

I-035 - TRATAMENTO DE ÁGUA POR FILTRAÇÃO EM MADEIRA

Laura Cecilia Müller⁽¹⁾

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestranda em Engenharia Ambiental na UFSC.

Marcelo Luiz Emmendoerfer

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Engenheiro de Segurança do Trabalho (UNISUL) Mestre em Engenharia Ambiental pela UFSC.

Renata Iza Mondardo

Bacharel em Química. Doutora em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Maurício Luiz Sens⁽²⁾

Engenheiro Sanitarista. Doutor em Química (França) e Professor Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Endereço⁽¹⁾⁽²⁾: Campus Universitário UFSC/CTC - Programa de Pós-Graduação em Eng. Ambiental - Bairro Trindade - CEP 88040-900 - Florianópolis - Santa Catarina - e-mail: lacmuller@hotmail.com.

RESUMO

A pesquisa estudou o tratamento de água por filtração, utilizando a madeira como elemento filtrante. Esta linha de pesquisa é inovadora, visto que existem poucos trabalhos publicados a nível mundial. Esta pesquisa deu continuidade aos estudos já realizados no Laboratório de Potabilização das Águas da Universidade Federal de Santa Catarina. Os objetivos propostos para este trabalho foram: a) caracterizar as espécies *Pinus elliottii* e *Schizolobium parahyba* quanto a sua porosidade relacionando à capacidade de retenção de partículas; b) estudar a filtração frontal em batelada nas espécies *Pinus elliottii* e *Schizolobium parahyba*; c) estudar a filtração frontal em fluxo contínuo na espécie que apresentar melhor eficiência na filtração frontal em batelada, em busca de um tratamento de água de qualidade adequada ao consumo humano, conforme Portaria nº 2.914/2011 (BRASIL, 2011). Para a concretização dos objetivos foram obtidas imagens por microscopia eletrônica de varredura para análise dos poros das madeiras. Foram realizados ensaios de filtração frontal em batelada com as duas espécies e a que teve melhor eficiência, foi testada em outro sistema piloto de filtração frontal, em fluxo contínuo, em que foi analisada a qualidade da água bruta e produzida. Como resultado, observou-se que os poros da madeira *Schizolobium parahyba* são maiores que os da *Pinus elliottii*, e que isso influenciou na remoção de substâncias nos ensaios de filtração frontal em batelada. A madeira *Pinus elliottii* apresentou remoção de turbidez e cor aparente de maneira significativa (até 99%) e cor verdadeira em menor proporção (até 53%), nos ensaios de filtração frontal em fluxo contínuo. Assim, através deste trabalho, pretende-se contribuir para o desenvolvimento de elementos filtrantes de madeira aplicáveis ao tratamento de água para consumo humano, seja para residências isoladas ou para pequenas comunidades.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de Água, Filtração Frontal, Elemento Filtrante de Madeira.

1 INTRODUÇÃO

As fontes de água, como rios e lagos, estão cada vez mais poluídas. A poluição gerada pelas grandes cidades, a destruição da mata ciliar que protege esses mananciais, a incapacidade das companhias de saneamento de produzirem água com qualidade e quantidade suficientes, vem tornando a água potável, um produto cada vez mais raro e caro. Para amenizar esses problemas é preciso desenvolver tecnologias viáveis para a melhoria da qualidade da água e o aumento da sua produção efetiva.

Comunidades isoladas não recebem água do sistema de abastecimento convencional, em razão da inviabilidade econômica (FUNASA, 2006). Dessa forma, os moradores da zona rural utilizam as fontes de água existentes nas suas propriedades. Segundo pesquisa realizada em propriedades leiteiras da região nordeste do estado de São Paulo (AMARAL et al., 2003), todas as famílias entrevistadas acreditavam que a água de suas propriedades possuía boa qualidade. Porém, as análises realizadas posteriormente apontaram que, mais de 80% das amostras das fontes de água para consumo humano se apresentavam fora do padrão microbiológico de

potabilidade, determinado pela Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011), atualmente em vigor.

O sistema de tratamento utilizando madeira como elemento filtrante pode ser uma alternativa interessante para uso nesses locais, ou até mesmo funcionar como um auxiliar no tratamento de água residencial, visto que muitas vezes a água que é fornecida não possui os parâmetros de qualidade da água adequados. Inspirados no sistema de membranas foram realizados estudos de filtração em madeira com fluxo frontal, tangencial e helicoidal (CORRÊA, 2002; SENS; EMMENDOERFER; MÜLLER, 2013).

O primeiro estudo de filtração em madeira foi realizado no Laboratório de Potabilização das Águas, do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. Nesse estudo, Corrêa (2002) realizou filtração com membranas de madeira, sendo que para os testes foram construídas chapas planas para filtração frontal e elementos tubulares para filtração tangencial com diferentes espessuras (1 cm, 2 cm e 3 cm). Na filtração frontal o fluxo de permeado foi muito baixo, pois o escoamento foi promovido no sentido transversal às fibras da madeira, já a filtração tangencial apresentou fluxo, porém insatisfatório.

Estudo realizado por Sens, Emmendoerfer e Müller (2013), recomendou a criação de um sistema piloto de fácil construção, operação e manutenção, visto que, no sistema estudado muito tempo era necessário para montagem e início dos ensaios de filtração. Além disso, verificou-se que deveriam ser estudadas outras espécies de madeira nativas e de fácil obtenção ou invés da *Pinus* que é uma espécie exótica.

Boutilier et al. (2014), realizaram pesquisa no mesmo contexto, os autores estudaram a madeira (xilema) *Pinus* em ensaios de filtração. Foram utilizados três tipos de água bruta para estes testes. A primeira foi preparada pela mistura de água deionizada e corante, com o objetivo de observar a profundidade responsável pela remoção do corante na amostra de xilema (madeira), o corante possuía partículas de dimensões entre 70 nm e 500 nm. Foi possível observar a retenção de partículas maiores que 80 nm, além da remoção da cor. A segunda água bruta foi preparada com nano esferas de 20 nm de diâmetro, que não foram retidas. Já a terceira água bruta foi preparada com água deionizada e *Escherichia coli* inativa (1 µm de diâmetro), o resultado foi de 99,9% de remoção.

A escolha da madeira como elemento filtrante vem como alternativa que possibilita utilizar um material renovável e de fácil obtenção em localidades isoladas. Nesses locais onde a água dos cursos hídricos geralmente já é utilizada para consumo humano, o uso de elementos filtrantes de madeira poderia resultar em um sistema de tratamento de água de baixo custo. Isso pelo fato de que não seria necessário, tratamento preliminar, pois a água consumida apresenta boa qualidade, contudo, em alguns casos não satisfaz os valores estabelecidos pela Portaria 2.914 de 2011 (BRASIL, 2011). Desta forma, o uso de filtros de madeira poderia promover a redução de custos na fabricação das membranas e facilitaria a sua manutenção, sendo que elementos filtrantes de madeira poderiam ser construídos pelos próprios consumidores (MÜLLER, 2013).

O caule das plantas tem como função a condução de substâncias por meio do sistema vascular, composto pelo xilema e floema. O xilema é responsável pela condução da água em fluxo ascendente e o floema conduz o alimento fabricado pelas folhas para as outras partes da planta (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 1996). Devido ao fato do centro da madeira ser composto basicamente por lenho (Figura 1a), pode-se supor que a filtração ocorrerá através do xilema das plantas.

Quanto à sua estrutura, o xilema das gimnospermas é basicamente composto por traqueóides ou traqueídes axiais (Figura 1b), existem também canais no sentido radial, chamados de pontoações, que interligam os traqueídes e são responsáveis pelo transporte e armazenamento de substâncias (GONZAGA, 2006; KLOCK et al., 2005). Nos traqueídes a água passa pelas pontoações. As pontoações apresentam maior resistência à passagem de água devido à presença de membranas que ligam esses traqueídes.

Nas angiospermas o xilema é composto por elementos de vasos e traqueídes que também podem apresentar pontoações. Os elementos de vasos são abertos em suas extremidades, sendo o que os diferenciam dos traqueídes, permitindo maior fluxo de água pelos vasos (Figura 1c). (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 1996). Essas características refletem na porosidade da madeira, no diâmetro dos poros e na organização dos mesmos (KLOCK et al., 2005).

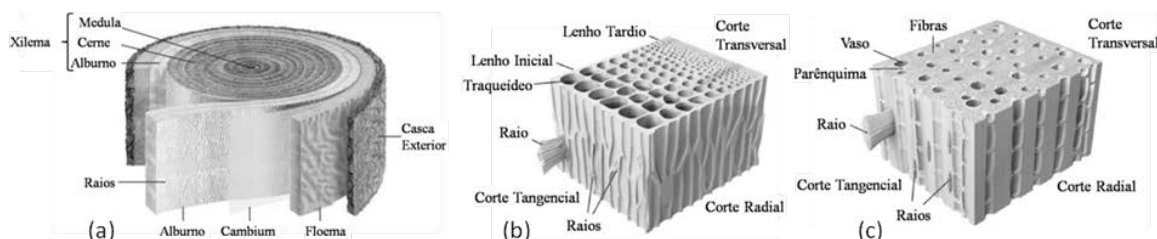


Figura 1 – Esquema da anatomia do tronco de uma angiosperma (a), detalhamento da anatomia de uma conífera não pinácea (b) e angiosperma (c)

Fonte: Gonzaga (2006)

Há muito que se pesquisar sobre o tratamento de água utilizando madeira, haja vista que os mecanismos pelo qual a madeira causa melhorias na qualidade da água não são conhecidos de forma detalhada. É necessário desenvolver sistemas de tratamento de água por filtração em madeira que facilitem a troca do elemento filtrante com rapidez. E também avaliar outras espécies de madeira que apresentem bons resultados de qualidade de água tratada.

As madeiras *Pinus elliottii* (Pinus) e *Schizolobium parahyba* (Garapuvu) foram escolhidas para uso como elemento filtrante devido ao intenso plantio para fins comerciais, por conta principalmente do seu rápido crescimento, *Pinus elliottii* pode apresentar crescimento de até 2 cm de diâmetro por ano e a *Schizolobium parahyba* pode atingir dez metros de altura em dois anos. Além disso, a madeira *Pinus elliottii* já foi estudada anteriormente como elemento filtrante, porém sem a avaliação de alguns parâmetros que se mostram importantes para o tratamento de água.

Com o objetivo de dar continuidade às pesquisas citadas e de aprimorar essa tecnologia, o presente trabalho estudou a espécie *Pinus elliottii* e *Schizolobium parahyba*, as quais possam ser utilizadas como elementos filtrantes na potabilização de água.

2 METODOLOGIA

Os ensaios referentes a este trabalho, assim como a confecção do sistema piloto e obtenção da água bruta, foram realizados no Laboratório de Potabilização das Águas (LAPOÁ) da Universidade Federal de Santa Catarina.

Os experimentos realizados foram agrupados em três etapas. A primeira etapa corresponde à caracterização das espécies de madeira *Pinus elliottii* e *Schizolobium parahyba* por microscopia eletrônica de varredura (MEV), que foi realizada no Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (LCME), localizado também nas dependências da Universidade Federal de Santa Catarina. Na segunda foram realizados ensaios preliminares de filtração frontal em batelada para verificar a passagem de água e a capacidade de retenção de partículas pelas espécies *Pinus elliottii* e *Schizolobium parahyba*. A partir desses resultados, a madeira mais eficiente foi escolhida para realização da terceira etapa, que se refere aos ensaios de filtração frontal em fluxo contínuo, analisando a qualidade da água produzida, de acordo com alguns parâmetros estipulados pela Portaria 2.914 de 2011 (BRASIL, 2011). Os elementos filtrantes utilizados nessa última etapa foram observados por microscopia eletrônica de varredura na tentativa de observar a retenção de partículas. A Tabela 1 apresenta o resumo da metodologia utilizada na pesquisa.

Tabela 1 – Resumo das etapas da pesquisa

Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Caracterização dos poros das madeiras <i>Pinus elliottii</i> e <i>Schizolobium parahyba</i> por MEV.	Realização de ensaios de filtração frontal em batelada em elementos filtrantes das madeiras <i>Pinus elliottii</i> e <i>Schizolobium parahyba</i> . Análise de cor aparente, turbidez e condutividade.	Escolha da madeira mais eficiente e realização de ensaios de filtração frontal em fluxo contínuo, analisando a qualidade da água bruta e produzida. Os parâmetros analisados foram: Turbidez, cor aparente, cor verdadeira, pH, temperatura, condutividade, absorvância 254 nm e COT. Obtenção de imagens por MEV para visualização da colmatação.

2.1 ETAPA 1 - CARACTERIZAÇÃO POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

Para realização da análise por MEV as amostras das espécies *Pinus elliottii* e *Schizolobium parahyba* foram cortadas transversalmente com lâmina afiada, de modo que as fibras da superfície não fossem deformadas, possibilitando a observação dos poros das espécies com maior abertura. As amostras foram cortadas em formato cilíndrico com aproximadamente 0,5 cm de altura e diâmetro (Figura 2). Posteriormente, as amostras foram secas em estufa 70 °C por 24 h e mantidas em dessecador com sílica, conservando-as livres de umidade.

A análise foi realizada no Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (LCME) na UFSC, onde as amostras foram recobertas com ouro, mantidas em estufa a 70 °C até o momento da análise.

As imagens foram capturadas com ampliações de X50 e X250, na qual possibilitam a medição dos poros das amostras. A partir das imagens foram realizadas: a contagem do número de poros, a determinação da área superficial da amostra e de cada poro, assim como o diâmetro dos poros da amostra. Essa etapa foi realizada utilizando o *software* ImageJ.

Com os dados obtidos foi possível calcular o diâmetro médio dos poros, a área média dos poros, área porosa da superfície e a porosidade das amostras utilizando as equações de 1 a 5.

$$D_m = \frac{\sum D}{N_p} \quad (1)$$

Em que: D_m – Diâmetro médio dos poros (mm); D – Diâmetro do poro (mm); N_p – Número de poros.

$$A_m = \frac{\sum A_p}{N_p} \quad (2)$$

Em que: A_m – Área média dos poros (mm²); A_p – Área de cada poro (mm²) e N_p – Número de poros.

$$A_{ps} = \sum A_p \quad (3)$$

Em que: A_p – Área de cada poro (mm²) e A_{ps} – Área porosa da superfície (mm²).

$$n = \frac{A_{ps}}{A_t} \cdot 100 \quad (4)$$

Em que: n – Porosidade (%); A_{ps} – Área porosa da superfície (mm²) e A_t – Área da superficial das amostras (mm²).

Também foi calculado o número de poros por milímetro quadrado por meio da Equação (5).

$$\frac{N_p}{A_t} \quad (5)$$

Em que: N_p – Número de poros e A_t – Área superficial (mm²).

Essas características são importantes, pois interferem diretamente no processo de filtração, visto que os poros são os locais pelo qual a água permeará, consequentemente, onde haverá a retenção das partículas presentes na água bruta.

Desta forma, a partir das imagens de MEV, foi possível fazer uma avaliação qualitativa do processo de filtração. Para isso a amostra utilizada como elemento filtrante na terceira etapa, foi cortada longitudinalmente (Figura 2), a fim de possibilitar a observação do alcance da retenção de partículas. Essas amostras também foram mantidas em estufa, recobertas com ouro e deixadas novamente em estufa até o momento da análise, a ampliação utilizada foi de X250.



Figura 2 – Corte das amostras para realização do MEV (esquerda) superficial (direita) longitudinal

2.2 PARÂMETROS DE CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA

Na Tabela 2 estão apresentados os equipamentos, métodos analíticos e parâmetros que serão aplicados nos ensaios. Sendo que as análises serão realizadas de acordo com as metodologias apresentadas pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1999).

Tabela 2 – Parâmetros de controle

Parâmetro	Método analítico	Equipamento associado
Absorbância UV 254 nm	5910 (APHA, 1999)	Espectrofotômetro UV-VIS SPECTRO 3000 W
Condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	2510 (APHA, 1999)	Condutivímetro HACH
Cor aparente (uH)	2120c (APHA, 1999)	Espectrofotômetro DR 2800 HACH
Cor verdadeira (uH)	2120c (APHA, 1999)	Espectrofotômetro DR 2800 HACH
COT (mg L^{-1})	5310b (APHA, 1999)	Analizador Shimadzu Toc 5000 A
pH	4500-H+ (APHA, 1999)	pHmetro Orion Modelo 330
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	2550b (APHA, 1999)	Termômetro de mercúrio
Turbidez (uT)	2130b (APHA, 1999)	Turbidímetro HACH modelo 2100p
Volume (mL)	-	Proveta volumétrica
Pressão (psi)	-	Manômetro
Tempo (min)	-	Cronômetro

Notas: 1 psi = 0,7035 mca; UV – Ultra Violeta.

2.3 ETAPA 2 – ENSAIO PRELIMINAR EM BATELADA

Para essa etapa os elementos filtrantes das madeiras *Pinus elliottii* e *Schizolobium parahyba* foram preparados de modo que a passagem da água ocorresse paralelamente às fibras, conforme recomendado por Sens, Emmendoerfer e Müller (2013). Os elementos filtrantes foram secos em estufa antes da utilização no sistema piloto.

O sistema piloto funcionava por pressurização a ar comprimido de um volume fixo de 220 mL de água bruta para passagem pelo elemento filtrante em fluxo frontal. Por isso, o sistema foi chamado sistema de filtração frontal em batelada. Para verificar a eficiência dessas duas espécies na filtração realizou-se análise de cor aparente, turbidez e condutividade (Tabela 2). Observou-se também a pressão, o volume e o tempo de filtração, para o cálculo da taxa de filtração. A pressão aplicada para promover a passagem da água pela madeira *Pinus elliottii* foi em média de 5 mca, já para a madeira *Schizolobium parahyba* foi de 2 mca.

A água bruta utilizada nesta etapa foi preparada pela mistura de água de torneira e argila bentonita, para obtenção de uma água com 2 a 3 uT.

2.4 ETAPA 3 – FILTRAÇÃO FRONTAL EM FLUXO CONTÍNUO

Para o ensaio de filtração frontal em fluxo contínuo foi utilizada a madeira *Pinus elliottii*, que apresentou melhor eficiência na filtração em batelada, a fim de analisar o seu comportamento durante a carreira de filtração e analisar outros parâmetros de qualidade da água.

2.4.1 PREPARAÇÃO DOS ELEMENTOS FILTRANTES

Foram coletadas amostras da madeira *Pinus elliottii*, que ficaram em condição ambiente durante 24 horas. Posteriormente, as mesmas foram desfolhadas, em seguida foi realizada a raspagem da casca e foram selecionadas as amostras que tinham diâmetro aproximado de 1,3 cm, devido à necessidade de acoplagem no sistema piloto. As amostras selecionadas foram deixadas imersas em água até o momento do corte e uso como elemento filtrante no sistema de filtração (conforme recomendado por Boutilier et al., 2014).

2.4.2 PREPARAÇÃO DA ÁGUA BRUTA SINTÉTICA

A água bruta sintética foi preparada com base na metodologia descrita por Arantes (2010). Adicionou-se à água de torneira, 0,5 g L⁻¹ de erva mate moída e 0,14 g L⁻¹ de bentonita, em equipamento *Jar Test* com agitação de 400 s⁻¹ e tempo de mistura de 30 min, para melhor homogeneização da solução. A água foi reservada por 24 h, após este período coletou-se o sobrenadante para realização dos ensaios de filtração frontal. Com isso, obteve-se uma água com aproximadamente 20 uT. Com relação ao parâmetro cor, devido à degradação da erva-mate, houve mudança neste parâmetro com o passar dos dias, o que provocou a necessidade de diluir a água para redução desse parâmetro havendo também redução da turbidez.

Os parâmetros de qualidade de água monitorados estão descritos na Tabela 2. O volume de água filtrada, o tempo de filtração, a pressão de entrada da água bruta e o diâmetro da superfície filtrante foram determinados para obtenção da taxa de filtração e determinação da perda de carga no elemento filtrante. Além disso, foram realizadas análises por microscopia eletrônica de varredura (MEV), conforme apresentado anteriormente.

Os dados de qualidade da água bruta e produzida foram comparados em Box Plot, construídos no *Software* Statística 8.0.

2.4.3 SISTEMA PILOTO

O sistema piloto foi montado de forma a trabalhar com fluxo contínuo, promovendo a filtração frontal através do elemento filtrante. O sistema funciona a partir da alimentação da água bruta, por uma bomba centrífuga responsável por recalcar a água até o elemento filtrante de madeira. A pressão é regulada pela redução da vazão de água, através do fechamento do registro agulha e controlada pelo manômetro localizado antes da entrada do elemento filtrante (Figura 3). Com o sistema pressurizado, ocorre a filtração da água bruta (AB) através do elemento filtrante. A água produzida, após passagem pela madeira, é coletada para realização das análises de qualidade. A madeira foi fixada ao sistema piloto por uma bucha de redução de cobre, conforme Figura 3. A carreira de filtração foi interrompida pela colmatação excessiva do elemento filtrante ou pela piora na qualidade da água produzida (AP). As pressões aplicadas no sistema foram de 20, 30 e 40 psi.

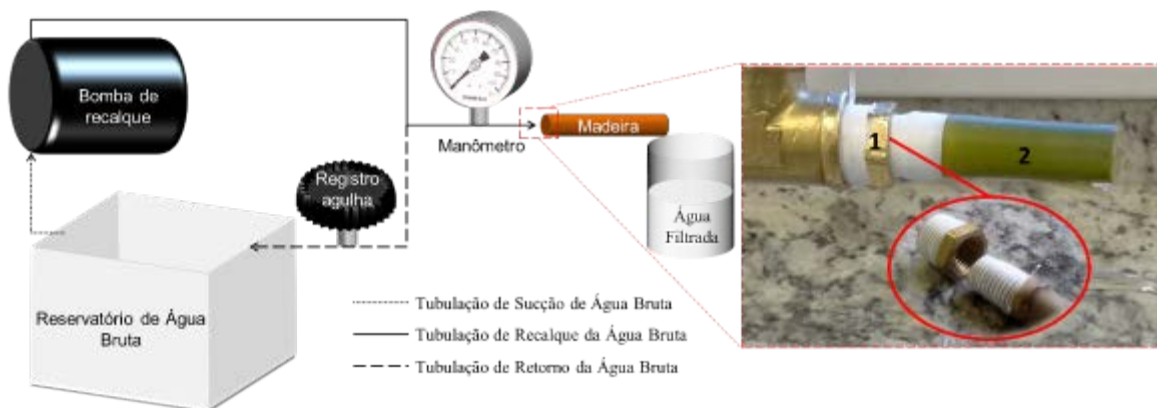


Figura 3 – Esquema de funcionamento do sistema piloto e fixação da madeira

Notas: (1) Madeira; (2) Bucha de redução.

3 RESULTADOS

Analisando a Figura 3 referente à imagem obtida por microscopia eletrônica de varredura da *Schizolobium parahyba*, foi possível observar que seus poros são maiores que os da *Pinus elliottii* (Figura 4). Isso pode ser constatado também pelo diâmetro médio dos poros calculados por meio das análises das imagens, conforme resultados apresentados na Tabela 3. O diâmetro médio dos poros da *Schizolobium parahyba* são aproximadamente 5 vezes maiores que dos poros da madeira *Pinus elliottii*, o que pode explicar a melhor eficiência de produção de água pela madeira *Pinus elliottii*.

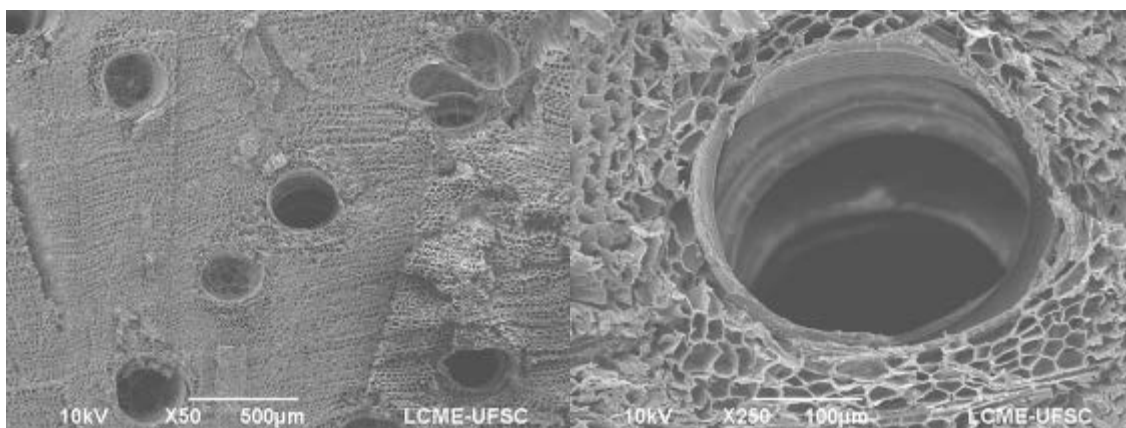


Figura 3 – MEV da superfície da madeira *Schizolobium parahyba* (X50 e X250)

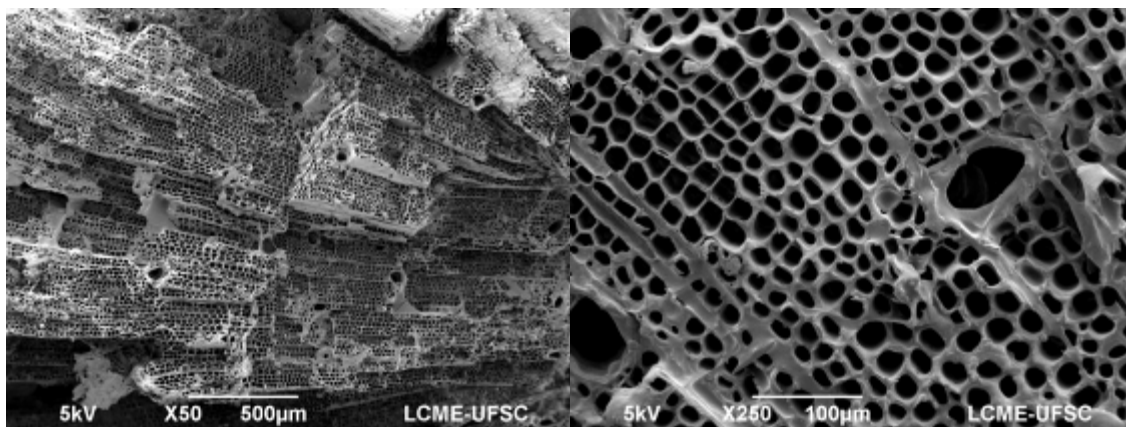


Figura 4 – MEV da superfície da madeira *Pinus elliottii* (X50 e X250)

Tabela 3 – Medição dos poros das imagens de MEV utilizando o *software* ImageJ

		Poros superficiais		Poros Laterais
		Poros pequenos	Poros grandes	
<i>Pinus elliottii</i>	Diâmetro médio (mm)	0,015	0,048	0,004
	Área média (mm²)	0,0002	0,0021	
	Porosidade (%)	49%		
	Poros mm ⁻²	2.181		
<i>Schizolobium parahyba</i>	Diâmetro médio (mm)	0,234		
	Área média (mm²)	0,05		
	Porosidade (%)	0,07		
	Poros mm ⁻²	1,5		

Os vasos quando cortados transversalmente são observados como poros (Figura 4), esses poros apresentam diâmetros aproximadamente 4 vezes maior que as pontoações, que são observadas como poros, no corte longitudinal (Figura 5), conforme resultados apresentados na Tabela 3. O MEV possibilitou a visualização desses vasos e pontoações da madeira *Pinus elliottii* sendo as pontoações integrantes da parede dos vasos condutores dessa madeira.

A Figura 5 mostra também a retenção de partículas de bentonita, devido à aplicação desta madeira na filtração frontal em fluxo contínuo, o que causou a formação de uma crosta (colmatação) na superfície da madeira (parte superior da Figura 5).

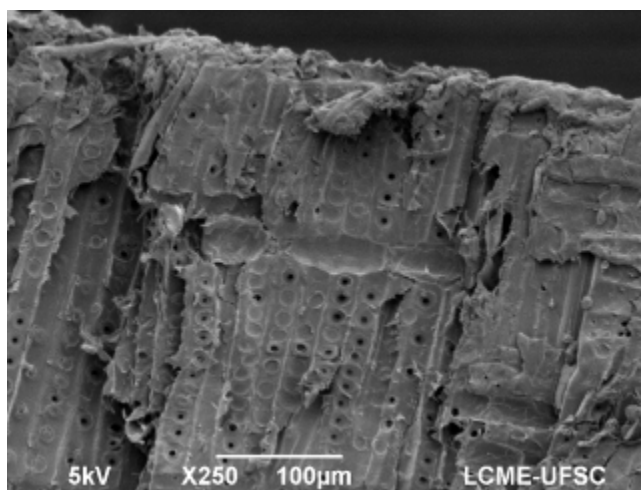


Figura 5 – MEV da madeira *Pinus elliottii* em corte longitudinal (X250)

Neste estudo não foi possível definir qual das duas estruturas do xilema, vasos ou pontoações, da madeira *Pinus elliottii* são responsáveis por reter as partículas na filtração e consequentemente por melhorar a qualidade da água. Por isso, faz-se necessário a realização de testes de filtração e análise da água por contagem de partículas, a fim de verificar a dimensão das partículas passantes pelo elemento filtrante, permitindo definir qual estrutura da madeira é responsável por essa retenção.

Os resultados apresentados na Tabela 4 foram obtidos para elementos filtrantes das madeiras *Pinus elliottii* e *Schizolobium parahyba* aplicados na filtração frontal em batelada. Observa-se que, a madeira *Pinus elliottii* apresentou remoção de turbidez, diferentemente da madeira *Schizolobium parahyba* que apresentou piora de todos os parâmetros analisados, o que indica a possível passagem de substâncias da madeira para a água produzida (resíduo proveniente do seu corte ou da dissolução de substâncias da própria madeira). Além disso, essa ineficiência na filtração pode ser explicada pela presença de vasos com diâmetros maiores que na madeira

Pinus elliottii, conforme mostrado anteriormente nas imagens obtidas por MEV. O que provocou também nesta etapa alto fluxo de água produzida na madeira *Schizolobium parahyba*. Por esses motivos a *Pinus elliottii* foi aplicada na terceira etapa deste estudo (filtração frontal em fluxo contínuo).

Tabela 4 – Qualidade da água bruta (AB) e produzida (AP) por elementos filtrantes de madeira na filtração frontal em batelada

Parâmetros	AB	AP - <i>Pinus elliottii</i>	AP - <i>Schizolobium parahyba</i>
Turbidez (uT)	2,64	1,78	2,93
Cor Aparente (uH)	12	18	30
Condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	68	76	76
Taxa de filtração ($\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{dia}^{-1}$)	-	962	1.512

Quanto aos ensaios de filtração frontal de fluxo contínuo utilizando a madeira *Pinus elliottii* como elemento filtrante, foi possível observar remoção de turbidez de até 99%, cor aparente de 19% a 82% e cor verdadeira 11% a 53%, conforme apresentado na Figura 6. Para os parâmetros de turbidez e cor aparente, em média, os valores obtidos para a água produzida se encontravam acima dos preconizados pela Portaria 2.914 de 2011 (BRASIL, 2011), porém, em alguns momentos durante a carreira de filtração a turbidez alcançava valores menores que o valor máximo permitido preconizado pela mesma Portaria (VMP – 5 uT).

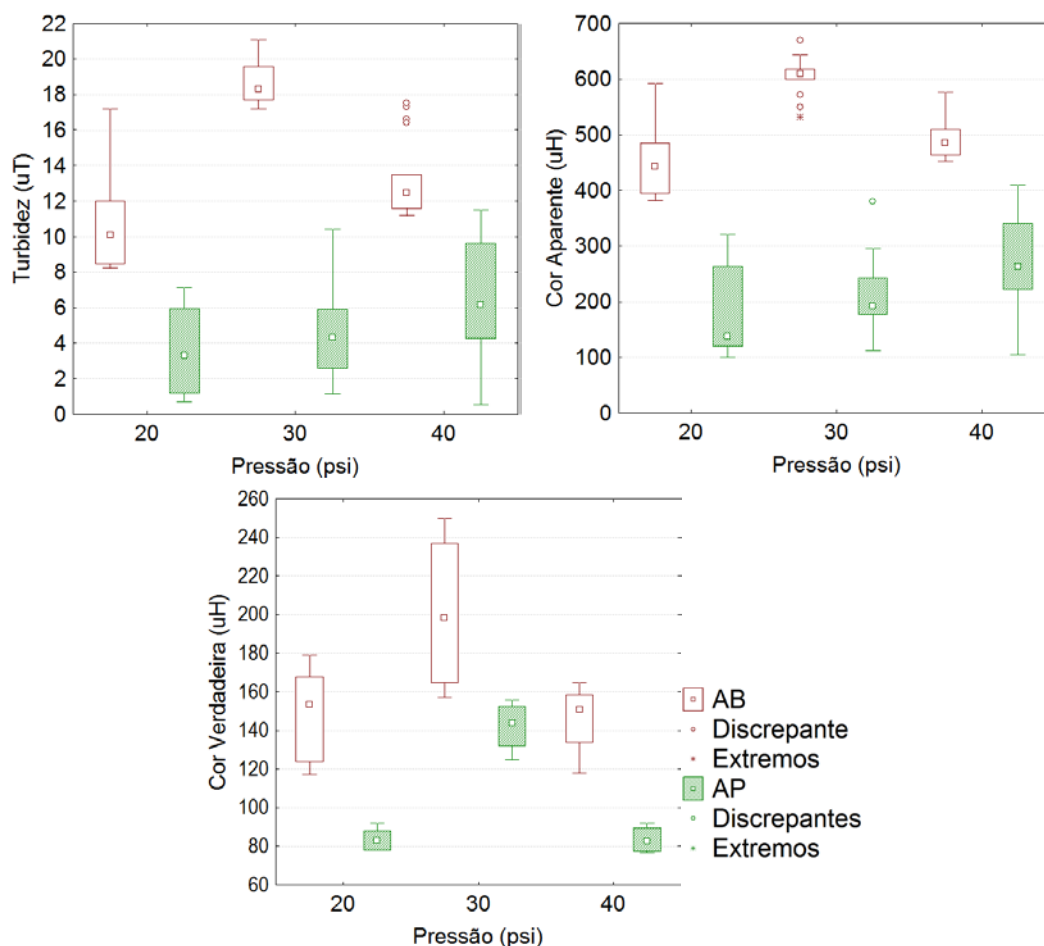


Figura 6 – Box Plot de turbidez, cor aparente e cor verdadeira para água bruta (AB) e produzida (AP) pela espécie *Pinus elliottii* por filtração frontal em fluxo contínuo para as pressões aplicadas

Já os parâmetros de condutividade, COT e absorbância 254 nm (que indica a presença de compostos orgânicos na água) apresentaram comportamento contrário. Ocorreu que a água produzida apresentava valores maiores

que a água bruta dando indícios de passagem de substâncias da madeira para a água tratada, conforme apresentado na Figura 7.

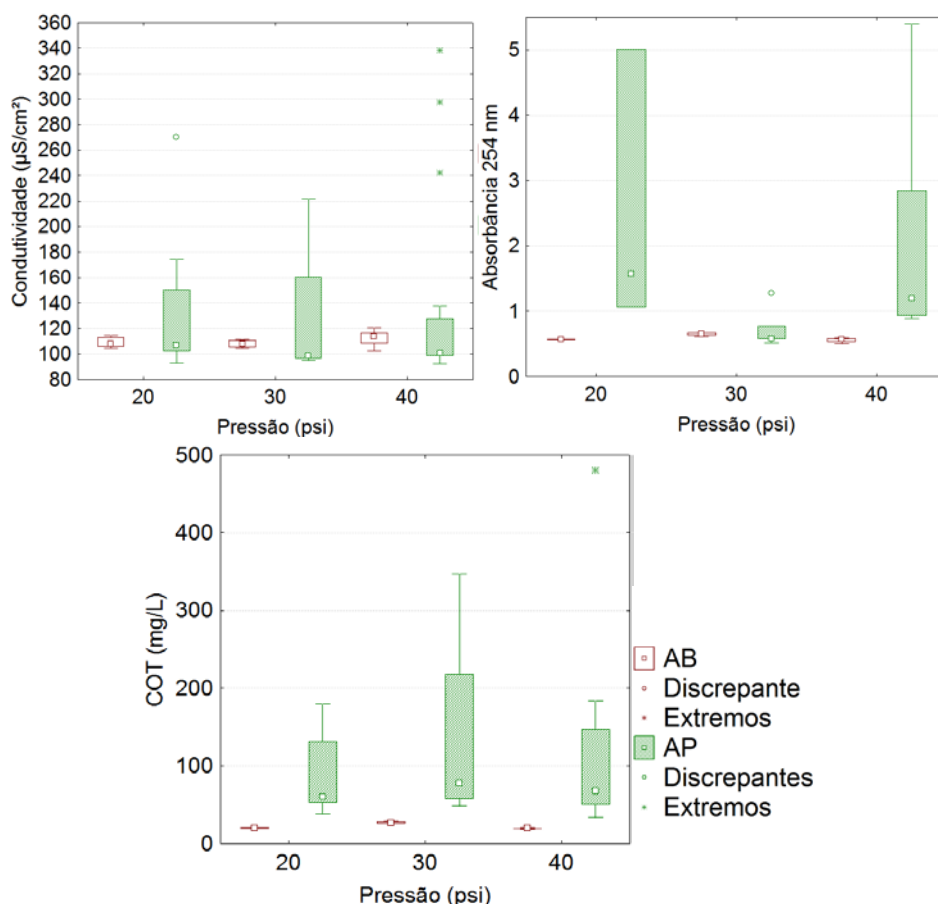


Figura 7 – Box Plot de condutividade, absorvância 254 nm e COT para água bruta (AB) e produzida (AP) pela espécie *Pinus elliottii* por filtração frontal em fluxo contínuo para as pressões aplicadas.

Conforme apresentado na Figura 8, a condutividade, a absorvância em 254 nm e o COT, apresentaram valores altos no início das carreiras de filtração. Após determinado tempo (cerca de 2 horas), houve um decréscimo desses valores que estabilizavam próximos aos encontrados na água bruta. Indicando que a passagem de água pela madeira no início da filtração promovia uma limpeza do elemento filtrante, que após determinado tempo deixava de interferir negativamente na qualidade da água produzida. Sendo necessário um certo tempo para a promoção de água com qualidade superior ao da bruta, sendo este tempo, as primeiras horas para limpeza do elemento.

Não se sabia que a qualidade da água durante as carreiras de filtração sofreria tanta interferência da preparação dos elementos filtrantes, referente ao tempo entre o corte e sua imersão em água, tempo entre a remoção da casca e o início do ensaio de filtração e tempo entre a coleta da amostra da espécie e seu ensaio. Segundo Boutilier et al. (2014), caso os elementos filtrantes não sejam mantidos imersos em água existe a possibilidade de rompimento das membranas existentes na extremidade dos poros e consequentemente, a passagem da água não seria mais forçada pelas pontoações, o que resultaria em uma passagem de partículas com diâmetro igual ao dos poros, ou seja, as partículas menores que pontoações, passariam pelo elemento filtrante, enquanto o que ficaria retido teria diâmetro maior que o dos vasos.

Neste estudo, é possível que tenha havido o rompimento das membranas dos vasos, pois as amostras foram deixadas em condição ambiente e podem ter secado durante esse tempo. Por isso, é necessário realizar a preparação dos elementos filtrantes com maior rigor e cuidado, além da imersão das amostras em água imediatamente após o corte. Da mesma forma, existe a possibilidade das pontoações aumentarem de diâmetro pela fragilidade de sua parede devido a esse procedimento de preservação.

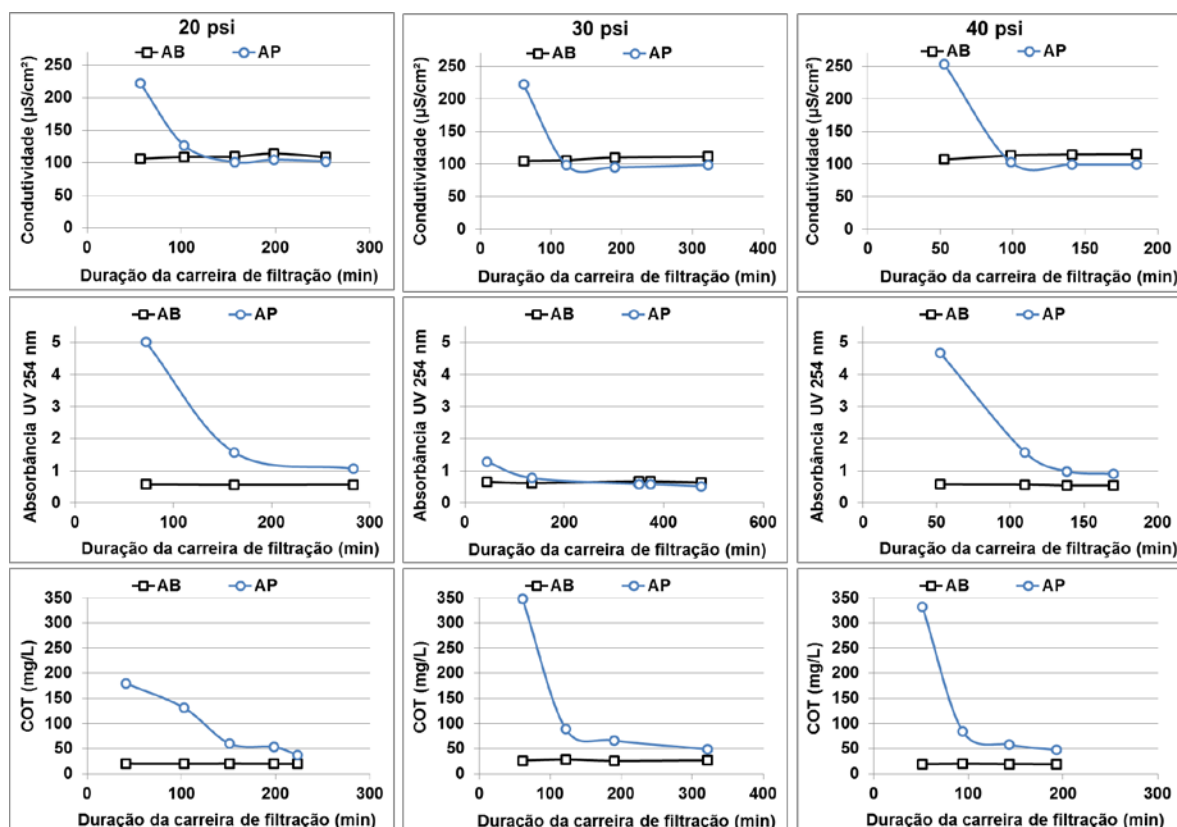


Figura 8 – Condutividade, absorvância em 254 nm e COT para água bruta (AB) e produzida (AP) pela espécie *Pinus elliottii* por filtração frontal em fluxo contínuo durante as carreiras de filtração.

Quanto à vazão obtida nos ensaios de filtração em comparação com as pressões aplicadas, a mesma não teve o comportamento esperado. Esperava-se que, para a aplicação de uma pressão de 20 psi fosse obtida uma vazão menor que para 40 psi e também uma melhor qualidade da água com maior duração da carreira de filtração. Entretanto, conforme verificado na Figura 9, não houve linearidade no comportamento da taxa de filtração, ou na duração da carreira de filtração com relação à pressão aplicada.

Acredita-se que isso se deva a variações na preparação do elemento filtrante dos diversos dias de ensaios e nas diferentes pressões aplicadas. Quanto mais tempo a madeira ficava imersa em água maior a vazão, porém pior a qualidade da água produzida. Quanto menor o tempo entre a retirada da casca da madeira e o início do ensaio de filtração melhor a qualidade da água, assim como quando as extremidades da amostra eram removidas anteriormente à aplicação no sistema piloto. Por meio da análise da qualidade da água e da vazão, esperava-se encontrar qual a melhor pressão para aplicação em *Pinus elliottii*, porém faz-se necessário realizar novos testes com maior cuidado na preparação do elemento filtrante, desde o momento da coleta até o momento de retirada da casca e acoplagem ao sistema piloto.

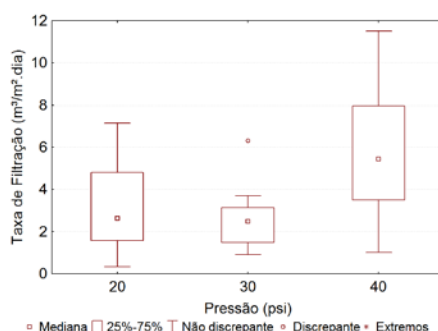


Figura 9 – Box Plot da taxa de filtração das carreiras para as pressões aplicadas

CONCLUSÕES

A microscopia eletrônica de varredura se mostra válida para análise dos poros das espécies a serem utilizadas como elementos filtrantes para tratamento de água, pois pode auxiliar inclusive na escolha das espécies. A MEV pode ser realizada tanto no sentido longitudinal quanto no sentido transversal para espécies a serem aplicadas como elementos filtrantes, pois a estrutura da parede dos poros pode também interferir na filtração. Além disso, se mostra uma forma de verificar a colmatção do elemento filtrante.

A madeira *Schizolobium parahyba* (Garapuvu), da forma que foi preparada, não foi eficiente para aplicação como elemento filtrante na filtração frontal, devido ao grande diâmetro de seus poros.

A madeira *Pinus elliottii* se mostrou um elemento filtrante bastante eficiente para remoção de cor e turbidez, porém os valores dos parâmetros de qualidade da água produzida se encontraram acima dos preconizados pela Portaria 2.914 de 2011 (BRASIL, 2011), na maior parte dos ensaios. Porém, para a filtração frontal em fluxo contínuo houve remoção de turbidez, cor aparente e verdadeira.

Os elementos filtrantes de ambas as espécies estudadas sofreram influência da preservação das amostras e a qualidade da água produzida foi depreciada provavelmente por substâncias da própria madeira, tanto provenientes do corte como da dissolução de substâncias pela madeira.

Salienta-se que os mecanismos de retenção do processo de filtração em madeira não foram discutidos nos artigos apreciados e neste trabalho. Visto que os dados obtidos neste trabalho não possibilitam esta discussão.

Com base nos estudos realizados, ainda estão sendo pesquisadas diferentes espécies de madeira para uso como elemento filtrante no tratamento de água, no mesmo grupo de pesquisa (LAPOÁ/UFSC). Pretende-se com a obtenção dos resultados positivos, propiciar a implantação de pequenos filtros em comunidades rurais deficientes de sistema de abastecimento e tratamento de água. A expectativa é que esta pesquisa contribua para a produção de água de baixo custo para aplicação em locais isolados sem a exigência de pessoal especializado para manutenção ou operação do sistema de tratamento.

RECOMENDAÇÕES

É importante realizar ensaios de filtração com microesferas a fim de verificar qual a estrutura da madeira é responsável por retê-las, se são as pontuações ou os vasos.

Também é necessário realizar novos testes utilizando a espécie *Pinus elliottii*, considerando os seguintes cuidados: colocar as amostras na água imediatamente após a coleta e ter maior rigor na preparação dos elementos filtrantes. Isso se deve ao fato desses fatores causarem alta interferência tanto na qualidade, quando no fluxo da água produzida. Além disso, é importante realizar análise na água produzida a fim de verificar as substâncias carregadas pela passagem da água através da madeira.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, por ter possibilitado e financiado esta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMARAL, L. A. DO et al. Água de consumo humano como fator de risco à saúde em propriedades rurais. Revista de Saúde Pública, v. 37, n. 4, p. 510–514, ago. 2003.
2. ARANTES, C. C. Utilização de coagulantes naturais à base de sementes de Moringa oleifera e tanino como auxiliares da filtração em mantas não tecidas. Dissertação (Mestrado) - Pós Graduação em Engenharia Civil - Faculdade Estadual de Campinas: Campinas/SP, 2010.
3. BOUTILIER, M. S. H. et al. Water Filtration Using Plant Xylem. PLOS ONE, v. 9, n. 2, p. 1–8, jan. 2014.
4. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n. 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Brasília/DF, 2011.

5. CORRÊA, E. Filtração de água em membranas de madeira. TCC (Graduação) - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis/SC, 2002.
6. FUNASA. Manual de saneamento. 3a. ed. Brasília, DF: Fundação Nacional de Saúde, 2006.
7. GONZAGA, A. L. Madeira: uso e conservação. Brasília/DF: IPHAN/MONUMENTA, 2006.
8. KLOCK, U. et al. Química da madeira. 3a. ed. Curitiba, PR: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná, 2005.
9. MÜLLER, L. C. Filtração de Água com Escoamento Tangencial Helicoidal em Madeira da Espécie *Tabebuia cassinoides* (Lam.) DC. TCC (Graduação) - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis/SC, 2013.
10. RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. Biologia vegetal. 5a. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996.
11. SENS, M. L.; EMMENDOERFER, M. L.; MÜLLER, L. C. Water filtration through wood with helical cross-flow. *Desalination and Water Treatment*, p. 1–12, 2013.