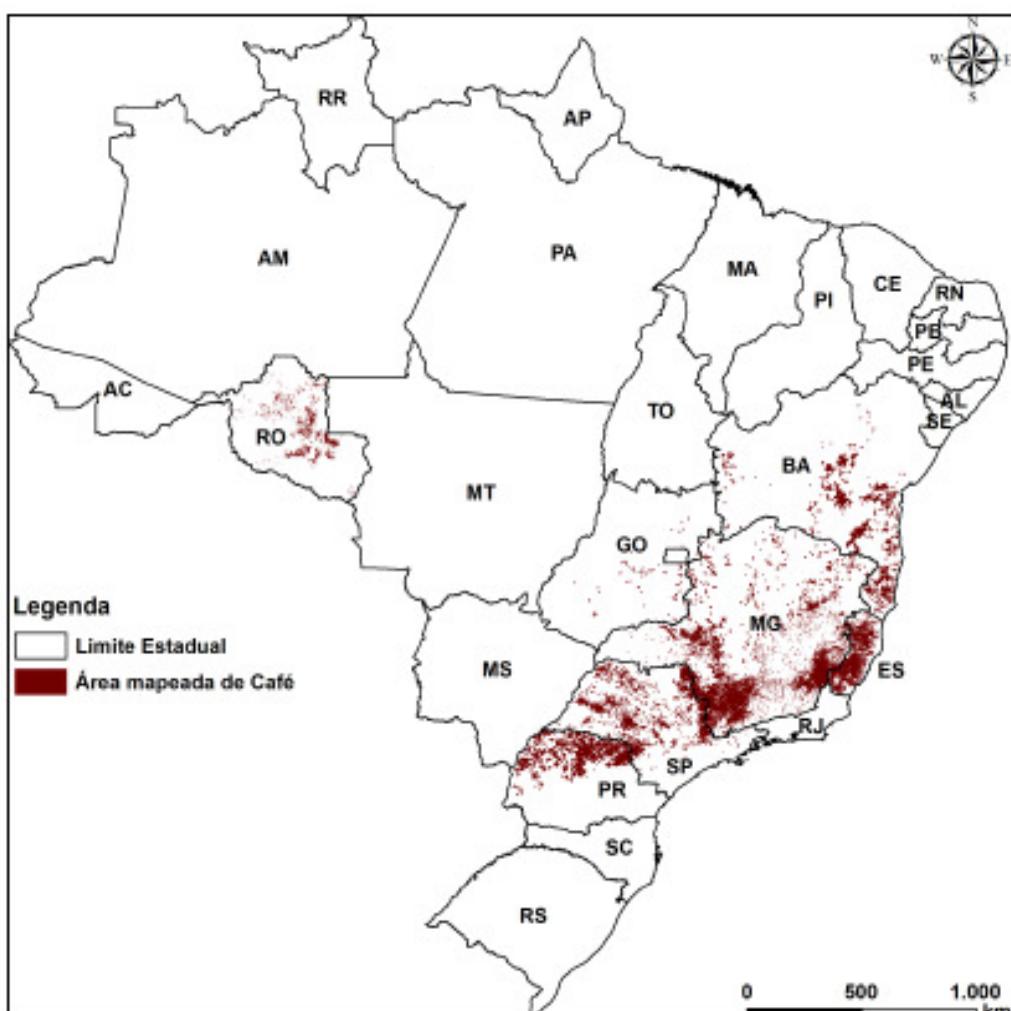


Figura 2.4 – Principais estados brasileiros produtores de café. Fonte: Conab(2014).

A produção de Minas Gerais está estimada segundo a Conab (2014) em 26.640.622 sacas de café na safra 2014, com variação percentual de 2,9% para mais ou para menos. O estado concentra a maior área cultivada com café no país, 54,25% da área total cultivada, sendo que a espécie arábica representa 98,87% da área plantada no estado. A região do Cerrado Mineiro apresenta um aumento de 20,3% comparativamente à safra anterior, a estimativa é de 6.270.259 sacas de 60 kg. A situação da cafeicultura na região do Cerrado para a safra 2013/14, apesar das dificuldades do mercado atual, ainda reflete os expressivos investimentos realizados nas lavouras no período em que as cotações do café estiveram em alta (CONAB, 2014).

O fruto do cafeiro é formado por endosperma e embrião, que constitui o grão, este é envolvido pelo pergaminho, ou endocarpo, seguido da polpa, ou mesocarpo, e pela casca, ou epicarpo (LO MÔNACO, 2005), conforme estrutura apresentada na Figura 2.5.

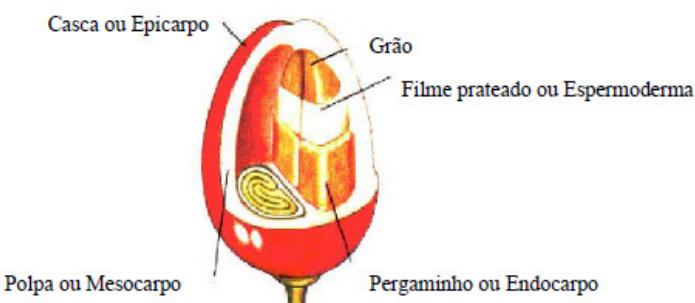


Figura 2.5 – Esquema do fruto do cafeiro. Fonte: Adaptado de Lo Mônaco (2005).

Existem dois métodos de beneficiamento do grão de café e cada um destes gera tipos diferentes de resíduos, na limpeza do café em coco, que é o processo por via seca, onde os grãos são secos de forma integral em terreiros sob a ação do sol ou em secadores mecânicos antes da limpeza, é obtida a casca de café, composta de epicarpo que é a casca propriamente dita, mucilagem, ou polpa e o pergaminho; já no processo por via úmida, o resíduo do café cereja é somente a polpa do grão, obtida em despolpador mecânico, sem o pergaminho (BARCELOS et al., 2001; LIMA, 2006). A Tabela 2 apresenta a composição química da casca de café.

Tabela 2 – Caracterização química da casca de café.

Grandeza	Quantidade
C-orgânico (dag kg ⁻¹)	51,19 ^(a)
C.E. (μS cm ⁻¹)	1156 ^(b)
Ca (g kg ⁻¹)	2,96 ^(a)
Celulose (g kg ⁻¹)	33,5 ^(b)
Cu (mg kg ⁻¹)	18,66 ^(a)
Fenóis totais (g kg ⁻¹)	14,5 ^(b)
Hemicelulose (g kg ⁻¹)	10,8 ^(b)
K (g kg ⁻¹)	47,72 ^(a)
Lignina (g kg ⁻¹)	21,0 ^(b)
Mg (g kg ⁻¹)	0,29 ^(a)
N-total (dag kg ⁻¹)	1,88 ^(a)
P-total (dag kg ⁻¹)	0,21 ^(a)
pH	5,9 ^(b)
Na (g kg ⁻¹)	40,72 ^(a)
Zn (mg kg ⁻¹)	4,35 ^(a)

Fonte: Adaptado de (a) Brandão (1999) e (b) Zoca (2012).

Com base no teor nutricional de cascas de café, Matos et al. (2000), avaliando a contaminação do solo de áreas de depósito de cascas de frutos do cafeeiro, encontraram elevadas concentrações de amônio e potássio em maiores profundidades do solo de locais onde as deposições eram mais antigas, cerca de três anos. Os autores concluíram que houve contaminação superficial e subsuperficial do solo pelos lixiviados da pilhas, o que pode colocar em risco a exploração agrícola da área ou a contaminação de águas subsuperficiais. Logo, a importância de se destinar esse material de forma a gerar o menor impacto ambiental e aproveitar suas capacidades para fins alternativos.

Com ênfase em técnicas sustentáveis de tratamento de efluentes, alguns trabalhos têm sido desenvolvidos com este tipo de material. Filtros orgânicos constituídos de casca de café e pergaminho foram utilizados para melhoria das características da água residuária da cafeicultura, a fim de atender aos valores máximos permitidos para descarte desse efluente. Lima (2006) observou uma eficiência superior a 80% na redução de sólidos com este tipo de filtro, considerou que o material pode ser utilizado como tratamento primário de águas residuárias, no entanto, o tratamento provocou elevação nos níveis de nitrogênio.

Oliveira, L. et al. (2008), observaram o comportamento de cascas de café como adsorvente para remoção de azul de metileno em soluções aquosas, e perceberam que a variação de pH da solução não influenciou na remoção, sendo o processo de adsorção espontâneo e endotérmico. Quando a biomassa foi testada para adsorção de metais pesados como Cu, Cd e Zn, apresentou melhor comportamento para baixas concentrações com equilíbrio atingido após 72 horas de contato (OLIVEIRA, W. et al., 2008).

Ahmad e Rahman (2011), estudaram a capacidade de remoção do corante *Remazol Brilliant Orange 3R* (RBO3R) com casca de café, após preparo físico-químico de ativação, que foi realizado a 673 K com uma taxa de aquecimento de 10 K.min⁻¹, o carvão produzido foi misturado com hidróxido de sódio. O carvão ativado apresentou capacidade adsorptiva favorável para pH ácido, com modelo cinético de pseudo-segunda ordem e seguindo o modelo isotérmico de Langmuir.

Logo, a partir dos estudos citados, o material se mostra eficiente tanto para remover partículas orgânicas quanto inorgânicas em efluentes com características diferentes.

b) Casca de Pinus

É uma planta do grupo das *Gymnospermas*, segundo informações do Centro de Inteligência em Florestas – CIFlorestas (2014), existem cerca de 105 espécies identificadas,

que são fisiologicamente resistentes a seca, por serem muito versáteis, suportam desde temperaturas negativas de cerca de -65°C até temperaturas mais elevadas de 50°C, sendo assim adaptáveis a diferentes ambientes.

Aguiar et al. (2011) apresentaram as espécies de pinus mais plantadas no Brasil, segundo o qual, há mais de um século que existe o cultivo de espécies de pinus no país. As primeiras espécies, subtropicais foram plantadas por volta de 1936. Em meados de 1960 com o programa de incentivo fiscal ao reflorestamento iniciou-se o plantio comercial nas regiões Sul e Sudeste. Em 1970 criou-se o Projeto de Desenvolvimento e Pesquisa Florestal e a partir de 1980 foram realizados experimentos com as várias espécies já conhecidas, possibilitando a ampliação das espécies e do potencial econômico. Atualmente, as espécies mais plantadas no país são: *Pinus taeda*, *Pinus elliotti*, *Pinus caribaea*, *Pinus oocarpa* e *Pinus tecunumanii*.

A espécie mais plantada na região tropical brasileira, região esta que abrange as regiões Amazônica, Centro-Oeste, Central, Leste e Sudeste do país, é a *Pinus caribaea* variedade *hondurensis*, com aproximadamente 700 mil hectares destinadas a produção de madeira para reflorestamento. Esta espécie ocorre naturalmente na América Central, Nicarágua, Honduras, El Salvador, Guatemala e Belize, até parte leste do México. As árvores geralmente crescem em torno de 30 m de altura e 80 cm de diâmetro, podendo chegar a 45 m de altura e 135 cm de diâmetro. O tronco é em geral, reto e bem formado, não apresenta excesso de ramificações. Esta é uma das variedades mais plantadas no mundo, sua madeira é de densidade moderada a baixa, mas de grande utilidade geral, além disso, produz resina em quantidade viável para a exploração comercial (AGUIAR et al., 2011).

Em 2012 a área plantada com pinus no Brasil foi de 23,4% da área total de plantios florestais que é de 6664812 hectares. Sendo Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Bahia e Mato Grosso do Sul os estados mais produtores, destes, a maior plantação de pinus se concentra entre os estados do Paraná (39,7%) e Santa Catarina (34,5%), devido as condições edafoclimáticas e a localização dos principais centros processadores desse tipo de madeira (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF, 2013). A planta de pinus sendo produtora de madeira é utilizada como matéria-prima, para a produção de celulose, papel, chapas de MDF, compensados, laminados, móveis, tábuas, etc. Além disso, sua resina pode ser utilizada na produção de colas, vernizes, adesivos, solventes, entre outros. O cavaco, subproduto gerado na indústria da madeira, também é utilizado com combustível para caldeiras (CIFORESTAS, 2014).

As cascas são geralmente utilizadas como material de jardinagem, mas devido a suas características apresenta potencial de uso como substrato para plantas (MACHADO NETO et al., 2005). Uma média da composição química das cascas de pinus é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 – Caracterização química da casca de pinus.

Elemento	Quantidade (gkg⁻¹)
Ca	1,2 ^(b)
K	1,0 ^(a)
Mg	0,2 ^(b)
N-amônio	60×10^{-3} ^(a)
N-nitrato	50×10^{-3} ^(a)
N-total	5,0 ^(a)
P	0,1 ^(b)
S	0,4 ^(b)

Fonte: Adaptado de (a) Silva et al., (2009) e (b) Sixel (2012).

Assim como acontece com o subproduto da produção de café, a casca de pinus tem sido estudada para fins alternativos de tratamento de efluentes. Strey et al. (2011) observaram que a casca de pinus da espécie *elliottii* apresenta potencial de remoção de metais pesados como Cd, Cr e Pb a depender do pH da solução. Casca de pinheiro mostrou eficiência de remoção de Pb maior que 98% e de Cu entre 83% e 84%, de acordo com resultados obtidos por Barreiro et al. (2014), sendo uma alternativa para tratamento de águas residuais contaminadas. A biomassa da árvore de pinus da espécie *Pinus wallichiana* apresentou uma eficiência de remoção de arsênio maior que 90%, sendo considerada potencialmente viável para o tratamento de água potável, de acordo com Saqib et al. (2013). Portanto, seria interessante verificar se o material também possui capacidade de reter partículas orgânicas e se para isso seria necessário algum tratamento prévio para ativação dos poros.

CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Preparação do material

No estudo foram utilizadas cascas de café da espécie *arabica*, gentilmente doadas pela Cooperativa Agropecuária de Perdizes – Cooperdizes, localizada no município de Perdizes no estado de Minas Gerais. Onde o beneficiamento do grão é realizado por via seca, processo este cujo resíduo consiste em epicarpo e pergaminho do grão. Durante todo o estudo foi utilizada essa mistura e chamada simplesmente de casca de café. Para sua utilização, foi feita uma seleção a fim de separar pequenos gravetos e folhas que poderiam estar misturados à palha, como é chamada a mistura. Em seguida foi realizada uma lavagem manual com água de torneira, de modo que o material ficou imerso em água por 24 horas e após esse período a água foi trocada, sendo esse procedimento repetido durante 3 dias, até que não houvesse mais liberação de cor na água.

Após a lavagem, o material foi seco em estufa a 65°C até se atingir peso constante (ANDRADE, 2009). Esse procedimento foi feito a fim de reduzir o tempo de secagem, uma vez que Baig et al. (2011) optaram por secagem ao ar livre sob a ação do sol. Para obtenção da granulometria mais apropriada, o material foi triturado em processador de facas doméstico e submetido a análise granulométrica utilizando peneiras do sistema Tyler na faixa de 4,75 mm a 2,00 mm.

As cascas de pinus da espécie *caribea* variedade *hondurensis* foram doadas gentilmente pela empresa Caxuana, que trabalha com o cultivo de madeiras de reflorestamento do tipo pinus e eucalipto, no município de Nova Ponte no estado de Minas Gerais. O material adquirido na forma de cavaco foi separado de pedaços de madeira no intuito de se utilizar somente a casca da árvore propriamente dita.

O material sofreu o mesmo tratamento de lavagem que a palha de café, lavagem diária em água corrente para remoção de cor, seguida de secagem em estufa, Trituração e análise granulométrica na mesma faixa de tamanho que a casca de café.

Após o procedimento de separação pelo sistema de peneiras, as biomassas reservadas para estudo se encontravam na faixa de 4,75 mm a 2,36 mm. Estes valores são menores que o tamanho do material estudado por Baig et al. (2011) que optaram por utilizar 6,00 mm. Por outro lado, Lima (2006) trabalhou com cascas e pergaminho de café de 2 a 6 mm, para remoção de cor da água do beneficiamento por via úmida do grão. Sendo assim, neste estudo,

optou-se por um tamanho intermediário para o meio filtrante. A Figura 3.1, mostra os materiais após o tratamento de lavagem, trituração e classificação.



Figura 3.1 – Materiais utilizados como meio de filtração A) casca de café e B) casca de pinus.

Além das biomassas, como meio filtrante foram utilizados cascalho e areia de construção civil. Para estes materiais foi feita apenas a distribuição granulométrica, sendo a lavagem dos mesmos realizada após a montagem dos filtros.

Foram necessários quatro tamanhos diferentes de areia, identificados de acordo com suas granulometrias como, cascalho, cascalho fino, areia grossa e areia fina, sendo os tamanhos na faixa de 6,00 a 4,00 mm; 3,00 a 2,00 mm; 1,68 a 0,71 mm e de 0,25 a 0,08 mm, respectivamente, conforme apresentados na Figura 3.2. e 3.3.

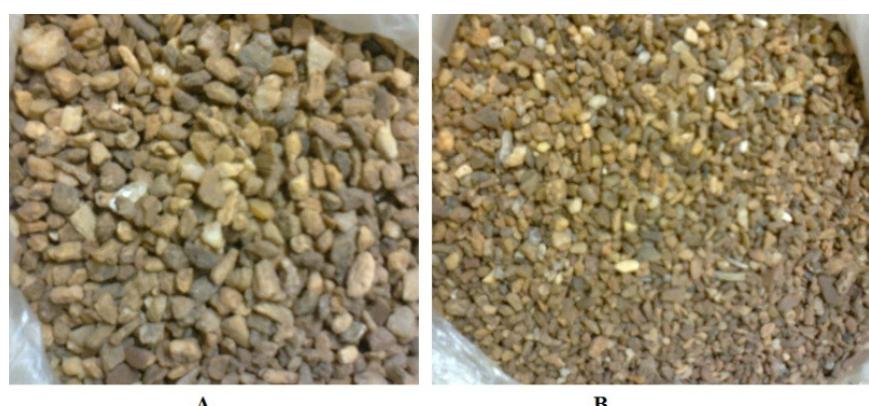


Figura 3.2 – A) cascalho, B) cascalho fino utilizados nos filtros.

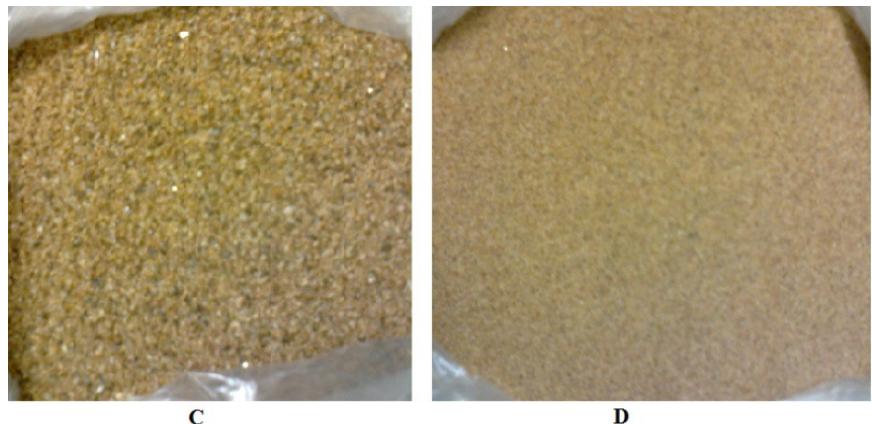


Figura 3.3 – C) areia grossa e D) areia fina, utilizados nos filtros.

Para caracterização dos vegetais, foi realizada uma análise das características microestruturais utilizando microscopia eletrônica de varredura, MEV. As amostras foram recobertas com lâminas de ouro para tornarem-se condutoras, a fim de dissipar a carga elétrica e o calor introduzidos pela exposição ao feixe de elétrons. A análise foi realizada no Laboratório Multusuário de Microscopia da Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia, utilizando aumento de 400 vezes para todas as amostras.

3.2 Montagem do sistema

No trabalho de Baig et al. (2011) foram construídos filtros de concreto de 90 cm de altura e 30 cm de diâmetro, para utilização em residências ou pequenas comunidades. Entretanto, Lima (2006) trabalhou com tubos de PVC de 100 mm de diâmetro e 60 cm de altura em seus filtros orgânicos, cujo meio de filtração era constituído apenas por palha de café, como se pode observar na Figura 3.4.



Figura 3.4 – Estrutura utilizando casca de café para filtração de água residual de beneficiamento por via úmida. Fonte: Lima (2006).

Sendo assim, para este estudo, optou-se por uma adaptação intermediária aos dois trabalhos citados. Foram utilizados tubos de PVC de 2" de diâmetro e 25 cm de altura, no intuito de tornar o processo mais prático. O tamanho menor permite que o sistema possa ser utilizado dentro das residências com fácil operação. Porém, como a estrutura não é de mesma dimensão que os trabalhos mencionados, houve a necessidade de se utilizar também tamanhos diferentes para o material. Foram realizados cálculos para determinar as medidas das tubulações e a granulometria da areia, sendo que procurou-se manter as proporções do sistema estudado por Baig et al. (2011).

Assim, o sistema de filtração era composto por um reservatório de PVC com capacidade total de 50 litros. A este tanque, foram acoplados dois tubos também de PVC na parte inferior, cada um deles contendo a mesma quantidade de material e de mesma granulometria. Apenas para garantir que o meio de filtração permanecesse em camadas, foram utilizados pedaços de uma tela de nylon entre cada uma das porções no interior da tubulação. Na extremidade destas também foi colocada uma pequena tela impedindo assim a passagem do material e também uma conexão do tipo cap foi rosqueada na ponta do tubo para dar sustentação. Nesta conexão foi feito um orifício por onde se conectou uma mangueira para a saída do efluente. Cada uma das mangueiras alimentava uma proveta graduada para a coleta e medida do volume de filtrado em cada um dos tratamentos. A Figura 3.5 mostra o sistema de filtração.

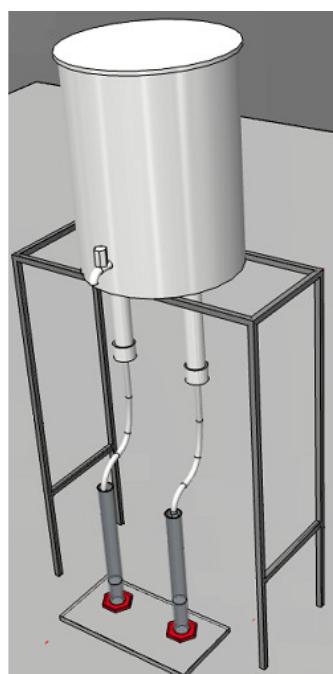


Figura 3.5 – Sistema de filtração. Fonte própria.

Sendo assim, os dois filtros operavam simultaneamente a partir de um volume inicial de 20 L de água bruta adicionado ao reservatório comum, durante quatro semanas. As amostras eram coletadas antes da filtração e após cada tratamento, no início e no fim da cada semana, uma vez que o sistema não operava aos finais de semana. Para análise dos parâmetros químicos foi realizada apenas uma amostra por dia de amostragem, em virtude da limitação da quantidade de reagentes do kit, enquanto que para análise dos parâmetros físicos, eram colhidas três amostras por dia de amostragem.

Baseado nos resultados do estudo realizado por Baig et al. (2011), a modificação proposta foi de reduzir em aproximadamente 50% a quantidade de areia do meio de filtração.

Devido a estrutura do sistema, que comportava apenas dois tubos, o trabalho foi dividido em duas fases, na primeira se trabalhou com areia grossa e na segunda com areia fina, nas mesmas proporções. A Figura 3.6 apresenta a estrutura interna dos filtros, onde as camadas foram cuidadosamente separadas por pequena tela.

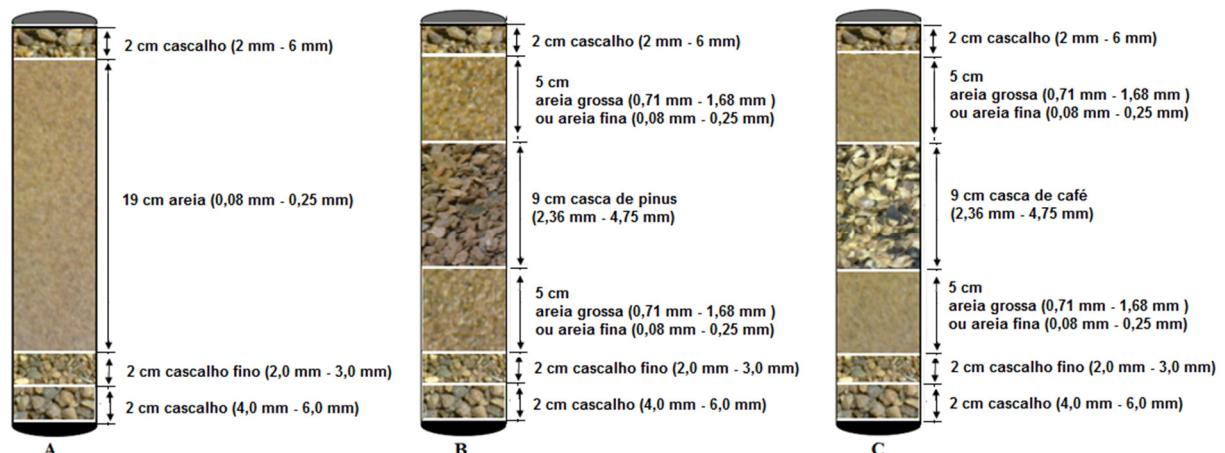


Figura 3.6 – Estrutura interna dos filtros estudados: A) filtro de areia, B) filtro de areia e casca de pinus e C) filtro de areia e casca de café.

3.3 Preparação da água bruta sintética

Para análise, buscou-se preparar uma água bruta sintética que se aproximasse das condições naturais de cor, turbidez e contaminação biológica, que geralmente se encontra em regiões onde não há tratamento adequado de água ou ainda em que ocorre despejo de esgoto.

Para fornecer cor e turbidez foi utilizada terra, colhida no próprio terreno do laboratório, a proporção usada foi obtida após várias tentativas até que se obteve um valor

satisfatório. Assim, 2 gramas de terra eram diluídos em 500 mL de água sob agitação magnética durante 30 minutos com aquecimento. O aquecimento foi realizado de modo a melhorar a solubilidade da terra em água. Em seguida, a composição era filtrada em filtro de tecido e adicionada ao restante de água completando o volume final de 20 litros de água bruta que era alimentada ao reservatório.

A contaminação da água foi realizada com base no estudo de Baig et al. (2011), em que se utilizou 2 mililitros de esgoto fresco em 20 litros de água. No entanto, a reprodutibilidade desta proporção não foi alcançada e, após vários testes, se chegou em outra composição: 5 mililitros de esgoto para 20 litros de água de torneira. Este resíduo era colhido na própria caixa de passagem do laboratório e por este motivo não se conseguiu um valor fixo para controle de coliformes, uma vez que se tem um número variável de pessoas que utilizam os sanitários do prédio. Sendo assim, a análise foi feita com base na redução de coliformes após cada tratamento, no início e no fim de cada semana e não ao final de um período como no caso do trabalho de Baig et al. (2011), que analisavam a redução de coliformes após 15 dias de operação.

3.4 Análise do tratamento

A qualidade da água foi analisada antes e após cada um dos tratamentos de filtração, sendo analisados além da contaminação microbiológica, parâmetros físico-químicos e vazão. As amostragens foram realizadas semanalmente durante quatro semanas, no entanto, durante os finais de semana não havia operação. Para as análises foi utilizado um kit comercialmente vendido, pela empresa Alfakit, para análises dos parâmetros de potabilidade da água.

Todos os testes foram realizados seguindo as instruções de análise do próprio kit, cujos parâmetros foram estabelecidos a partir da Portaria nº 518 do Ministério da Saúde de Março de 2004. Porém não foram realizados todos os testes possíveis com o kit, apenas aqueles parâmetros que poderiam sofrer alguma alteração, uma vez que a água bruta era produzida diariamente nas mesmas condições, o que garante certa conformidade de algumas características, como oxigênio dissolvido, por exemplo.

Sendo assim, foram acompanhados os níveis de cloretos, dureza, cor, nitrogênio amoniacal, turbidez, pH, condutividade elétrica, temperatura, além de coliformes fecais (*Escherichia coli*) e totais (*Enterobacter cloacae*) e a vazão de filtração dos sistemas.

A determinação dos níveis de cloreto foi realizada pelo método argentimétrico, que consiste na adição de cromato de potássio à amostra e posterior titulação com nitrato de prata,

o que provocava a mudança da coloração amarelo para vermelho tijolo. A quantidade de cloreto em mgL^{-1} foi obtida por uma correlação do volume gasto de nitrato de prata, Vg , necessário para conferir a mudança de cor da amostra. A correlação fornecida no manual de instruções do kit utilizado nas análises é uma simplificação e já considera a normalidade do reagente titulante, como apresentada na Equação 1.

$$\text{Cloreto (mgL}^{-1} \text{ de } \text{Cl}^-) = Vg \times 35 \quad (1)$$

Também foi feita uma titulação, tipo complexação, para análise da dureza total da água. À amostra coletada eram adicionados solução tampão e reagente Negro de E.T., em seguida a amostra era titulada com EDTA, o que provocava a mudança da cor inicialmente lilás para uma cor azulada. O volume gasto de EDTA, Vg , necessário para ocorrer a variação da cor quantificava a dureza da amostra expressa em mg.L^{-1} de CaCO_3 , conforme Equação 2, apresentada no manual de instruções do kit utilizado para as análises como uma simplificação que considera o fator de correção do EDTA.

$$\text{Dureza total (mgL}^{-1} \text{ de } \text{CaCO}_3) = Vg \times 20 \quad (2)$$

Para acompanhamento da cor aparente, foi feita uma análise de comparação visual, com o auxílio de uma cartela baseada no método platina-cobalto, como a apresentada na Figura 3.7. As diferentes cores da cartela são variações de uma solução sólida de cloroplatinato de potássio (K_2PtCl_6) em cloreto de cobalto (CoCl_2), com valores entre 3 e 100 mg.L^{-1} Pt/Co (ou unidades de cor).



Figura 3.7 – Cartela de comparação para análise de cor aparente.

O nível de nitrogênio amoniacal foi determinado por método de comparação colorimétrica usando azul de indofenol, com o auxílio de uma cartela de comparação, em que cada cor representa uma concentração entre 0,0 a 3,0 mg.L⁻¹ de N-NH₃. A cubeta com a amostra era posicionada sobre a cartela, como mostrado na Figura 3.8.



Figura 3.8 – Cartela de comparação para análise do teor de nitrogênio amoniacal.

A análise de turbidez foi realizada com o auxílio de um turbidímetro modelo AP2000 da marca Poli Control, Figura 3.9 (a), com precisão de $\pm 0,01$ NTU ou $\pm 0,1$ NTU a depender da faixa escolhida para leitura. A amostra era acondicionada em uma cubeta específica e inserida na câmara do aparelho com a gravação Poli Control voltada para a frente. Para que a leitura fosse efetuada, a câmara era fechada e a tecla “LIGA” pressionada. A faixa selecionada para leitura foi de 0 – 100 NTU, sendo a calibração previamente realizada com os padrões fornecidos pelo fabricante.

Para acompanhamento do pH foi utilizado um pHmetro da marca GEHAKA, modelo 1400, com precisão de $\pm 0,01$ unidades de pH. O dispositivo também foi utilizado para medir temperatura em °C, com precisão $\pm 0,1$ °C. A Figura 3.9 (b) mostra o aparelho utilizado.

A condutividade elétrica foi acompanhada com o auxílio de um medidor de condutividade marca Instrutherm, modelo CD – 850, na faixa de 0 – 200 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$, com precisão de $\pm 0,1 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$. Como apresentado pela Figura 3.9 (c).

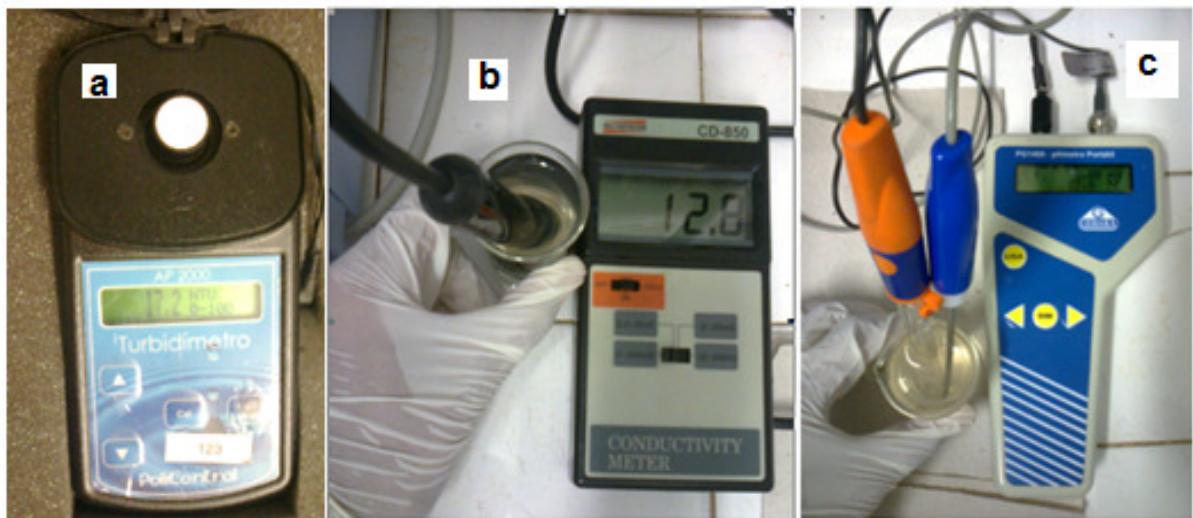


Figura 3.9 – a) medidor de turbidez, b) medidor de condutividade e c) pHmetro utilizado para medidas de pH e temperatura.

A presença de coliformes fecais e totais na água bruta sintética e no filtrado foi acompanhada utilizando o kit Colipaper, presente no Polikit de Potabilidade da água, apresentado na Figura 3.10. O kit consistia em cartelas impregnadas com meio de cultura adequado na forma de gel desidratado, que ao ser umidificado com a água contaminada permitia o crescimento e análise dos organismos, após incubação durante 15 horas a 36°C. A quantidade dos micro-organismos era avaliada em UFC por 100 mL de amostra, sendo que as colônias de *Escherichia coli* eram identificadas por pontos azuis e as colônias características de *Enterobacter cloacae*, por pontos de coloração rósea avermelhada.

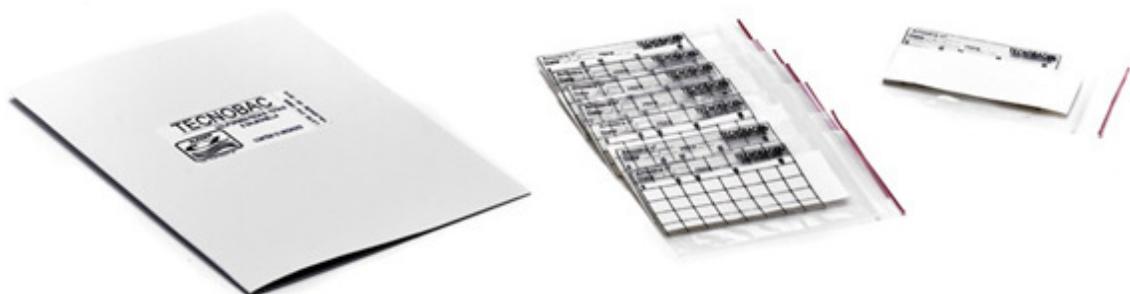


Figura 3.10 – Kit para análises microbiológicas utilizado no estudo.

A vazão de filtração do sistema foi acompanhada pela medida do volume filtrado em cada tratamento, por provetas graduadas de 500 mL com precisão de ± 5 mL, durante as primeiras horas de operação.

Vale ressaltar que a metodologia adotada, visou simular uma situação real de caráter emergencial. Por exemplo, em que se desejaria tratar pequena quantidade de água num dia e no dia posterior poderia não ter água e o sistema ficaria sem operação.

Com o intuito de verificar a durabilidade do sistema e sua capacidade de retenção de contaminantes, mesmo com interrupções, não houve alimentação aos finais de semana e a entrada da água bruta sintética nem sempre ocorria no mesmo horário. Logo, a pressão hidrostática nem sempre foi mantida.

Portanto, não somente a estrutura do filtro de areia foi modificada, mas a forma de operação, um vez que neste tipo de tratamento a alimentação ocorre diariamente, de forma que o meio filtrante fique sempre úmido e periodicamente deve ser realizada a limpeza da camada de areia. No presente estudo, optou-se por verificar a viabilidade e eficiência do sistema operando de forma batelada, com interrupções na alimentação e sem realizar a limpeza da camada superficial de areia.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

O sistema foi montado no Laboratório de Engenharia Termo-Ambiental da Unidade Avançada de Pesquisa da Faculdade de Engenharia Química. Todos os experimentos foram realizados no mesmo laboratório, exceto a incubação das amostras microbiológicas, que foram acondicionadas em estufa bacteriológica do Laboratório Didático 3, do Bloco K, da Faculdade de Engenharia Química.

O sistema utilizado tinha capacidade de analisar apenas dois filtros de cada vez, pois no reservatório foram acoplados apenas dois tubos. Logo, em um primeiro momento do estudo, analisou-se o comportamento dos filtros cujo meio de filtração consistia em areia de granulometria entre 1,68 e 0,71 mm e as biomassas. Numa segunda etapa, o meio de filtração foi composto por areia fina, cuja granulometria era de 0,25 a 0,088 mm e as cascas. Primeiro comparou-se o comportamento do filtro modificado com a casca de café e depois o que foi modificado com a casca de pinus. Assim, a nomenclatura dos filtros foi a seguinte:

- A1 = filtro de areia fina para comparar com o filtro de casca de café
- A2 = filtro de areia fina para comparar com o filtro de casca de pinus
- C1 = filtro modificado com casca de café e areia grossa
- C2 = filtro modificado com casca de café e areia fina
- P1 = filtro modificado com casca de pinus e areia grossa
- P2 = filtro modificado com casca de pinus e areia fina

Para representar os valores da água bruta sintética adotou-se: AS1 para a primeira etapa do estudo, quando se comparou o desempenho dos filtros de areia grossa com os dois materiais vegetais; AS2 quando se analisou o comportamento do filtro de areia fina e casca de café e AS3 na etapa em que se trabalhou com filtro de areia fina e casca de pinus.

4.1.Caracterização dos vegetais

Os materiais foram analisados por microscopia eletrônica de varredura com aumento de 400 vezes. Na Figura 4.1 tem-se a imagem obtida da superfície da casca de pinus.

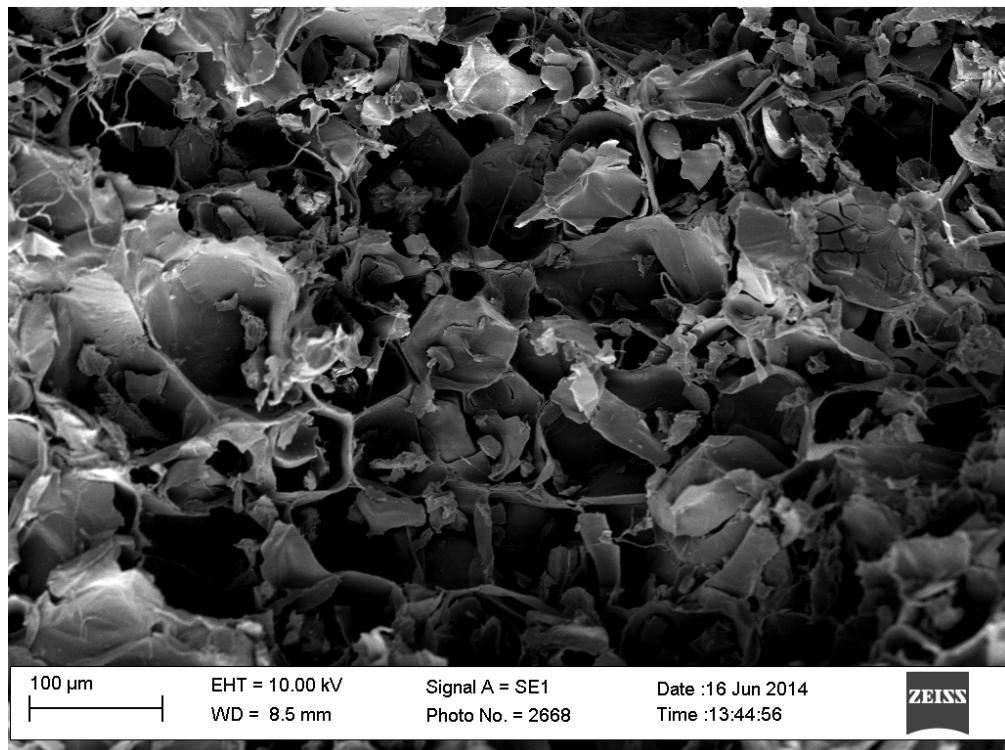


Figura 4.1 – Superfície da casca de pinus.

A superfície do pergaminho de café na mesma escala de ampliação praticamente não apresenta poros, assim como a superfície da casca, conforme imagens apresentadas pelas Figuras 4.2 e 4.3, respectivamente.

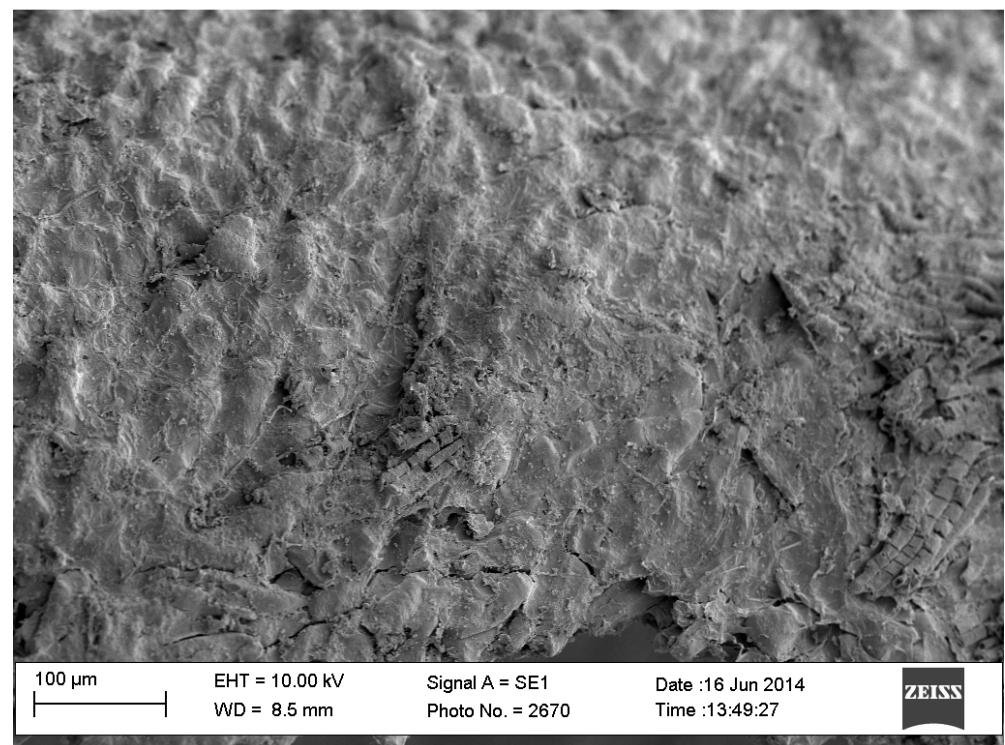


Figura 4.2 – Superfície do pergaminho do grão de café.

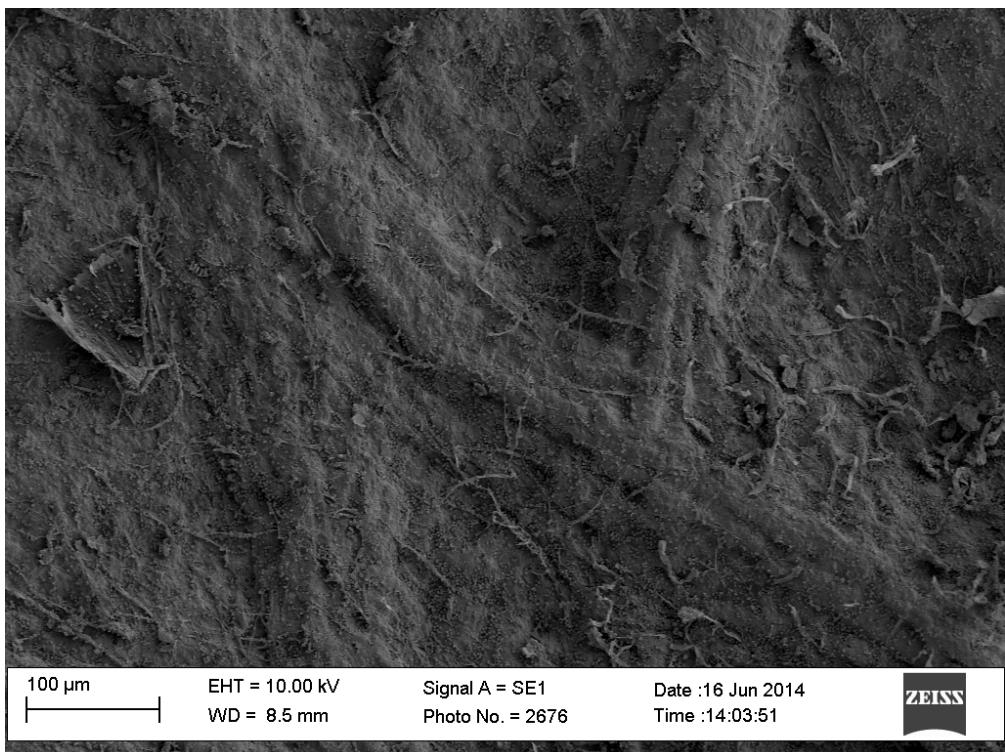


Figura 4.3 – Superfície da casca de café

Pode-se observar que a superfície da casca de pinus apresenta grande quantidade de poros de tamanhos variados, enquanto que os dois materiais gerados pelo processo de beneficiamento de café, casca e pergaminho do grão, na mesma escala de ampliação apresentam apenas fissuras de pequena profundidade. Sendo assim, a característica física dos materiais pode determinar seu desempenho de retenção de partículas.

4.2.Taxa de filtração

Para verificar a influência da entrada de água no comportamento dos filtros, não foi utilizada placa de distribuição de água como feito por Mwabi et al. (2011) e Elliott et al. (2011). Ao invés disso, foi adicionada na extremidade superior dos filtros uma conexão do tipo plug para diminuir a entrada da água. No entanto, este procedimento não foi realizado na última parte do estudo, quando comparou-se o comportamento do filtro de areia fina (A2) ao do filtro de areia fina modificado com casca de pinus (P2), exatamente para verificar a influência da abertura de entrada de água na eficiência do sistema. Portanto, as vazões de filtração dos dois filtros de areia, A1 e A2, foram diferentes, apesar de serem construídos de forma semelhante.

A Tabela 4 apresenta a vazão de filtração dos sistemas estudados, onde se pode observar que o volume de filtrado por unidade de tempo, quando se utilizou areia grossa, foi maior do que ao se trabalhar com areia fina, isso ocorreu em função da maior porosidade do meio, uma vez que a areia fina causa um aumento da perda de carga dentro do filtro e consequentemente, reduz a vazão. Os valores são apresentados como a média obtida em cada semana e a resultante em todo o período. Os valores absolutos são apresentados na Tabela A.1 do apêndice.

Tabela 4 – Vazão de filtração de cada tratamento estudado, em mLmin^{-1} .

Tempo de operação (dias)	Tipo de filtro					
	C1	P1	A1	C2	A2	P2
0 – 7	29,9	14,6	4,9	9,0	19,7	18,5
7 – 14	11,4	14,4	2,6	1,4	15,6	21,2
14 – 21	8,7	6,3	0,9	0,3	3,1	4,6
21 – 28	2,2	2,6	1,1	0,2	0,5	1,2
Vazão total média (mLmin^{-1})	13,0	9,5	2,4	2,7	9,7	11,4

Durante os experimentos se observou que a vazão variou muito de uma semana para a outra e também ao longo do dia, devido a diminuição da pressão provocada pela diminuição do nível de água no reservatório. Altos desvios foram observados, principalmente para o filtro de areia grossa modificado com casca de café, conforme Tabela A.1 do apêndice.

Quando se utilizou areia fina na construção dos filtros esperava-se que a taxa de filtração fosse menor do que a obtida quando se utilizou areia grossa. No entanto se observou que na última etapa os valores de vazão, A2 e P2 foram superiores aos de A1 e C2, isso porque neste período do trabalho se optou por uma abertura maior para a entrada da água bruta sintética, utilizou-se a abertura máxima dos filtros que era de 2 polegadas de diâmetro, por isso as taxas de filtração maiores. Porém, em todos os casos observou-se uma tendência decrescente da vazão ao longo do tempo, conforme o esperado, devido a saturação do meio filtrante pelas partículas de sujeira.

Com os testes realizados, observou-se que vazão de filtração do filtro modificado com casca de café foi ligeiramente menor que a do filtro de areia, apesar do valor de vazão total médio ter sido um pouco maior devido ao início do tratamento, quando o filtro apresentou alta vazão seguida de uma acentuada redução. Vale lembrar que nesta parte do trabalho foi realizado o controle da entrada da água bruta, com o auxílio de uma conexão de redução, a fim de que o sistema operasse com vazão baixa para evitar o arraste das partículas

contaminantes. Isso resultou em desvios menores ao longo do dia, quando comparados aos valores obtidos na primeira fase, sendo que o filtro de areia apresentou vazão de filtração mais uniforme do que o filtro modificado com casca de café, com desvio padrão baixo.

Já para o caso em que se operou com abertura livre para entrada da água bruta sintética, isto é, quando não foi utilizada a conexão de redução, percebeu-se a grande variação no volume de filtrado por unidade de tempo, tanto para o filtro de areia quanto para o modificado com casca de pinus. Ao longo do dia se observou grande variação na quantidade de filtrado para ambos os tratamentos, o filtro de areia apresentou desvio padrão superior ao obtido pelo filtro de areia da fase anterior, e para o filtro modificado com casca de pinus esta variação foi maior do que do filtro de areia, assim como ocorreu para o filtro de casca de café.

Sendo o sistema operado em batelada, à medida que a quantidade de líquido diminuiu no reservatório, a pressão foi reduzida, provocando uma maior perda de carga dentro do filtro e consequentemente uma vazão menor (ELLIOTT et al., 2011). A Figura 4.4 apresenta o comportamento dos filtros de areia fina e modificado com a biomassa de café, enquanto que a Figura 4.5 mostra o comportamento dos filtros de areia e modificado com casca de pinus.

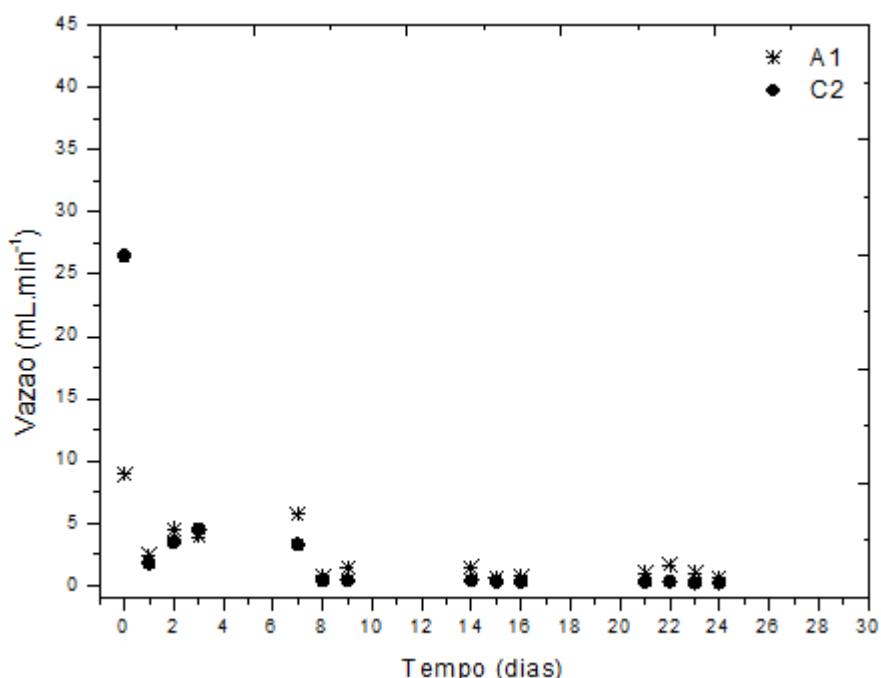


Figura 4.4 – Comportamento da vazão de filtração do tratamento com areia fina (A1) e com casca de café e areia fina (C2) ao longo do tempo.

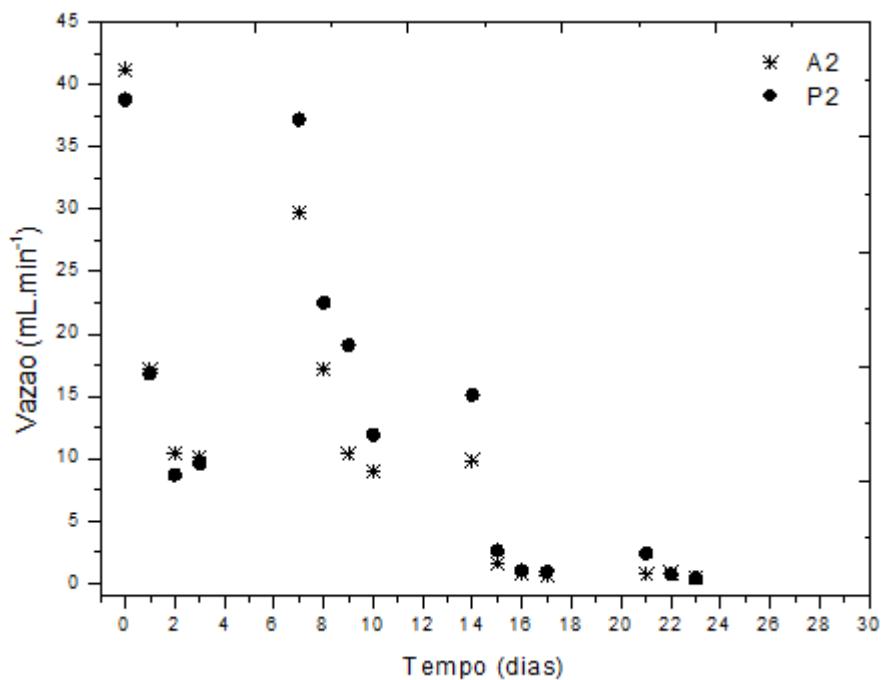


Figura 4.5 – Comportamento da vazão do filtro de areia fina (A2) e do filtro de areia fina modificado com casca de pinus (P2) ao longo do tempo.

Pode-se observar que, inicialmente o filtro de areia apresentou maior volume filtrado, mas já na segunda semana de estudo, a vazão de filtração do filtro modificado com casca de pinus foi superior, permanecendo assim até o fim do trabalho. Mas ao longo do tempo, também houve redução no volume filtrado, devido ao preenchimento dos poros pelas partículas de sujeira.

Quando se trabalhou com areia grossa, o filtro modificado com casca de café apresentou maior variação no volume de filtrado do que o modificado com casca de pinus. Este por outro lado, apresentou vazão de filtração bem uniforme, pouco variando durante o período de estudo, com uma redução gradativa, sem muitas oscilações e com uma taxa de filtração moderada, com média de $9,5 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ durante 20 dias de operação, apresentando valores baixos apenas na última semana.

O filtro modificado com casca de café e areia fina, C2, apresentou pouca variação na quantidade de volume filtrado, porém no início da operação houve um declínio abrupto o que indica uma possível compactação da camada vegetal. Conforme Baig et al. (2011), isso justificaria a baixa vazão de filtração no decorrer de todo o restante do período, em média $2,7 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$.

Para comparar o comportamento dos dois vegetais a Figura 4.6, mostra a variação da vazão de filtrado para ambos ao longo do tempo.

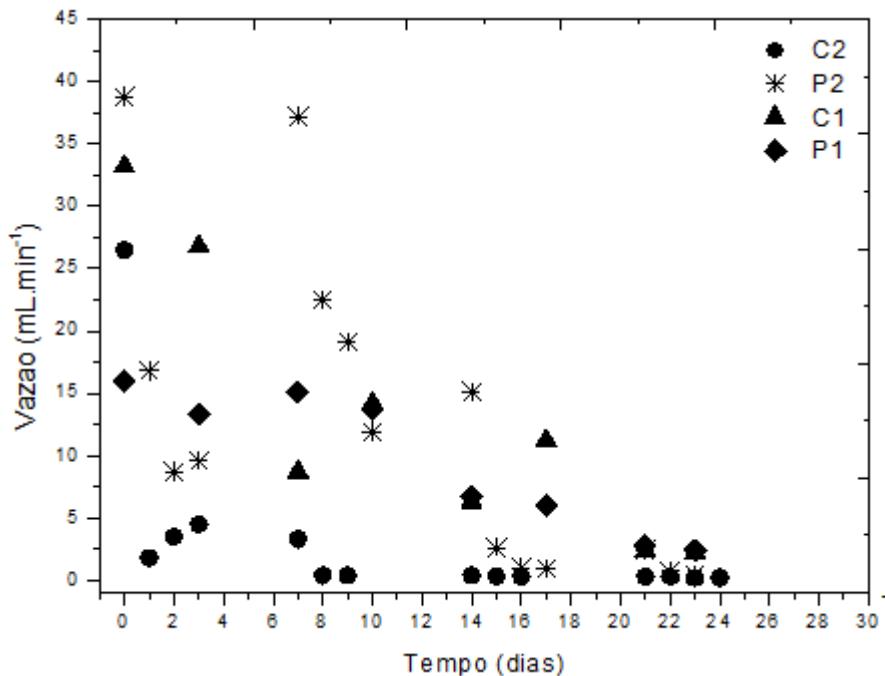


Figura 4.6 – Vazão de filtração dos filtros modificados ao longo do tempo de estudo.

Em P2 as oscilações foram mais acentuadas do que em P1, com vazão de filtrado variando desde 40 mLmin^{-1} até $0,5 \text{ mLmin}^{-1}$ no final do estudo.

4.3.Redução de turbidez

No início de cada processo quando os poros do meio filtrante estão vazios, espera-se que a remoção da turbidez da água bruta sintética seja maior. Pelos resultados observou-se que nas condições trabalhadas, as maiores reduções de turbidez foram do filtro de areia, aproximadamente 90% de remoção. A Tabela 5 apresenta a redução de turbidez devido a filtração com cada um dos tratamentos estudados ao longo do tempo. Os valores apresentados são as médias de cada semana, os valores absolutos são apresentados na Tabela A.2 do apêndice.

A porcentagem de remoção foi calculada pela Equação 3.

$$\% \text{ REMOÇÃO} = \left| \frac{\text{Turbidez}_0 - \text{Turbidez}_f}{\text{Turbidez}_0} \right| \times 100 \quad (3)$$

Onde: Turbidez_0 representa a turbidez inicial, antes da filtração e

Turbidez_f representa a turbidez final, após a filtração.

Tabela 5 – Porcentagem de remoção de turbidez dos filtros estudados.

Tempo (dias)	Filtro	Turbidez inicial (NTU)	Turbidez do efluente (NTU)	Remoção (%)
0 – 7	C1	15,40	12,13	21
	P1	15,40	10,40	32
	A1	11,23	2,14	81
	C2	11,23	4,26	62
	A2	11,64	4,74	59
	P2	11,64	4,55	61
7 – 14	C1	20,40	14,47	29
	P1	20,40	12,80	37
	A1	8,88	0,78	91
	C2	8,88	16,08	-81
	A2	15,75	8,41	47
	P2	15,75	7,92	50
14 – 21	C1	18,45	12,00	35
	P1	18,45	9,81	47
	A1	5,70	0,43	92
	C2	5,70	78,20	-1272
	A2	16,17	3,21	80
	P2	16,17	5,16	68
21 – 28	C1	29,90	13,90	53
	P1	29,90	12,50	58
	A1	8,18	1,02	87
	C2	8,18	76,91	-840
	A2	11,00	2,40	78
	P2	11,00	6,35	42

Nota: Os valores negativos significam que houve aumento ao invés de redução da turbidez.

Observou-se que a granulometria da areia utilizada como meio filtrante influenciou o desempenho do filtro, as reduções de turbidez foram maiores quando se trabalhou com areia fina.

A casca de café quando utilizada com areia grossa, nas quatro semanas de estudo, não atingiu 35% de redução de turbidez, em média, enquanto que o filtro com a modificação da casca de pinus superou 43%, que ainda é uma porcentagem baixa para redução deste parâmetro. Além disso, ao se trabalhar com a menor granulometria de areia, ao invés da diminuição de turbidez mesmo baixa observada na primeira fase, a biomassa de café provocou elevação deste parâmetro após poucos dias de operação. Provavelmente iniciou-se o processo de deterioração do vegetal dentro do filtro, liberando componentes corantes da casca

para a água. Já a casca de pinus, se mostrou ligeiramente mais eficiente que o filtro de areia no início do tratamento, no entanto, nos últimos dias a porcentagem de remoção foi menor do que do filtro de areia, mesmo assim, durante o período analisado, manteve redução média acima de 55%.

Durante todo o estudo foram observados baixos desvios nos valores de turbidez medidos diariamente, sendo que para os filtros de areia estes desvios foram menores do que os apresentados pelos filtros modificados com as duas biomassas (Tabela A.2).

Pelos resultados obtidos, pode-se dizer que a biomassa de café não se mostrou como uma modificação eficiente para a purificação da água, uma vez que além de não reduzir a turbidez da água, provocou elevação dos valores deste parâmetro, nas condições adotadas no estudo. Entretanto, a casca de pinus pode ser um complemento interessante, principalmente se o tempo de operação não ultrapassar 15 dias. A Figura 4.7 apresenta o comportamento do filtro de areia grossa e casca de pinus e a Figura 4.8 traz a comparação entre o filtro de areia fina e P2, frente a redução de turbidez.

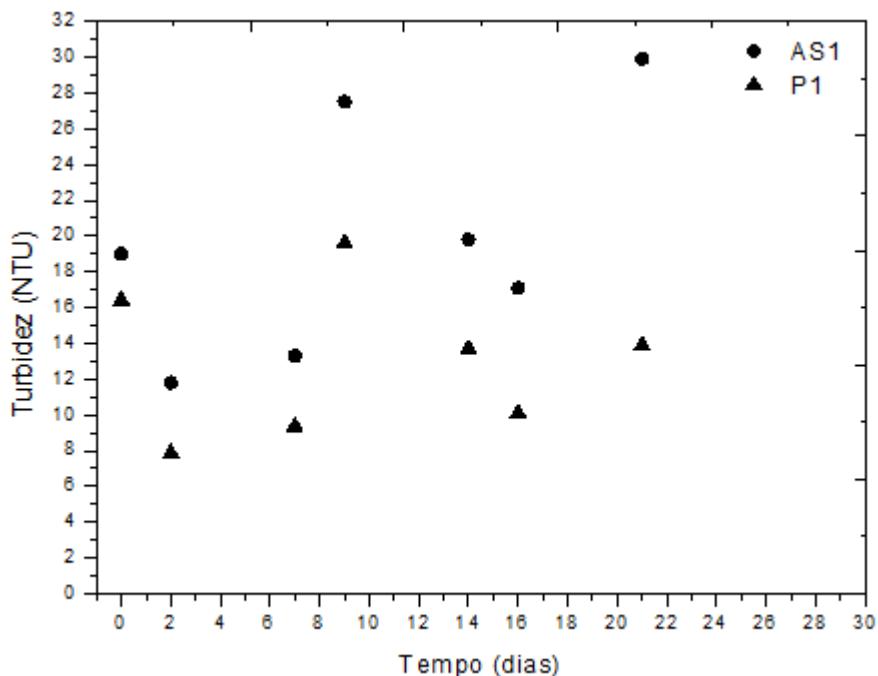


Figura 4.7 – Variação de turbidez ao longo do tempo devido ao tratamento P1.

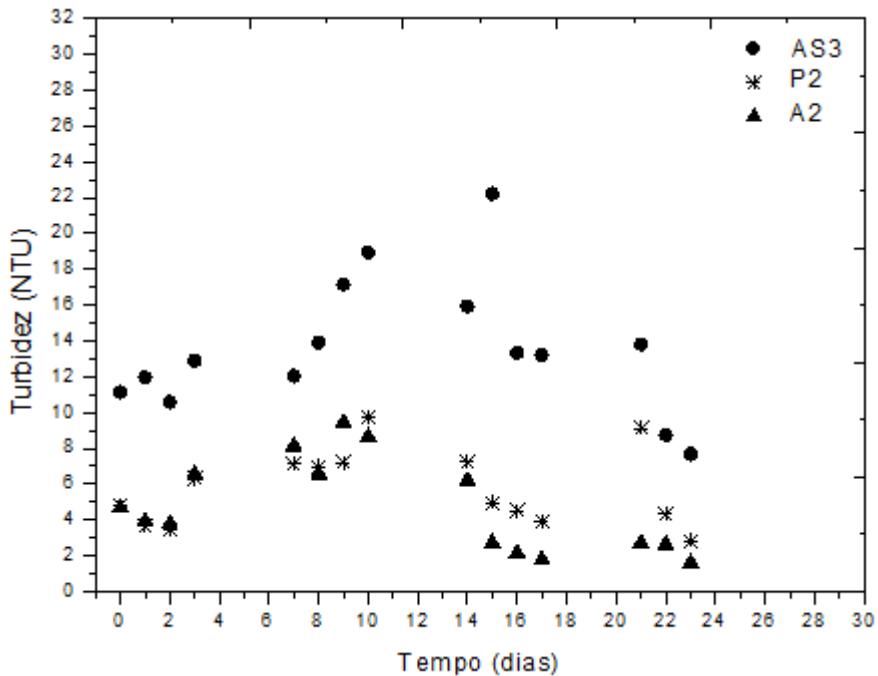


Figura 4.8 – Variação de turbidez dos efluentes dos filtros de areia fina modificados com casca de pinus.

Ao observar a Figura 4.8 percebe-se que o segundo filtro modificado com casca de pinus, P2, demonstra um comportamento pouco uniforme de redução de turbidez, resultando num efluente com turbidez abaixo de 10 unidades, em média 6 NTU em todo o estudo.

Vale ressaltar que o BSF modificado com zeólitas naturais utilizado por Mwabi et al., (2011) apresentou porcentagem de remoção acima de 90%, nas condições por eles adotadas. Baig et al., (2011) também conseguiram remoções de turbidez acima de 80%, nos primeiros 30 dias com o BSF modificado com maior quantidade de casca de pinus.

De modo geral, o filtro que operou com menor vazão apresentou maior porcentagem de remoção da turbidez da água (A1). Além disso, ao longo do tempo, a diminuição da vazão aumentou a porcentagem de remoção de turbidez para os filtros C1 e P1, enquanto que os demais não apresentaram essa tendência. Sendo assim, a menor eficiência de remoção, quando comparada a outros trabalhos, provavelmente foi devido às modificações estruturais propostas ao sistema.

4.4.Remoção de cor

A cor aparente da água bruta sintética sofreu redução ao se utilizar filtros modificados com as duas biomassas, sendo que a casca de pinus se apresentou mais eficiente

do que a casca de café nas duas granulometrias de areia utilizadas no trabalho. Assim como ocorreu com os valores de turbidez, ao invés do filtro com casca de café reduzir a cor da água bruta sintética, a elevou bruscamente, isto pode ser observado pela Figura 4.9, que apresenta amostra do efluente do filtro modificado com casca de café na segunda fase do tratamento com 16 dias de operação e a comparação com o efluente do filtro de areia do mesmo dia.

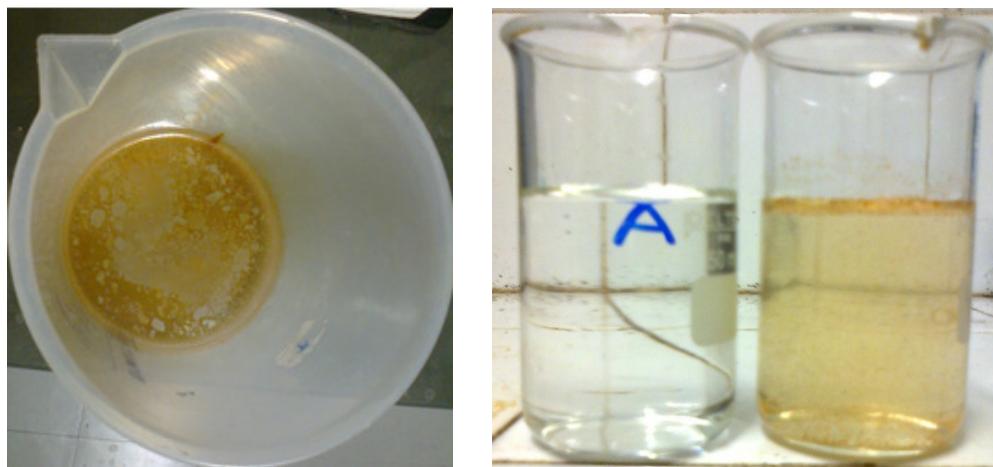


Figura 4.9 – Amostra do efluente do filtro modificado com casca de café e comparação com efluente do filtro de areia à direita.

Vale ressaltar que a casca de café apresenta em média 4,5 % de lipídios, segundo resultados obtidos por Andrade (2009), isto pode ser uma explicação para a coloração com manchas características de óleo do efluente do filtro modificado com o material. A Tabela 6 apresenta os valores da cor aparente dos efluentes de cada sistema de filtração utilizado.

Tabela 6 – Valores de cor aparente da água bruta sintética e dos efluentes dos filtros.

Amostragem	Cor (uH)									
	AS1	C1	P1	AS2	A1	C2	AS3	A2	P2	
0 (dias)	25	15 (40)	15 (40)	15	3 (80)	5 (67)	15	5 (67)	5 (67)	5 (67)
7 (dias)	15	5 (67)	5 (67)	15	3 (80)	3 (80)	15	5 (67)	5 (67)	5 (67)
14 (dias)	20	5 (75)	4 (80)	10	3 (70)	26 (-160)	15	5 (67)	5 (67)	5 (67)
21 (dias)	20	10 (50)	4 (80)	5	3 (40)	100 (-1900)	20	4 (80)	4 (80)	4 (80)
28 (dias)	25	3 (88)	5 (80)	5	3 (40)	100 (-1900)	5	3 (40)	3 (40)	3 (40)

Observação: Valores entre parênteses indicam a porcentagem de redução do parâmetro analisado calculada pela equação 4, o sinal de negativo significa que houve aumento ao invés de redução.

A porcentagem de remoção foi calculada pela Equação 4.

$$\% REMOÇÃO = \left| \frac{Cor_0 - Cor_f}{Cor_0} \right| \times 100 \quad (4)$$

Onde: Cor_0 representa a cor inicial, antes da filtração e
 Cor_f representa a cor final, após a filtração.

Pelos dados percebe-se que o comportamento para remoção de cor da água bruta sintética apresentado pelos filtros modificados, de modo geral, parece ser inverso ao do filtro de areia, este tem sua eficiência de remoção diminuída ao longo do tempo.

Inicialmente todos os poros da camada de areia estavam vazios e foram preenchidos pelas partículas de sujeira do líquido. À medida que estes poros foram sendo ocupados a capacidade de retenção foi diminuída e a perda de carga aumentou. Então, as partículas começaram a ser arrastadas pelo líquido uma vez, que não havia mais espaço para a livre passagem do mesmo (DIOGO, 2010).

Por outro lado, os filtros com camadas vegetais apresentaram uma tendência em aumentar a capacidade de redução de cor com o passar do tempo. Provavelmente devido ao mecanismo de aglutinação das moléculas na superfície dos materiais, que também pode justificar a redução da vazão. Os espaços vazios para passagem do líquido foram reduzidos e preenchidos pelas partículas contaminantes até certo tempo limite, quando então o tratamento começou a elevar a concentração da cor aparente da água.

Quando comparado com o filtro de areia, o tratamento com a casca de pinus não se mostrou mais eficiente na remoção deste parâmetro. Ambos apresentaram altas porcentagens de redução de cor ao longo do tempo, reduzindo a capacidade apenas na última semana de estudo. Mas se a comparação envolver apenas as biomassas, a casca de pinus apresentou porcentagem de remoção satisfatória durante todo o estudo, com reduções de quase 70 % da cor aparente da água sintética, o que viabiliza o uso deste material como uma modificação eficiente para redução deste parâmetro.

Assim, a maior porosidade da casca de pinus pode ser a justificativa de seu maior potencial de retenção de partículas. Isto quer dizer que a característica física da superfície dos materiais utilizados como modificação do filtro de areia, pode explicar o comportamento dos

mesmos em relação a redução de cor, turbidez e vazão durante o período de estudo, onde apenas a casca de pinus apresentou possibilidade de utilização.

4.5. Condutividade elétrica

A condutividade elétrica é a capacidade que uma solução apresenta para conduzir corrente elétrica e é proporcional à quantidade de íons dissolvidos no meio. Logo, quanto mais sais estiverem dissolvidos, mais condutora será a solução e este parâmetro pode ser utilizado para estimar a quantidade de sólidos totais presentes numa amostra.

Durante todo o estudo, independentemente da granulometria da areia utilizada nos filtros, o tratamento provocou uma elevação da CE do líquido a ser filtrado. Isso pode ser devido a própria composição química das biomassas, uma vez que estes materiais são muito ricos em nutrientes, a casca de café por exemplo, além de K, N, P e outros componentes, possui CE de $1156 \mu\text{S.cm}^{-1}$, de acordo com Zoca (2012).

Observou-se que, quando foi utilizada areia grossa na construção dos filtros, os valores de CE ficaram acima de $12 \mu\text{S.cm}^{-1}$ e que em geral, a casca de café promoveu elevação deste parâmetro, enquanto que a casca de pinus não apresentou nenhuma tendência. Esse comportamento é apresentado na Figura 4.10. Além disso, para maiores valores de CE, observados quando a vazão foi maior, a porcentagem de remoção de turbidez apresentada pelo filtro de casca de café e areia grossa foi menor.

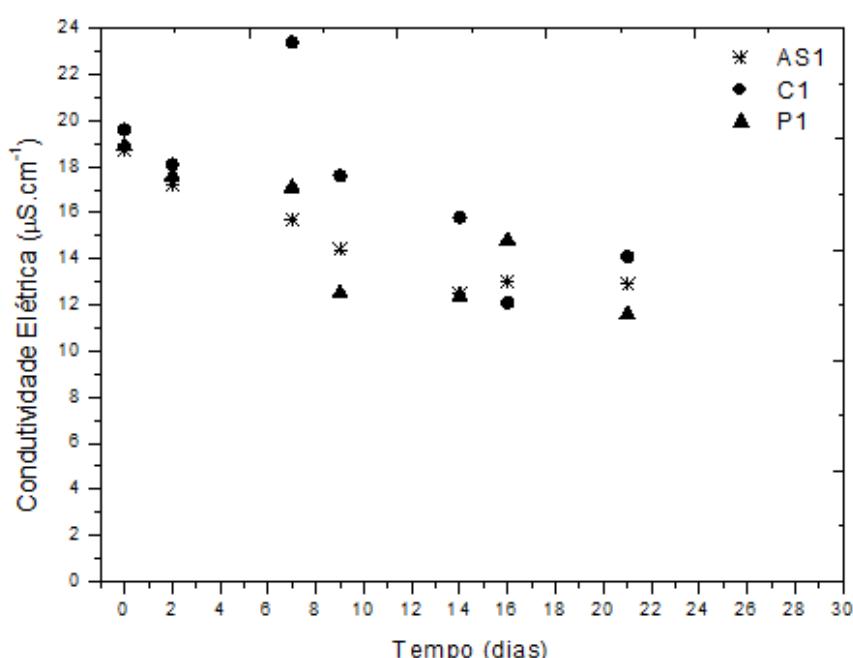


Figura 4.10 – Comportamento da CE dos efluentes dos filtros modificados com areia grossa.

Quando se trabalhou com areia fina, os valores de CE foram mais baixos do que os obtidos com areia grossa, em geral foram inferiores a $14 \mu\text{S.cm}^{-1}$. Quando se trabalhou com menor vazão de entrada, a CE dos efluentes e da água bruta sintética foi praticamente a mesma, com variações maiores apenas nos últimos dias de amostragem, como pode ser observado na Figura 4.11.

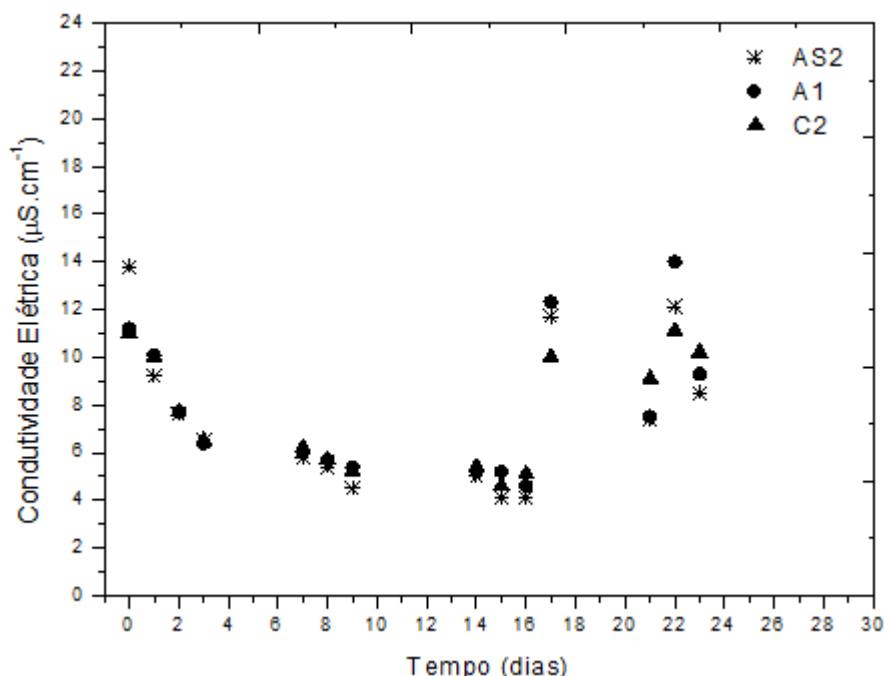


Figura 4.11 – Variação da condutividade dos efluentes do filtro de areia e do de casca de café.

Sendo assim, da mesma forma que no caso anterior, a condutividade elétrica diminuiu a medida que a vazão de filtração reduziu. No entanto, quando a vazão se tornou muito baixa, provocou aumento na CE provavelmente devido ao arraste de partículas.

Interessante notar que o menor valor de condutividade elétrica do filtrado pelo filtro de areia, A1, coincidiu com o ponto de menor turbidez, por volta do décimo sexto dia.

Por outro lado, quando optou-se por trabalhar com abertura máxima para a entrada da água sintética, a elevação nos valores de condutividade elétrica do filtrado em relação aos valores da água bruta sintética, foi observada durante todo o período, conforme apresentado na Figura 4.12.

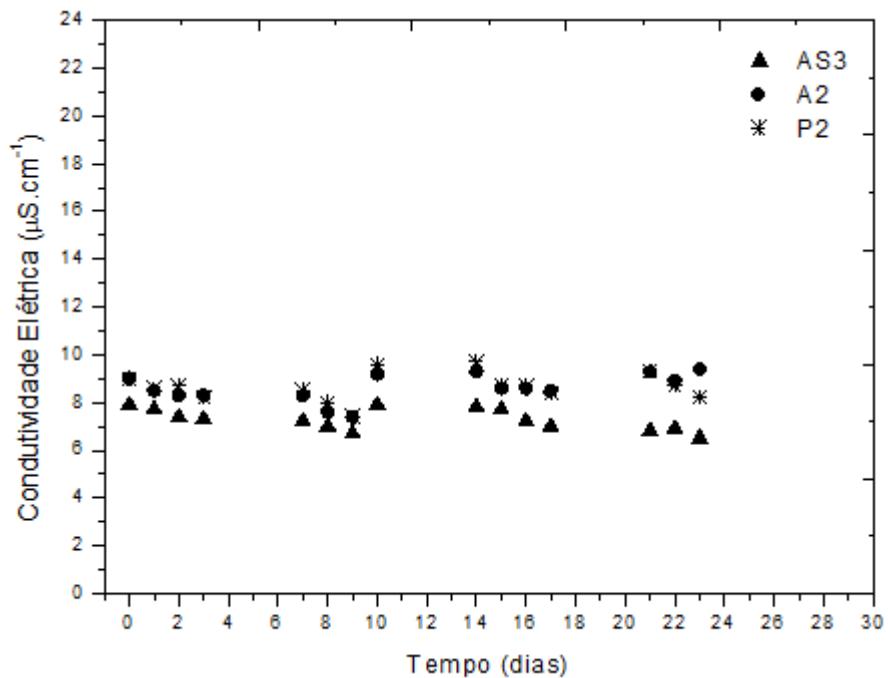


Figura 4.12 – Variação da CE devido a filtração com areia fina e casca de pinus.

Neste caso, os valores médios de CE ficaram próximos de $8 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$, tanto para o efluente do filtro de areia, quanto para o modificado com casca de pinus. Em média, durante todo o estudo, os dois tratamentos elevaram a condutividade elétrica em cerca de 20 %, não apresentando tendência de redução da CE com a redução da vazão.

Esta elevação pode ser a consequência do arraste dos componentes químicos das camadas vegetais ou mesmo de partículas de areia do próprio meio filtrante, uma vez que nesta fase se trabalhou com areia fina. Mesmo que tenha sido utilizado um fragmento de tecido para separar as camadas filtrantes, as partículas de areia podem ter passado por serem de diâmetro menor do que os poros do tecido.

4.6.Variação de pH

Os valores de pH do efluente do filtro modificado com casca de café, foram em geral, inferiores aos da AS. Nas duas fases do estudo o líquido tratado apresentou redução de 25 % e 16 % quando utilizou areia grossa e ao se trabalhar com areia fina, respectivamente. Com uma média de pH de 5,8 com a maior granulometria de areia e 6,0 para a menor granulometria de areia. O filtro modificado com casca de pinus também apresentou uma tendência em reduzir o pH inicial da água, porém com comportamento menos significativo e pouco uniforme. Quando se trabalhou com areia grossa, o valor de pH da água foi reduzido

em 7 % com uma média de pH de 6,5. Já com areia fina, essa redução foi ainda menor, 3 %, sendo a média dos valores de pH do efluente de 7,0. As Figuras 4.13 e 4.14 apresentam a variação do pH nas duas fases do estudo com os filtros modificados.

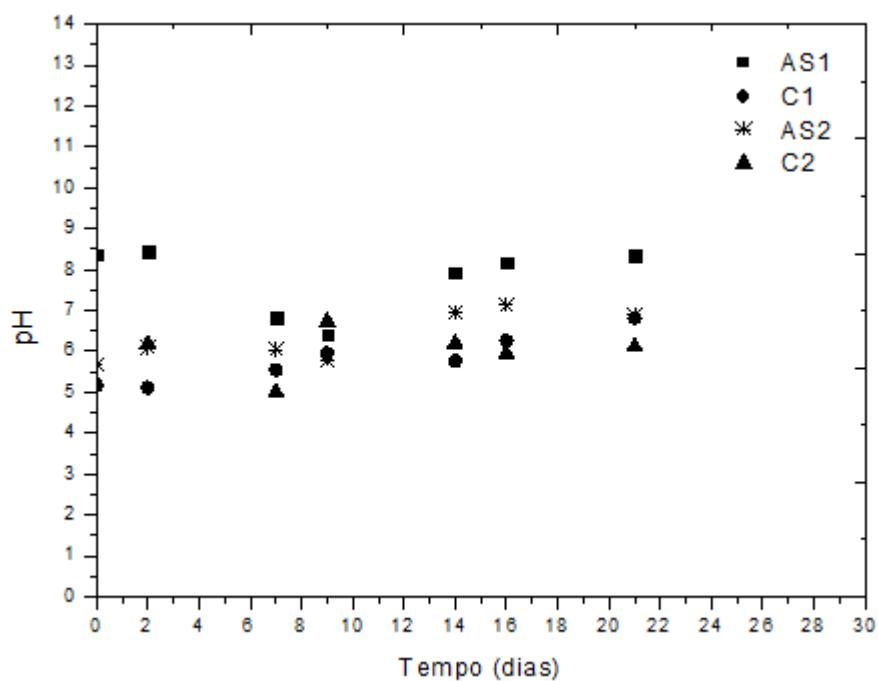


Figura 4.13 – Variação de pH da água devido a filtração com casca de café.

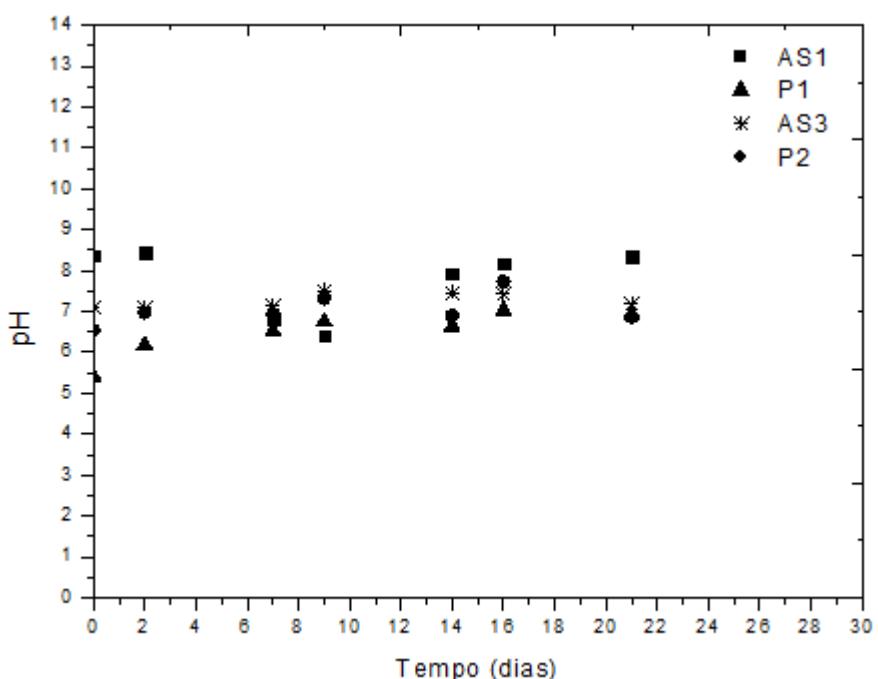


Figura 4.14 – Variação de pH da água devido a filtração com casca de pinus.

Vale ressaltar que não foi observada variação significativa do valor do pH com o tratamento de filtração com filtro de areia, como pode ser observado na figura 4.15.

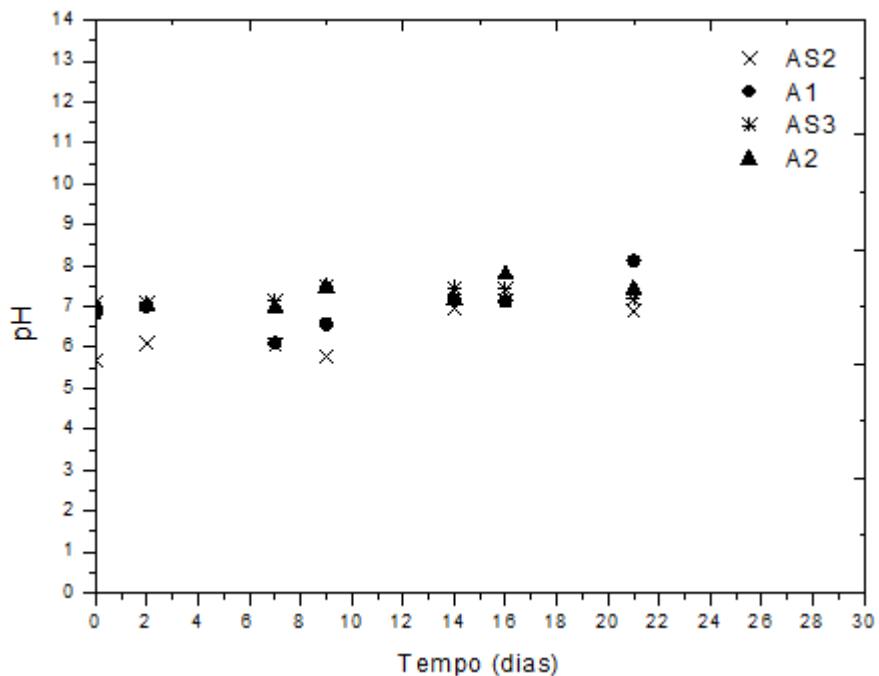


Figura 4.15 – Comportamento dos filtros de areia frente a variação de pH.

Logo a redução que ocorreu com a modificação dos filtros pode ser devida à própria composição química dos materiais, uma vez que a casca de café tem caráter ácido, com um pH de 5, 9 (ZOCA, 2012). Entretanto, ao se utilizar casca de pinus em seus BSF modificados, Baig et al., (2011) observaram uma ligeira elevação de cerca de 1%, nos valores de pH dos efluentes em relação à água inicial, sendo a média dos valores de pH pós-filtração de 7,9.

Interessante notar que, à medida que a vazão diminuiu parece que houve uma tendência de aumento do valor de pH. Isso ocorreu para o filtro de casca de café e areia grossa e para os dois filtros modificados com casca de pinus. Além disso, valores maiores de pH foram obtidos quando a porcentagem de remoção da turbidez foi maior e os valores de condutividade elétrica foram baixos, isso ocorreu para os filtrados de C1 e P1, no entanto, essa aparente tendência não foi observada para os filtros modificados C2 e P2.

4.7.Variação de temperatura

A temperatura da água antes e após os tratamentos também foi monitorada, mas o procedimento de filtração com os filtros modificados, assim como com o filtro de areia, não

provocou elevação, nem tampouco, redução da temperatura inicial da água bruta sintética em níveis significativos. Houve variação sim ao longo do tempo, provavelmente por causa das variações climáticas e alteração na temperatura do ambiente, resultando em desvios maiores entre as temperaturas antes e após os tratamentos, principalmente nas últimas etapas do estudo, que foram realizadas entre as estações outono e inverno. Como se pode observar pelos dados da Tabela 7.

Tabela 7 – Valores de temperatura da água bruta sintética e dos filtrados durante o estudo.

Filtro	Antes da filtração (°C) ± desvio padrão	Após a filtração (°C) ± desvio padrão	Variação com o tratamento (%)
C1	27,3 ± 0,96	27,2 ± 0,79	0,37
P1	27,3 ± 0,96	27,1 ± 0,58	0,73
A1	26,1 ± 1,45	25,9 ± 1,60	0,77
C2	26,1 ± 1,45	26,0 ± 1,59	0,38
A2	23,6 ± 1,26	23,4 ± 1,49	0,85
P2	23,6 ± 1,26	23,5 ± 1,34	0,42

4.8.Reduções dos parâmetros químicos

Tanto as concentrações de cloretos quanto de dureza foram reduzidas pelo tratamento com BSF modificado com casca de pinus no trabalho de Baig et al. (2011). No presente estudo, nos dois filtros em que se utilizou casca de pinus como complemento de filtração, houve apenas modesta redução nos valores tanto de cloretos quanto de dureza, na maioria das vezes a biomassa não influenciou os níveis destes parâmetros. Enquanto que nos filtros modificados com a casca de café, a redução na concentração de cloretos foi um pouco maior, por outro lado, os níveis de dureza da água foram elevados após o tratamento com este material, nas duas fases do trabalho. A Tabela 8 apresenta os valores das concentrações de cloretos e a porcentagem de remoção, estes valores representam a média da semana, uma vez que eram realizadas duas análises, uma no início da semana e outra no final. A porcentagem de remoção foi calculada pela Equação 5.

$$\% \text{ REMOÇÃO} = \left| \frac{C_0 - C_f}{C_0} \right| \times 100 \quad (5)$$

Onde: C_0 representa a concentração inicial do parâmetro antes da filtração e

C_f representa a concentração final do parâmetro, após a filtração.

Tabela 8 – Variação dos níveis de cloreto da água e porcentagem de redução.

Amostragem (dias)	AS1	C1	P1	AS2	A1	C2	AS3	A2	P2
Cloreto (mg.L ⁻¹)									
0 – 7	14,0	8,7 (38)	8,7 (38)	10,5 (0)	10,5 (0)	8,7 (17)	7,0 (0)	7,0 (0)	8,7 (-25)
7 – 14	7,0 (0)	7,0 (-24)	8,7 (-24)	8,7 (-40)	12,2 (0)	8,7 (0)	8,7 (0)	8,7 (0)	7,0 (19)
14 – 21	10,5 (17)	8,7 (33)	7,0 (33)	10,5 (17)	8,7 (33)	7,0 (33)	7,0 (-24)	8,7 (0)	7,0 (0)
21 – 28	10,5 (33)	7,0 (0)	10,5 (0)	7,0 (-50)	10,5 (-50)	14,0 (-100)	7,0 (0)	7,0 (0)	7,0 (0)

Nota: Os números entre parênteses representam a porcentagem de redução dos parâmetros e os valores negativos significam que houve aumento ao invés de redução.

A Figura 4.16 mostra o comportamento de redução de cloretos, dos dois filtros de areia grossa modificados com as biomassas, onde se percebe que os vegetais pouco influenciaram na variação deste parâmetro.

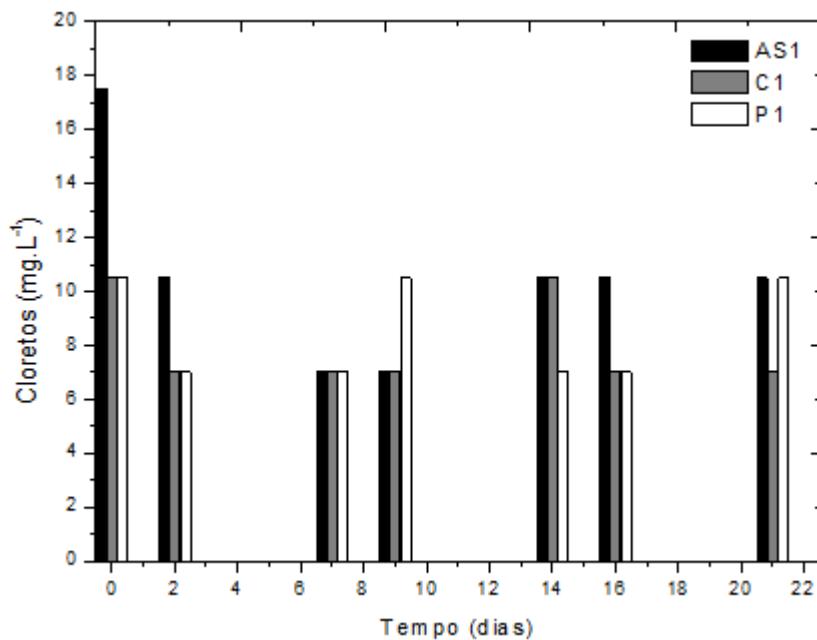


Figura 4.16 – Variação dos níveis de cloreto da água filtrada com as biomassas.

O nível de dureza da água foi ligeiramente elevado devido ao tratamento de filtração com o filtro modificado com casca de café. Enquanto que a biomassa de pinus praticamente não alterou este parâmetro, apenas no início do tratamento mostrou uma modesta redução, mas quando este material foi utilizado com areia fina, em média reduziu o valor da dureza da

água bruta sintética em aproximadamente 16 %. Este comportamento é apresentado nos dados da Tabela 9 e pela Figura 4.17. A porcentagem de remoção foi obtida pela equação 5 citada.

Tabela 9 – Variação da dureza da água devido ao tratamento de filtração.

Amostragem (dias)	AS1	C1	P1	AS2	A1	C2	AS3	A2	P2
	Dureza (mg.L^{-1})								
0 – 7	13,0	19,0 (-46)	12,0 (8)	12,0	16,0 (-33)	17,0 (-42)	11,0	5,0 (54)	10,0 (9)
7 – 14	12,0	14,0 (-17)	10,0 (17)	15,0	15,0 (0)	14,0 (7)	11,0	10,0 (9)	9,0 (18)
14 – 21	10,0	14,0 (-40)	10,0 (0)	13,0	15,0 (-15)	30,0 (-130)	10,0	12,0 (-20)	8,0 (20)
21 – 28	10,0	14,0 (-40)	10,0 (0)	12,0	16,0 (-33)	26,0 (-117)	10,0	12,0 (-20)	8,0 (20)

Nota: Os números entre parênteses representam a porcentagem de redução dos parâmetros e os valores negativos significam que houve aumento ao invés de redução.

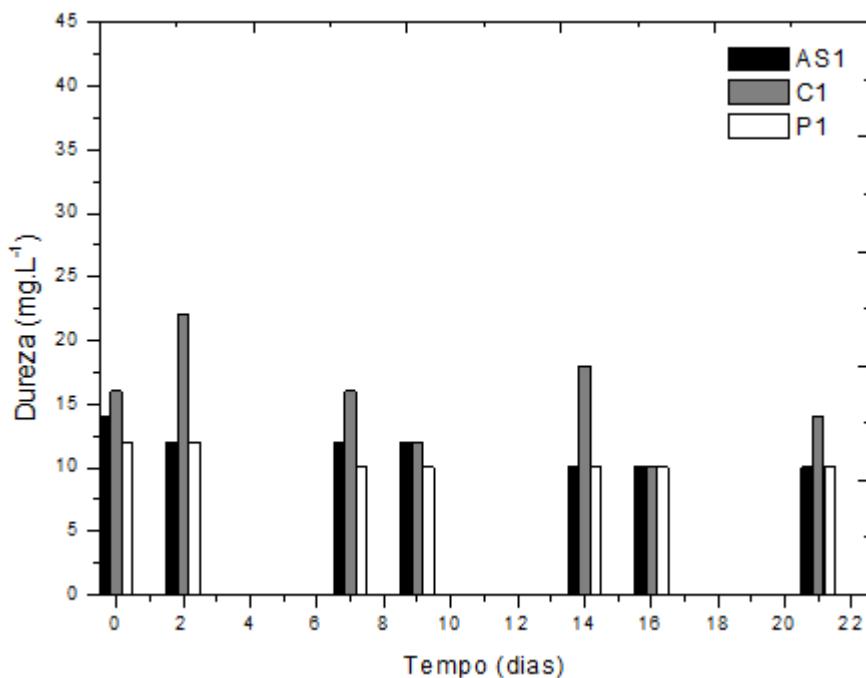


Figura 4.17 – Variação dos níveis de dureza da água filtrada.

Parece que os valores de dureza dos filtrados foram menores quando os valores de pH foram maiores, para os tratamentos com areia grossa. Vale lembrar que o nível de dureza é

medido pela concentração de carbonatos e bicarbonatos de cálcio, que apresentam caráter básico.

Pode-se dizer ainda, que ambas as biomassas provocaram elevação na concentração de nitrogênio amoniacal da água bruta sintética após o processo de filtração, sendo que casca de café provocou uma influência maior, como mostra os valores da Tabela 10 e a Figura 4.18. A porcentagem de remoção foi determinada pela equação 5 apresentada anteriormente.

Tabela 10 – Concentração de nitrogênio amoniacal na AS e nos efluentes de cada tratamento.

Amostragem (dias)	AS1	C1	P1	AS2	A1	C2	AS3	A2	P2
Nitrogênio amoniacal (mg.L^{-1})									
0 – 7	0,2 (0)	0,2 (50)	0,1 (50)	0,2 (-50)	0,3 (-100)	0,4 (-100)	0,2 (0)	0,2 (50)	0,1 (50)
7 – 14	0,1 (-100)	0,2 (0)	0,1 (0)	0,1 (-100)	0,25 (-150)	0,4 (-300)	0,1 (-100)	0,2 (0)	0,1 (0)
14 – 21	0,1 (-100)	0,2 (0)	0,1 (0)	0,1 (-100)	0,4 (-300)	0,25 (-150)	0,1 (-300)	0,4 (-100)	0,2 (-100)
21 – 28	0,1 (0)	0,1 (-150)	0,25 (-150)	0,1 (-150)	0,25 (-150)	0,5 (-400)	0,1 (-400)	0,5 (-400)	0,25 (-150)

Nota: Os números entre parênteses representam a porcentagem de redução dos parâmetros e os valores negativos significam que houve aumento ao invés de redução.

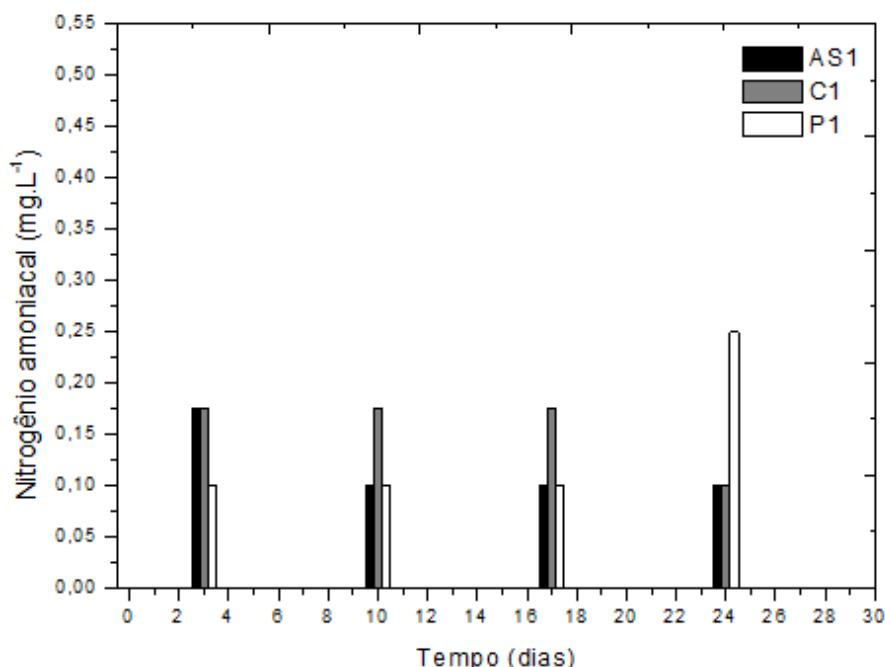


Figura 4.18 – Variação da concentração de nitrogênio amoniacal em cada semana durante a primeira fase do estudo, utilizando areia grossa.

A Figura 4.19 mostra o comportamento do filtro modificado com casca de café na segunda fase do trabalho, quando se trabalhou com areia fina.

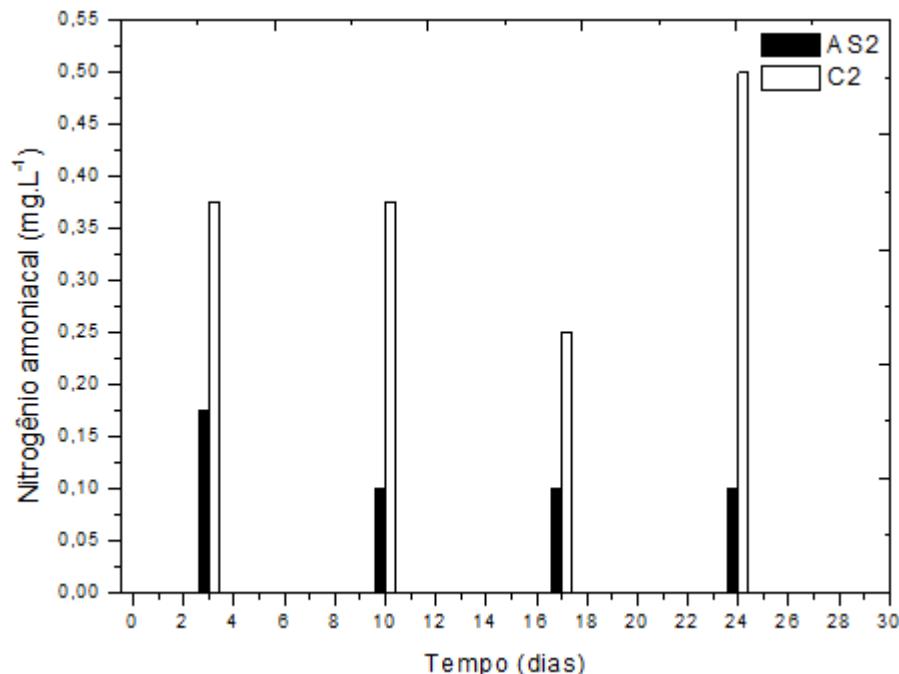


Figura 4.19 – Aumento da concentração de nitrogênio amoniacal devido o tratamento com casca de café e areia fina.

Pode-se perceber que em todas as amostragens houve aumento na concentração de nitrogênio amoniacal. Para o filtro modificado com a casca de pinus, assim como na primeira fase, a influência da biomassa sobre a concentração deste parâmetro foi menos acentuada, conforme mostra a Figura 4.20.

Esse comportamento também pode ter sua causa na composição química dos materiais, uma vez que a concentração de nitrogênio total da casca de café é superior a da casca de pinus, a primeira com $1,88 \text{ dag}.\text{kg}^{-1}$, ou seja, $18,8 \text{ g}.\text{kg}^{-1}$ (BRANDÃO, 1999) e a segunda com cerca de $5 \text{ g}.\text{kg}^{-1}$ (SILVA et al., 2009).

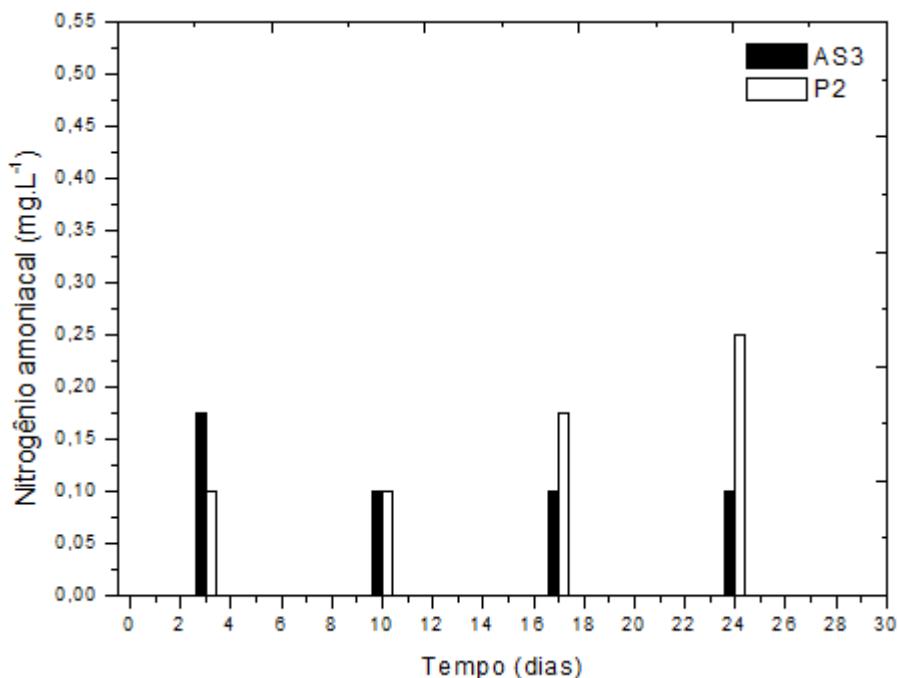


Figura 4.20 – Variação da concentração de nitrogênio amoniacal devido o tratamento com casca de pinus e areia fina.

Os filtros de areia utilizados neste estudo provocaram ligeiro aumento nos níveis dos três parâmetros químicos analisados.

Na segunda fase do trabalho foi realizada uma análise de carbono total da AS e dos efluentes de cada tratamento, os resultados assim como para os níveis de nitrogênio, mostraram que a casca de café provocou maior elevação nos valores deste parâmetro, acima de 90 %, enquanto que a casca de pinus, em geral, causou elevação de 25 %.

Os resultados obtidos pelo tratamento com os filtros modificados com casca de café e pergaminho estão de acordo com os observados por Lo Mônaco et al., (2011). Em cujo trabalho estudaram filtros orgânicos constituídos apenas por pergaminho de café, para tratamento de água residuária da cafeicultura, e concluíram que o material além de não ser capaz de reduzir os níveis de CE, ST, N-total e outros contaminantes, contribuiu para o aumento da concentração dos mesmos, não sendo portanto, um bom complemento para o processo de filtração.

4.9.Redução de coliformes

Já foi visto que as biomassas são capazes de remover cor e turbidez da água, mas somente estes parâmetros não são capazes de garantir a segurança da água a ser consumida. Logo, foram realizados testes de monitoramento da concentração de contaminantes

microbiológicos do grupo coliformes, a fim de verificar a eficiência do tratamento proposto. A Tabela 11 apresenta os dados obtidos para coliformes totais. A porcentagem de remoção foi calculada pela Equação 6.

$$\% \text{ REMOÇÃO} = \left| \frac{\text{Coliformes}_0 - \text{Coliformes}_f}{\text{Coliformes}_0} \right| \times 100 \quad (6)$$

Onde: Coliformes_0 representa a quantidade inicial de coliformes, antes da filtração e Coliformes_f representa a quantidade final de coliformes, após a filtração.

Tabela 11 – Concentração de coliformes totais e porcentagem de remoção.

Tempo (dias)	Filtro	Antes da filtração (UFC/100mL)	Após a filtração (UFC/100mL)	Remoção (%)
0 – 7	C1	$1,1 \times 10^3$	$7,6 \times 10^2$	$3,1 \times 10^1$
	P1	$1,1 \times 10^3$	$4,8 \times 10^2$	$5,6 \times 10^1$
	A1	$4,0 \times 10^2$	$8,4 \times 10^2$	$(-) 1,1 \times 10^2$
	C2	$4,0 \times 10^2$	$1,8 \times 10^3$	$(-) 3,5 \times 10^2$
	A2	$5,2 \times 10^2$	$8,4 \times 10^2$	$(-) 6,1 \times 10^1$
	P2	$5,2 \times 10^2$	$1,2 \times 10^6$	$(-) 2,4 \times 10^4$
7 – 14	C1	$1,6 \times 10^2$	$7,6 \times 10^2$	$(-) 3,7 \times 10^2$
	P1	$1,6 \times 10^2$	$1,2 \times 10^2$	$2,5 \times 10^1$
	A1	$2,0 \times 10^2$	$2,8 \times 10^2$	$(-) 4,0 \times 10^1$
	C2	$2,0 \times 10^2$	$1,6 \times 10^3$	$(-) 7,0 \times 10^2$
	A2	$6,8 \times 10^2$	$4,8 \times 10^2$	$2,9 \times 10^1$
	P2	$6,8 \times 10^2$	$8,7 \times 10^4$	$(-) 1,3 \times 10^4$
14 – 21	C1	$1,6 \times 10^2$	$1,7 \times 10^3$	$(-) 9,6 \times 10^2$
	P1	$1,6 \times 10^2$	$5,7 \times 10^4$	$(-) 3,5 \times 10^4$
	A1	$2,4 \times 10^2$	$2,4 \times 10^2$	$< 0,0$
	C2	$2,4 \times 10^2$	$7,2 \times 10^2$	$(-) 2,0 \times 10^2$
	A2	$5,6 \times 10^2$	$6,0 \times 10^2$	$(-) 0,7 \times 10^1$
	P2	$5,6 \times 10^2$	$1,2 \times 10^5$	$(-) 2,1 \times 10^4$
21 – 28	C1	$< 8,0 \times 10^1$	$7,2 \times 10^2$	$(-) > 8,0 \times 10^2$
	P1	$< 8,0 \times 10^1$	$5,6 \times 10^2$	$(-) > 8,0 \times 10^2$
	A1	$2,4 \times 10^2$	$1,6 \times 10^2$	$3,3 \times 10^1$
	C2	$2,4 \times 10^2$	$7,2 \times 10^2$	$(-) 2,0 \times 10^2$
	A2	$8,5 \times 10^3$	$6,4 \times 10^2$	$9,2 \times 10^1$
	P2	$8,5 \times 10^3$	$1,8 \times 10^5$	$(-) 2,0 \times 10^3$

Nota: Os valores negativos significam que houve aumento ao invés de redução.

Mesmo fazendo a contaminação da água para a preparação da água bruta sintética, não foi possível garantir a presença de coliformes fecais, por isso apenas as bactérias do tipo coliformes totais foram acompanhadas.

Pelos resultados obtidos observou-se que ao contrário do que se esperava, os filtros provocaram aumento na concentração de coliformes da água. C1 reduziu a concentração de coliformes apenas na primeira semana, enquanto P1, provocou pequena redução deste parâmetro nas duas semanas iniciais do estudo.

Por outro lado, o filtro de areia A1, se mostrou eficiente apenas na última semana do estudo e A2 apresentou comportamento variável ao longo do estudo, ora reduziu ora aumentou a quantidade de micro-organismos.

Entretanto, o filtro modificado com casca de pinus e areia fina não reteve os contaminantes em nenhum momento do trabalho, assim como o filtro de casca de café e areia fina.

Esse comportamento pode ter sido causado pela própria estrutura do sistema montado, uma vez que não se fez uso de uma placa difusora, que tem como função distribuir uniformemente o afluente na superfície filtrante, isso pode ter provocado turbulência do fluido e a formação de canais preferenciais que prejudicaram o desempenho do filtro e causaram a rápida contaminação do mesmo (DIOGO, 2010).

Além disso, como o sistema foi operado em batelada, de forma que durante os finais de semana não havia alimentação, o nível de água reduzia muito. Sendo assim, ao fazer nova alimentação o líquido poderia arrastar os micro-organismos que estivessem retidos no meio de filtração. Isto significa que provavelmente, a operação em batelada não permite a formação nem tampouco a manutenção da camada biológica, principal responsável pela remoção de micro-organismos (ELLIOTT et al., 2011).

Com estes resultados, a modificação proposta para o processo de filtração lenta não pode ser considerada capaz de garantir a segurança microbiológica da água para consumo humano. Neste caso, a modificação do meio de filtração com a adição de biomassas, pode não ter sido tão importante para os resultados quanto a modificação estrutural do sistema.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES

O tamanho dos filtros construídos proporcionou uma maior facilidade de operação, no entanto, uma vez que o processo de filtração lenta necessita de uma taxa de filtração baixa para garantir a retenção dos contaminantes, sendo a vazão proporcional a área de filtração. Nas condições adotadas para o sistema, a vazão deveria ser muito baixa para garantir um tempo de residência apropriado capaz de promover a retenção dos contaminantes, o que parece ser complicado ou até mesmo inviável numa situação real.

Além do mais, a modificação proposta de não realizar a limpeza dos filtros periodicamente, a fim de remover a camada onde os contaminantes biológicos ficaram aderidos, pode ter sido uma das causas da contaminação da água, devido ao arraste destas partículas pelo líquido.

Não utilizar a placa difusora para controle de pressão e distribuição uniforme da água no meio filtrante, também pode ter contribuído para a contaminação do sistema, uma vez que, podem ter se formado canais preferenciais no interior das camadas e ao invés de filtrar a água apenas passava livremente e até carregando possíveis partículas anteriormente aderidas.

O processo em batelada também pode ter atrapalhado na retenção de contaminantes biológicos, uma vez que prejudicou ou mesmo impediu, a manutenção da camada biológica.

Logo, as modificações estruturais e operacionais propostas, nas condições adotadas para o tratamento, não se mostraram eficientes para purificação da água.

No entanto, mesmo sem sofrer qualquer tratamento prévio, as biomassas utilizadas se mostraram capazes de reduzir a concentração de alguns dos parâmetros analisados. A casca de café, que apresenta uma superfície pouco porosa se comparada com a casca de pinus, promoveu a remoção de cor e também de turbidez quando utilizada com areia grossa. Porém, quando o tratamento foi realizado com areia fina, o filtro construído com esse material conferiu cor ao efluente, provocada provavelmente, pela deterioração do vegetal no interior da tubulação. Além disso, a água ao ser tratada com esta biomassa teve reduzido o valor de pH e de cloreto, enquanto que a CE, dureza e concentração de nitrogênio amoniacal e carbono total, foram elevados.

Diferentemente do resíduo de café, a biomassa de pinus foi capaz de reduzir, mesmo que com baixa porcentagem, a cor e turbidez iniciais de água nas duas fases do estudo. Para os outros parâmetros o comportamento do filtro foi parecido com o da outra biomassa, os

níveis de nitrogênio amoniacal e carbono total, assim como a CE da água foram elevados, enquanto que a concentração de cloretos, dureza e os valores de pH foram ligeiramente reduzidos.

Em geral, os filtros modificados não foram capazes de reduzir a contaminação microbiológica da água bruta sintética, ao contrário disso, provocaram contaminação da mesma em praticamente todo o estudo. Apenas a modificação com casca de pinus provocou pequena remoção dos contaminantes nas duas primeiras semanas do estudo, quando utilizado com areia grossa.

A temperatura da água não variou devido ao tratamento com nenhum dos materiais.

Em virtude dos resultados obtidos no trabalho, a casca de café não pode ser considerada uma alternativa viável, sem ser submetida a algum tratamento prévio pelo menos, para uso em tratamento de água como complemento de filtração em filtros lentos de areia. Enquanto que a biomassa de pinus pode ser considerada uma alternativa com potencial de uso para o tratamento de água neste tipo de operação para um período de aproximadamente 15 dias. Além do mais, este procedimento pode ser utilizado como uma etapa inicial do tratamento de purificação de água, para redução de cor e turbidez, por exemplo, e em seguida realizar um procedimento de desinfecção.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Construir filtros de tamanhos maiores, como por exemplo, 100 mm de diâmetro por 50 cm de altura, com um espaço livre para a alimentação da água bruta, ao invés de anexar os filtros abaixo de um reservatório comum.
- Trabalhar com tempo de residência maior, ou seja, com vazão de alimentação menor. Para isso, utilizar placa difusora para controle e distribuição da entrada de água.
- Verificar a possibilidade de se calcular a cinética de remoção dos contaminantes pelos filtros.
- Comparar a eficiência de remoção dos filtros de areia com os modificados com as biomassas e também com filtros apenas com as camadas vegetais.
- A fim de melhorar a capacidade de retenção da partículas, submeter as biomassas a algum tratamento com por exemplo, carbonização, ou mesmo, adição de substâncias químicas para ativação dos poros, como ácidos ou hidróxidos.
- Realizar estudo de perda de carga em cada tratamento e também um estudo de porosidade do meio filtrante.
- Propor um sistema contínuo ou então acoplar o processo de filtração a um tratamento de desinfecção.

APÊNDICE

As amostragens de volume filtrado foram medidas nas primeiras horas de filtração, as Tabelas A.1.a, A.1.b e A.1.c, mostram os valores das três medidas, bem como a média diária, o desvio padrão e a média da semana, para os diferentes tipos de filtros estudados, uma vez que as análises foram realizadas no começo e no fim de cada semana de trabalho. Os valores de média foram calculados pela equação (10) e os valores de desvio padrão, pela equação (11).

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{n} (x_1 + \dots + x_n) \quad (10)$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (11)$$

Tabela A.1.a – Valores de vazão de filtrado em mL.min⁻¹.

Amostragem	Filtro de casca de café e areia grossa					Filtro de casca de pinus e areia grossa				
	V1	V2	V3	Vm dia ± dp	Vm semana	V1	V2	V3	Vm dia ± dp	Vm semana
1	50,0	30,8	18,8	33,2 ± 15,7	29,9	20,0	16,2	11,8	16,0 ± 4,1	14,6
2	26,7	28,3	25,5	26,8 ± 1,4		13,3	13,3	13,3	13,3 ± 0,0	
3	8,9	9,0	8,1	8,7 ± 0,5	11,4	15,5	16,0	13,8	15,1 ± 1,2	14,4
4	13,3	15,9	13,3	14,2 ± 1,5		16,7	13,5	10,8	13,7 ± 3,0	
5	4,3	5,4	9,2	6,3 ± 2,6	8,7	6,4	6,9	6,7	6,7 ± 0,3	6,3
6	7,6	12,0	14,1	11,2 ± 3,3		7,6	5,7	4,6	6,0 ± 1,5	
7	2,4	2,4	2,2	2,3 ± 0,1	2,2	3,5	2,7	2,2	2,8 ± 0,7	2,6
8	2,3	2,2	2,1	2,2 ± 0,1		2,4	2,4	2,3	2,4 ± 0,1	

Nota: V1, V2 e V3 representam os três valores de vazão medidos e Vm é a vazão média.

Pode-se observar que durante o experimento foram observadas grandes variações de vazão, principalmente com o filtro modificado com casca de café, que apresentou desvio padrão alto em todos os dias analisados apenas nos últimos dias de amostragem que a vazão

foi mais uniforme, a modificação com casca de pinus também provocou alteração na vazão, porém com desvio padrão menor.

Tabela A.1.b – Valores de vazão, em $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ obtidos para os filtros de areia e modificado com casca de café.

Amostragem	Filtro de areia					Filtro de areia e casca de café				
	V1	V2	V3	Vm dia $\pm dp$	Vm semana	V1	V2	V3	Vm dia $\pm dp$	Vm semana
1	10,7	8,7	7,2	8,9 $\pm 1,8$	4,9	30,5	27,8	21,2	26,5 $\pm 4,8$	9,0
2	2,6	2,2	...	2,4 $\pm 0,3$		1,8	1,7	...	1,7 $\pm 0,1$	
3	4,2	4,7	4,7	4,5 $\pm 0,3$		3,4	3,7	3,3	3,5 $\pm 0,2$	
4	3,5	4,2	3,9	3,9 $\pm 0,4$		2,1	6,6	4,7	4,5 $\pm 2,3$	
5	5,9	6,2	5,2	5,8 $\pm 0,5$	2,6	4,1	3,5	2,2	3,3 $\pm 1,0$	1,4
6	0,5	0,7	...	0,6 $\pm 0,1$		0,4	0,4	...	0,4 $\pm 0,0$	
7	1,4	...	...	1,4		0,4	...	...	0,4
8	1,8	1,2	1,2	1,4 $\pm 0,3$		0,4	0,4	0,3	0,4 $\pm 0,1$	
9	0,6	0,6	0,9	0,3	0,3	0,3
10	0,7	...	...	0,7		0,3	...	...	0,3
11	1,0	...	...	1,0		0,3	...	...	0,3
12	1,9	1,5	1,6	1,7 $\pm 0,2$	1,1	0,3	0,3	0,3	0,3 $\pm 0,0$	0,2
13	1,0	...	...	1,0		0,2	...	...	0,2
14	0,6	...	...	0,6		0,2	...	...	0,2

Nesta etapa pode-se observar que o filtro de areia apresentou comportamento de vazão de filtração mais uniforme, com pequenos desvios diários, enquanto que para o filtro modificado com casca de café estes desvios foram maiores, por outro lado, menores do que quando o sistema foi montado com areia grossa.

Tabela A.1.c – Valores de vazão, em $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ obtidos para os filtros de areia e modificado com casca de pinus.

Amostragem	Filtro de areia					Filtro de areia e casca de pinus				
	V1	V2	V3	Vm dia $\pm dp$	Vm semana	V1	V2	V3	Vm dia $\pm dp$	Vm semana
1	51,4	40,4	31,7	41,2 $\pm 9,9$	19,7	41,1	40,8	34,5	38,8 $\pm 3,7$	18,5
2	18,5	16,7	16,2	17,1 $\pm 1,2$		17,7	16,3	16,3	16,8 $\pm 0,8$	
3	12,6	10,8	7,8	10,4 $\pm 2,4$		9,8	8,6	7,8	8,7 $\pm 1,0$	
4	10,8	11,2	8,2	10,1 $\pm 1,6$		10,2	9,8	8,7	9,6 $\pm 0,8$	
5	28,4	27,5	22,2	26,0 $\pm 3,4$	15,6	36,2	33,4	26,6	32,1 $\pm 4,9$	21,2
6	18,6	14,0	19,0	17,2 $\pm 2,8$		21,7	19,7	26,1	22,5 $\pm 3,3$	
7	11,3	10,2	9,8	10,4 $\pm 0,8$		22,2	19,0	16,2	19,1 $\pm 3,0$	
8	9,9	8,6	8,0	8,8 $\pm 1,0$		13,5	10,2	9,6	11,1 $\pm 2,1$	
9	9,9	9,5	8,3	9,2 $\pm 0,8$	3,1	14,7	14,5	12,2	13,8 $\pm 1,4$	4,6
10	1,7	1,7	...	1,7 $\pm 0,0$		3,2	2,3	...	2,7 $\pm 0,6$	
11	0,9	0,8	...	0,8 $\pm 0,1$		1,1	0,9	...	1,0 $\pm 0,1$	
12	0,6	0,6	...	0,6 $\pm 0,0$		0,9	0,9	...	0,9 $\pm 0,0$	
13	0,5	0,5	0,5	2,4	2,4	1,2
14	0,6	0,5	...	0,5 $\pm 0,1$		1,0	0,5	...	0,7 $\pm 0,4$	
15	0,4	0,4	...	0,4 $\pm 0,0$		0,4	0,4	...	0,4 $\pm 0,0$	

Nesta fase, se optou por operar o sistema com abertura máxima para entrada da água bruta sintética, logo se esperava que a vazão de filtração fosse maior do que na fase anterior, o que realmente aconteceu e com maiores desvios ao longo do dia, mesmo para o filtro de areia, que apresentou desvios baixos anteriormente, nesta fase porém, o desvio padrão ao longo do dia foi um pouco maior para todos os dias analisados, porém menor do que os apresentado pelo filtro modificado com casca de pinus.

Assim como para as medidas de volume filtrado, as amostras de água para medida da turbidez foram colhidas três vezes por dia de amostragem. Na primeira fase do estudo as amostragens foram realizadas apenas no começo e no final de cada semana, como os dados apresentados na Tabela A.2.a, já no restante do estudo, quando se trabalhou com areia fina como meio de filtração e as biomassas, as amostras foram colhidas mais vezes ao longo da semana de trabalho, dados apresentados nas Tabelas A.2.b e A.2.c, onde Tm representa a turbidez média diária ou semanal.

Tabela A.2.a – Valores de turbidez, em NTU, na primeira fase do estudo.

Amostra	Água sintética			Filtro com casca de café			Filtro com casca de pinus			
	Medidas	Tm dia ± dp	Tm semana	Medidas	Tm dia ± dp	Tm semana	Medidas	Tm dia ± dp	Tm semana	
1	19,2	19,07 ±0,1	15,40	16,5	16,4 ±0,0	12,13	13,1	13,2 ±0,0	10,40	
2	19,0			16,4			13,2			
3	19,0			16,4			13,2			
1	12,0		11,80 ±0,1	7,92		7,86 ±0,0	7,61	7,6 ±0,0		
2	11,7			7,84			7,62			
3	11,7			7,83			7,60			
1	13,4		13,30 ±0,1	9,33	9,34 ±0,0	14,47	7,16	7,21 ±0,0	12,80	
2	13,3			9,35			7,27			
3	13,2			9,35			7,20			
1	27,4		27,50 ±0,1	19,6	19,6 ±0,0	12,0	18,4	18,4 ±0,0		
2	27,5			19,6			18,4			
3	27,6			19,6			18,5			
1	20,1		19,80 ±0,2	13,9	13,8 ±0,1	12,0	10,4	10,4 ±0,0	9,81	
2	19,6			13,7			10,4			
3	19,8			13,7			10,5			
1	17,2		17,10 ±0,0	10,3	10,2 ±0,1	12,5	9,25	9,23 ±0,0		
2	17,1			10,2			9,26			
3	17,1			10,1			9,18			
1	29,7		29,90 ±0,2	12,5	12,5 ±0,0	12,5	14,1	13,9 ±0,1	13,9	
2	29,8			12,5			13,9			
3	30,2			12,5			13,8			

Nesta fase do estudo, a vazão de entrada era baixa e consequentemente, o volume de filtrado era pequeno. Isto dificultou colher três amostras por dia, nos últimos dias do tratamento, uma vez que eram realizadas outras análises diariamente, o que necessitava de um volume mínimo de líquido. Assim, apenas uma medida de turbidez foi feita nos últimos dias desta etapa.

Tabela A.2.b – Valores de turbidez, em NTU, devido aos tratamentos com areia fina.

Amostra	Água sintética			Filtro de areia			Filtro com casca de café		
	Medidas	Tm dia ± dp	Tm semana	Medidas	Tm dia ± dp	Tm semana	Medidas	Tm dia ± dp	Tm semana
1	10,25			2,70			7,47		
2	10,75			2,79			6,38		
3	10,65			2,97			5,68		
1	13,70			1,17			4,60		
2	13,40			1,69			4,35		
3	...			...			...
1	10,20			1,25			2,76		
2	10,40			2,06			3,98		
3	10,10			2,57			3,55		
1	11,97			2,01			2,48		
2	10,17			2,16			2,98		
3	9,70			2,91			2,49		
1	16,22			1,26			5,40		
2	14,18			2,36			2,01		
3	13,82			2,35			1,70		
1	6,95			0,08			4,52		
2	...			...			...
3	...			...			...
1	4,95			0,28			40,68		
2	...			...			...
3	...			...			...
1	7,57			0,24			23,82		
2	...			...			...
3	...			...			...
1	5,40			0,42			122,57		
2	...			...			...
3	...			...			...
1	3,61			0,24			121,83		
2	...			...			...
3	...			...			...
1	6,20			0,82			44,57		
2	...			...			...
3	...			...			...
1	11,45			1,66			57,62		
2	...			...			...
3	...			...			...
1	7,11			0,95			86,34		
2	...			...			...
3	...			...			...
1	5,97			0,44			86,77		
2	...			...			...
3	...			...			...

Tabela A.2.c – Valores de turbidez, em NTU, devido aos tratamentos com areia fina.

Amostra	Água sintética			Filtro de areia			Filtro com casca de pinus					
	Medidas	Tm dia ± dp	Tm semana	Medidas	Tm dia ± dp	Tm semana	Medidas	Tm dia ± dp	Tm semana			
1	12,71	11,13 ±1,2	11,64	5,55	4,68 ±0,6	4,74	5,95	4,79 ±0,8	4,55			
2	10,93			4,21			4,10					
3	9,76			4,27			4,32					
1	12,42			4,26			4,27	3,68 ±0,4				
2	12,21			3,92			3,37					
3	11,26			3,62			3,39					
1	10,16			4,08			3,76					
2	10,32	10,59 ±0,5		3,65	3,78 ±0,2		3,34	3,45 ±0,2				
3	11,28			3,62			3,24					
1	14,32			7,41			6,98	6,30 ±0,5				
2	12,76	12,90 ±1,1		6,21	6,56 ±0,6		6,04					
3	11,61			6,07			5,88					
1	15,30	13,01 ±1,8	15,75	15,43	9,03 ±4,5	8,41	13,10	7,82 ±3,7	7,92			
2	12,87			6,01			5,17					
3	10,86			5,64			5,19					
1	12,49			8,61			10,69	6,97 ±2,6				
2	17,42			5,59			5,22					
3	11,78			5,46			4,99					
1	19,65			13,71			11,48					
2	18,18	17,15 ±2,6		7,69	9,43 ±3,0		5,16	7,20 ±3,0				
3	13,61			6,90			4,96					
1	20,06			12,43			15,27					
2	22,77	18,93 ±3,7		7,16	8,64 ±2,7		7,05	9,68 ±4,0				
3	13,96			6,32			6,72					
1	20,21	15,95 ±3,1	16,17	9,35	6,21 ±2,2	3,21	11,19	7,26 ±2,8	5,16			
2	14,42			4,81			5,83					
3	13,22			4,46			4,77					
1	25,05			2,69			5,48	4,96 ±0,5				
2	19,37			2,74			4,43					
3	...			...			...
1	12,58			1,86			3,99	4,51 ±0,5				
2	14,10	13,34 ±0,8		2,44	2,15 ±0,3		5,02					
3	...			...			...
1	13,50			1,67			3,77	3,92 ±0,2				
2	12,90	13,20 ±0,3		1,88	1,78 ±0,1		4,07					
3	...			...			...
1	13,8	13,8	11,00	2,71	2,71	2,40	9,11	9,11	6,35			
2	...			...			...
3	...			...			...
1	8,74			2,63			4,33	3,60 ±0,7				
2	7,68			1,58			2,87					
3	...			...			...

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, A.V.; SOUSA, V.A.; SHIMIZU, J.Y. Espécies de Pinus mais plantadas no Brasil. Embrapa Florestas. Sistemas de Produção. v.5, 2^aed. Versão Eletrônica. Mai/2011. ISSN: 1678-8281.
- AHAMMED, M.M.; DRAVA, K. Performance evaluation of biosand filter modified with iron oxide-coated sand for household treatment of drinking water. **Desalination**. v.276, p.287-293, 2011. doi:10.1016/j.desal.2011.03.065.
- AHMAD, M.A.; RAHMAN, N.K. Equilibrium, kinetics and thermodynamic of Remazol Brilliant Orange 3R dye adsorption on coffee husk-based activated carbon. **Chemical Engineering Journal**. v.170, p.154-161, 2011. doi: 10.1016/j.cej.2011.03.045.
- ALFAKI. Disponível em: <http://www.alfakit.ind.br/details/4117/polikit-potabilidade-cod-4117>, acesso em 07 Jul.2014.
- AMAGLOH, F.K.; BENANG, A. Effectiveness of *Moring oleifera* seed as coagulante for water purification. **African Journal of Agricultural Research**. v.4, n.1, p.119-123, feb.2009.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **A Evolução da Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília, Mar.2002. p.37-55.
- ANDRADE, A. **Análise química e avaliação do potencial alelopático da casca do café (*Coffea arabica*)**, 2009. 107.f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Química, Uberlândia. 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. Anuário estatístico ABRAF 2013, ano base 2012 / ABRAF. Brasília, 2013. 148.p. ISSN: 1980-8550.
- BAIG, S.A.; MAHMOOD, Q.; NAWAB, B.; SHAFQAT, M.N.; PERVEZ, A. Improvement of drinking water quality by using plant biomass through household biosand filter – A decentralized approach. **Ecological Engineering**. v.37, p.1842-1848, 2011. doi:10.1016/j.ecoleng.2011.06.011.
- BARCELOS, A.F.; PAIVA, P.C.A.; PÉREZ, J.R.O.; SANTOS, V.B.; CARDOSO, R.M. Composição Química da casca e polpa desidratada de café (*Coffea arábica* L.) Armazenadas em diferentes períodos. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória, ES. Resumos expandidos...Embrapa Café. p.818-825. 2001. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/10820/430>, acesso em 13 Jun.2014.
- BARREIRO, L.C.; MANSO, L.A.; CALVIÑO, D.F.; ESTÉVEZ, M.A.; MUÑOZ, J.C.N.; SANJURJO, M.J.F.; RODRÍGUEZ, E.A.; DELGADO, A.N. Pine bark as bio-adsorbent for Cd, Cu, Ni, Pb and Zn: Batch-type and stirred flow chamber experiments. **Journal of Environmental Management**. v.144, p.258-264, 2014.

BRANCO, P.M. Coisas que você deve saber sobre a água. Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais – CPRM, Canal Escola, Água. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/>, acesso em: 07 Nov. 2013.

BRANDÃO, V.S. **Tratamento de águas resíduárias de suinocultura utilizando filtros orgânicos**. 1999. 65p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1999.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde – FUNASA. **Manual prático de análise de água**. 4^a ed. Brasília, 2013. 150.p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2914, de 12 de Dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html, acesso em 11 Set.2013.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília, 2006. 212.p. ISBN: 85-334-1240-1.

CAFÉ RAIZ. Cafés. O café arábica. Disponível em: <http://www.caferaiz.com.br/ocafearabica.htm>, acesso em 15 Out.2013.

CENTRO DE INTELIGÊNCIA EM FLORESTAS – CIFlorestas. Pinus. Disponível em: <http://www.ciforestas.com.br/texto.php?p=pinus>, acesso em 23 Jan.2014.

Climatempo. Disponível em: <http://www.climatempo.com.br/noticias/208538/falta-muita-agua-no-cantareira/> acesso em 05/06/2014.

COELHO, E.R.C.; VAZZOLER, H.; LEAL, W.P. Emprego do carvão ativado para remoção de atrazina em água de abastecimento público. Artigo Técnico. **Engenharia Sanitária Ambiental**. v.17, n.4, p.421-428, out./dez. 2012.

COLAVITTI, F. O planeta pede água. **Revista Galileu**, 2013. Disponível em: <http://revistagalileu.globo.com/Revista/Galileu/0,,EDR82626-7943,00.html>, acesso em: 07 Nov. 2013.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - SABESP. Água, Tratamento de água, 2014. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=47>, acesso em 08 Mar.2014.

COMISSÃO EXECUTIVA DO PLANO DA LAVOURA CACAUERA - CEPLAC. Disponível em: <http://www.ceplac.gov.br/radar/cafe.htm>, acesso em 15 Out. 2013.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira**: café, v.1-Safra 2014, n.1-Primeiro Levantamento. Brasília, jan.2014. 21.p. ISSN: 2318-7913.

CAWST. Biosand Filter. Disponível em: <http://www.cawst.org/en/resources/biosand-filter>, acesso em 24 Jul.2014.

DIOGO, L.A. **Sistema de Potabilização da Água.** 2010. 38.p. Projeto de Curso. Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia, Universidade Eduardo Mondlane, Maputo, 2010. Disponível em: http://nhambiu.uem.mz/wp-content/uploads/2011/05/diogo_alivito.pdf, acesso em 01 Jul. 2014.

DOMINGOS, S. Água. Instituto Carbono Brasil, Desenvolvimento Sustentável, Ecossistemas. Disponível em: <http://www.institutocarbonobrasil.org.br/ecossistemas/agua>, acesso em 07 Nov. 2013.

DUARTE, M.A.C. **Tratamento de água para consumo humano de reservatório eutrofizado através de pré e interoxidação, adsorção em carvão ativado e dupla filtração.** 2011. 301.p. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

ELLIOTT, M.A.; DIGIANO, F.A.; SOBSEY, M.D. Virus attenuation by microbial mechanisms during the idle time of a household slow sand filter. **Water Research.** v. 45, p.4092-4102, 2011. doi: 10.1016/j.watres.2011.05.008.

GUERRA, A.E. Qualidade e eficiência dos serviços de saneamento. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, População, Atlas de saneamento 2011. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/default_zip.shtml, acesso em 23 Jan. 2014.

KRONEMBERGER, D.M.P; PEREIRA, R.S.; FREITAS, E.A.V.; SCARCELLO, J.A., CLEVELARIO JUNIOR, J. Saneamento e meio ambiente. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, População, Atlas de saneamento 2011. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/default_zip.shtml, acesso em 23 Jan. 2014.

LIMA, J.L.E. **Avaliação do potencial de uso de resíduos de café como filtros para tratamento de água residuária da cafeicultura.** 2006. 92.p. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Sustentabilidade) – Centro Universitário de Caratinga, Caratinga, 2006.

LO MÔNACO, P.A. **Fertilização do cafeeiro com águas residuárias da lavagem e descascamento de seus frutos.** 2005. 96.f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

LO MÔNACO, P.A.V.; MATOS, A.T.; EUSTÁQUIO JÚNIOR, V.; SARMENTO, A.P.; MOREIRA, R.M.G. Desempenho de filtros constituídos por pergaminho de grãos de café (*Coffea sp.*) no tratamento de águas residuárias. **Coffee Science.** Lavras, v.6, n.2, p.120-127, mai/ago.2011.

MACHADO NETO, N.B.; CUSTÓDIO, C.C.; CARVALHO, P.R.; YAMAMOTO, N.L.; CACCIOLARI, C. Casca de pinus: avaliação da capacidade de retenção de água e da fitotoxicidade. **Colloquium Agrariae.** v.1, n.1, p.19-24, set.2005. doi: 10.5747/ca.2005.v01.n1.a003.

MATOS, A.T.; SANTOS, J.H.T.; FIA, R. Contaminação do solo em áreas de depósito de cascas de frutos de cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1.,

2000, Poços de Caldas, MG. Resumos Expandidos...Embrapa Café. p.981-984. 2000. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/10820/202>, acesso em 13 Jun. 2014.

MONTANHER, S.F. **Utilização da biomassa de bagaço de laranja como material sorvente de íons metálicos presentes em soluções aquosas.** 2009, 135f. Tese (Doutorado em Ciências) – Departamento de Química, Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.

MWABI, J.K.; ADEYEMO, F.E.; MAHLANGU, T.O.; MAMBA, B.B.; BROUCKAERT, B.M.; SWARTZ, C.D.; OFFRINGA, G.; MPENYANA-MONYATSI, L.; MOMBA, M.N.B. Household water treatment systems: A solution to the production of safe drinking water by the low-income communities of Southern Africa. **Physics and Chemistry of the Earth.** v.36, p.1120-1128, 2011. doi:10.1016/j.pce.2011.07.078.

OLIVEIRA, L.S.; FRANCA, A.S.; ALVES, T.M.; ROCHA, S.D.F. Evaluation of untreated coffee husks as potential biosorbents for treatment of dye contaminated Waters. **Journal of Hazardous Materials.** v.155, p.507-512, 2008. doi: 10.1016/j.jhazmat.2007.11.093.

OLIVEIRA, W.E.; FRANCA, A.S.; OLIVEIRA, L.S.; ROCHA, S.D. Untreated coffee husks as biosorbents for the removal of heavy metals from aqueous solutions. **Journal of Hazardous Materials.** v.152, p.1073-1081, 2008. doi:10.1016/j.jhazmat.2007.07.085.

PÁDUA, V. L. (Coord.). **Remoção de micro-organismos emergentes e micro contaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano.** Projeto PROSAB 5. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 392.p. ISBN: 978-85-7022-165-0.

PATERNANI, J.E.S.; MANTOVANI, M.C.; SANT'ANNA, M.R. Uso de sementes de *Moringa oleífera* para tratamento de águas superficiais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** Campina Grande, v.13, n.6, p.765-771, 2009.

PINTO, N.O.; HERMES, L.C. Sistema simplificado para melhoria da qualidade da água consumida nas comunidades rurais do semi-árido do Brasil. Embrapa Meio Ambiente. Documentos; 53. Jaguariúna, São Paulo. Junho, 2006. 47.p. ISSN: 1516-4691.

RAYMUNDO, A.S.; ZANAROTTO, R.; GALAZZI, R.M.; BORGES, P.S.; RIBEIRO, J.N.; RIBEIRO, A.V.F.N. Estudo da casca/palha de café como adsorvente natural para remoção de corante têxtil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA – Química na Proteção ao Meio Ambiente e à Saúde, 48., 2008, Rio de Janeiro. Trabalhos... Disponível em: <http://www.abq.org.br/cbq/2008/trabalhos/13/13-279-4734.htm>, acesso em 09 Ago.2013.

SANTOS, E.G.; ALSINA, O.L.S.; SILVA, F.L.H. Desempenho de biomassa na adsorção de hidrocarbonetos leves em efluentes aquosos. **Química Nova.** v.30, n.2, p.327-331, 2007.

SAQIB, A.N.S.; WASEEM, A.; KHAN, AATHER F.; MAHMOOD, Q.; KHAN, AFSAR; HABIB, A.; KHAN, ABDUR R. Arsenic bioremediation by low cost materials derived from Blue Pine (*Pinus wallichiana*) and Walnut (*Juglans regia*). **Ecological Engineering.** v.51, p.88-94, 2013.

SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO – SAAE. Sistemas de Tratamento de Água. Aracruz. Junho, 2006. Disponível em:

http://www.saaeara.com.br/arquivos/outros/Tratamento_de_Agua.pdf, acesso em 27 Fev. 2014.

SILVA, C.A.; HIGASHIKAWA, F.S.; BETTIOL, W. Caracterização química de resíduos orgânicos visando a avaliação de valor agronômico. In: Congresso Brasileiro de Resíduos Orgânicos, 2009. Vitória, ES. Anais...Disponível em: http://www.incaper.es.gov.br/congresso_residuos/?a=cbro, acesso em 18 Jun.2014.

SIXEL, R.M.M. **Sustentabilidade da produtividade de madeira de *Pinus taeda* com base no estoque, na exportação e na ciclagem de nutrients.** 2012, 109 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

SOBSEY, M.D. **Managing Water in the Home:** Accelerated Health Gains from Improved Water Supply. Water, Sanitation and Health, Depertment of Protection of the Human Environment, World Health Organization, Geneva, 2002. 70.p.

SOUZA, R.S.; LIMA, L.M.R.; SILVA, V.L.M.M. Adsorção de óleo diesel em sistema de leito diferencial com biomassa bagaço de cana-de-açúcar. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos.** v.6.2, p.123-126, 2011. ISSN:1809-8797.

STREY, L.; GONÇALVES JÚNIOR, A.C.; NACKE, H.; SCHWANTES, D.; GOMES, G.D.; CARVALHO, E.A. Utilização da casca de Pinus (*Pinus elliottii*) como adsorvente para remoção de metais pesados tóxicos de soluções aquosas. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Químicas, 34., 2011. Sociedade Brasileira de Química. Florianópolis, SC. Disponível em: <http://sec.sbz.org.br/cdrom/34ra/resumos/T1418-1.pdf>, acesso em 01 Jul. 2014.

TAVARES, K.M.; PEREIRA, R.G.F.A.; NUNES, C.A.; MARQUES, A.C.; RODARTE, M.P.; GUERREIRO, M.C. Espectroscopia no infravermelho médio e análise sensorial aplicada à detecção de adulteração de café torrado por adição de cascas de café. **Química Nova.** v.35, n.6, p.1164-1168, 2012.

UNITED NATIONS CHILDREN'S FUND – UNICEF. Water, Sanitation and Hygiene. Disponível em: <http://www.unicef.org/wash/>, acesso em: 28 Nov. 2013.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA – UFV. Qualidade da Água. Disponível em: <http://www.ufv.br/dea/lqa/>, acesso em: 07 Ago.2013.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP. Tratamento de Água. Educação Ambiental e Cidadania. Disponível em: <http://www.usp.br/qambiental/tratamentoAgua.html>, acesso em 08 mar.2014.

ZOCA, A.M. **Avaliação da liberação de potássio por resíduos do benefício de café.** 2012, 57f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agronômicas, Campus de Botucatu, Botucatu, 2012.