

## ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM COMUNIDADE RIBEIRINHA DO SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO — O CASO DA ILHA DO RODEADOURO (BA)

Raissa da Matta Almeida<sup>1</sup>

Diego Vendramini<sup>2</sup>

### RESUMO

Avanços tecnológicos têm surgido nas técnicas de tratamento e abastecimento de água nos grandes centros urbanos. Entretanto, ainda é um desafio para os países em desenvolvimento garantir o suprimento de água tratada a toda a população, em especial as pequenas e isoladas. O semiárido nordestino é uma região fortemente castigada pela escassez hídrica em decorrência das condições climáticas e soma-se a isso a contaminação dos rios, com destaque para o São Francisco. Há diversos conflitos pelo uso da água, uma vez que, além da dessedentação humana e dos animais, há uma grande demanda para o uso na agricultura irrigada. Assim sendo, é grande a necessidade de estudos que proponham soluções alternativas para o abastecimento de água para pequenas comunidades ribeirinhas com base em diagnósticos da qualidade da água. Dentre as prováveis alternativas, aponta-se uma estação compacta, com a utilização de tanques de polietileno para filtros lentos, antecedidos de pré-filtro dinâmico e nos períodos de chuva de decantador. A tomada de decisão levou em conta as condições socioeconômicas da comunidade da Ilha do Rodeadouro.

**Palavras-chave:** Abastecimento de água; Qualidade; Rio São Francisco.

### WATER SUPPLY IN THE RIVERSIDE COMMUNITY OF SUB-MID SÃO FRANCISCO – THE CASE OF RODEADOURO ISLAND (BA)

### ABSTRACT

Technological advances have emerged in treatment techniques and water supply in major urban centers. However, it is still a challenge for developing countries to guarantee the supply of treated water to the entire population, especially small and isolated. The semi-arid northeast is a region heavily burdened by water shortages due to climatic conditions and adds it to the contamination of rivers, notably the São Francisco. There are many conflicts over water use, since, beyond human and animal watering, there is a great demand for use in irrigated agriculture. Thus, there is a great need for studies that propose alternative solutions to the water supply for small coastal communities based on diagnoses of water quality. Two of the possible alternatives, it points to a compact station with the use of polyethylene tanks to slow sand filters, dynamic preceded by prefilter and during rain, decanters. The decision took into account the socioeconomic conditions of the Isle of Rodeadouro community.

**Keywords:** Supply water; Quality; São Francisco river.

**JEL:** Q55; Q58

---

<sup>1</sup> Engenheira Ambiental e Sanitarista. Bolsista CAPES do Mestrado em Desenvolvimento Regional e Urbano – Universidade Salvador (UNIFACS). Membro do Grupo de Pesquisa em Turismo e Meio Ambiente – GPTURIS/UNIFACS <raissadamattaa@gmail.com>

<sup>2</sup> Doutor em Química na Agricultura e Meio Ambiente pela Universidade de São Paulo. Professor Adjunto da Escola de Engenharia e Tecnologia de Informação da Universidade Salvador – UNIFACS <diegovendra.eng@gmail.com>



## 1 INTRODUÇÃO

No início dos anos 1970, o governo federal implementou o Sistema Nacional de Saneamento e o Plano Nacional de Saneamento (PLANASA). Foi a primeira iniciativa do governo federal no setor, que estimulou a criação das empresas de saneamento, dando ênfase a construção de sistemas de abastecimento de água.

No entanto, foi apenas em 2007 que o saneamento básico no Brasil passou a ter maior importância, com a promulgação da Lei nº 11.445/2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal do saneamento básico, trazendo consigo novo marco regulatório para o setor. Tal lei, no seu Art. 3º define saneamento como:

Conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de:

- I – abastecimento de água potável;
- II – esgotamento Sanitário;
- III – limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos;
- IV – drenagem e manejo de águas pluviais urbanas.

Sendo a água um recurso de fundamental importância à vida, a garantia do suprimento desse recurso natural a toda população em quantidade e qualidade satisfatórias deve ser uma ação prioritária. Os maiores desafios enfrentados pelos países em desenvolvimento são os de garantir abastecimento de água, esgotamento sanitário e acesso à energia elétrica a todos de forma sustentável. No que tange os sistemas de abastecimento de água, o desafio se torna ainda maior, uma vez que, nas últimas décadas houve um amplo crescimento populacional e conseqüentemente, maior poluição<sup>3</sup> dos recursos hídricos, o que acarreta num número considerável de doenças e mortes associadas à falta e má qualidade da água (FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE, 2006).

Segundo a Organização Pan-Americana de Saúde<sup>4</sup>(OPAS, 2014), milhões de pessoas morrem a cada ano de doenças transmitidas pela água e muitos mais

---

<sup>3</sup> Definida pela Política Nacional de Meio Ambiente, Lei 6938/81, como a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

- a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem estar da população;
- b) criem condições adversas;
- c) afetem desfavoravelmente a biota;
- d) afetem condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
- e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

<sup>4</sup> Organismo internacional de saúde pública, integrado às Nações Unidas. É o escritório regional para as Américas da Organização Mundial da Saúde (OMS).

sofrem com diversos tipos de patologias, na sua maioria, crianças com idades inferiores a cinco anos. A maioria destas doenças pode ser prevenida se melhorada a cobertura e a qualidade dos serviços de saneamento. O Quadro 1 evidencia as principais doenças relacionadas a água segundo Von Sperling (2014), e destas, pode-se destacar as de transmissão feco-oral, que resultam em diarreias e disenterias, que são a causa de morte de milhares de pessoas, em especial crianças e idosos, no mundo.

Quadro 1 – Doenças relacionadas com a água

Grupo de doenças	Formas de transmissão	Principais doenças	Formas de prevenção
Transmitidas pela via feco-oral	Organismo patogênico é ingerido	<ul style="list-style-type: none"> <li>● diarreias e disenterias, como a cólera e a giardíase;</li> <li>● febre tifóide e paratifóide;</li> <li>● leptospirose;</li> <li>● amebíase;</li> <li>● hepatite infecciosa;</li> <li>● ascaridíase (lombriga).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● proteger e tratar as águas de abastecimento e evitar o uso de fontes contaminadas;</li> <li>● fornecer água em quantidade adequada e promover a higiene pessoal, doméstica e dos alimentos.</li> </ul>
Controladas pela limpeza da água	A falta de água e a higiene pessoal insuficiente criam condições favoráveis para sua disseminação.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● infecções na pele e nos olhos, como a tracoma e o tifo relacionado com piolhos, e a escabiose.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● fornecer água em quantidade adequada e promover a higiene pessoal e doméstica.</li> </ul>
Associadas à água (uma parte do ciclo da vida do agente infeccioso ocorre em um animal aquático)	O organismo patogênico penetra pela pele ou é ingerido.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● esquistossomose</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● evitar o contato de pessoas com águas infectadas;</li> <li>● proteger mananciais;</li> <li>● adotar medidas adequadas para a disposição de esgotos;</li> <li>● combater o hospedeiro intermediário.</li> </ul>
Transmitidas por vetores que se relacionam com a água	As doenças são propagadas por insetos que nascem na água ou picam perto dela	<ul style="list-style-type: none"> <li>● malária;</li> <li>● febre amarela;</li> <li>● dengue;</li> <li>● filariose (elefantíase).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● combater os insetos transmissores;</li> <li>● eliminar condições que possam favorecer criadouros;</li> <li>● evitar contato com criadouros;</li> <li>● utilizar meios de proteção individual.</li> </ul>

Fonte: Heller e Moller (1995), adaptado de Cairncross e Feachem (1990) *apud* (VON SPERLING, 2014).

Nas Américas, a OPAS aponta os principais problemas relacionados ao abastecimento de água, sendo os mesmos voltados a:

- Instalação de abastecimento público ou abastecimento individual em mau estado, com deficiências nos projetos ou sem a adequada manutenção;
- Deficiência nos sistemas de desinfecção de água destinada ao consumo humano com especial incidência em pequenos povoados;
- Contaminação crescente das águas superficiais e subterrâneas por causa de deficiente infraestrutura de sistemas de esgotamento sanitário, ausência de sistema de depuração de águas residuárias urbanas e industriais e inadequado tratamento dos resíduos sólidos com possível repercussão no abastecimento de água em área para banhos e recreativistas, na irrigação e outros usos que interfiram na saúde da população. (FUNASA, 2006).

Diante disso, garantir o suprimento de água a população com qualidade que atenda ao estabelecido pela Portaria nº 2.914/2011<sup>5</sup> do Ministério da Saúde, tem se tornado uma tarefa cada vez mais difícil e onerosa. Em virtude da qualidade das águas dos mananciais, em especial os superficiais, o tratamento requer cada vez mais etapas, sendo que as essenciais são: a clarificação, que refere-se a retirada de sólidos em suspensão sedimentáveis e microrganismo (coagulação/ floculação/ decantação e filtração); e a desinfecção, que é a inativação de agentes patógenos.

Segundo o IBGE (2010), aproximadamente 12 milhões de residências no País não tem acesso à rede geral de abastecimento de água e essa problemática se torna mais significativa e crítica nas regiões Norte e Nordeste, onde cerca de 54,7% e 31,7%, respectivamente, encontram-se nessa situação. Milhões de pessoas sofrem com a falta de água em padrões adequados de potabilidade e com a quantidade necessária para atender suas necessidades diárias.

O alcance do abastecimento de água varia com a densidade populacional dos municípios. De acordo com o IBGE (2002), apenas 46% dos municípios, com até 20 mil habitantes estão ligados a rede geral, isto é, ao conjunto de tubulações interligadas e instaladas ao longo de vias públicas ou passeios, conduzindo a água

---

<sup>5</sup> Documento que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

aos pontos de consumo (moradias). Os municípios menores são os mais afetados pela carência de prestação de serviços de saneamento. Apresentam precariedade ainda maior quando estão situados em regiões onde a distribuição de água é mais crítica devido a falta de investimentos públicos ou privados e à deficiência no planejamento, implantação e operação da estação de tratamento de água (KUMOTO, 2012).

O aumento das demandas de água para consumo humano em quantidade e qualidade necessárias exige um planejamento bem elaborado pelos órgãos governamentais. Diante desse fato e da importância do saneamento ambiental, o governo federal lançou em 2007, o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), com a finalidade de contribuir para o crescimento acelerado e sustentável do país. O Programa previu investimento de bilhões de reais para o setor de saneamento, através de linhas de crédito do BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento), CEF (Caixa Econômica Federal) e OGU (Orçamento Geral da União). Em 2010, foi lançado o PAC-2, que teve como uma de suas finalidades a elaboração de projetos de infraestrutura em 6 eixos básicos, dentre eles o PAC Água e Luz para Todos, o que promoveu a universalização do acesso à água e à energia elétrica. O programa viabilizou financiamentos principalmente para pequenos municípios, e a instituição da cobrança pelo uso da água de algumas bacias hidrográficas.

Todos os aspectos científicos e de investimentos abordados comprovam a significativa importância do desenvolvimento dos serviços de saneamento básico no país. Atualmente, o grande desafio é ampliar o atendimento com esgotamento sanitário das cidades, ao mesmo tempo em que há a expansão dos sistemas de abastecimento de água para a zona rural e periferias, além das regiões de comunidades isoladas.

A Ilha do Rodeadouro, um complexo fluvial do Rio São Francisco, povoado situado entre Juazeiro (Bahia) e Petrolina (Pernambuco), não apresenta sistema de abastecimento de água. Cabe a população, desprovida de recursos financeiros, captar água do rio São Francisco e fazer ou não tratamento antes do consumo.

Essa é uma realidade presente em muitas localidades ribeirinhas do Semiárido Nordeste que não se encontram interligadas as sedes municipais.

Nesse sentido, este trabalho<sup>6</sup> tem como principal objetivo analisar a situação do sistema de abastecimento de água na localidade supracitada e apontar soluções de fornecimento de água tratada condizentes com a realidade socioeconômica da população. Para tanto, se fará uma análise exploratória da qualidade da água utilizada pela comunidade e posterior comparação dos valores obtidos com o indicado pela Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde; e a proposição de alternativas de abastecimento viáveis à partir da análise do abastecimento de água na localidade.

## 2 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Ilha fluvial do Rodeadouro é um povoado pertencente ao distrito de Junco, localizado entre os municípios de Juazeiro (BA) e Petrolina (PE) no submédio São Francisco e que dista 13 km da cidade baiana. A escolha da localidade se deu tendo em vista a importância socioeconômica do rio São Francisco para as comunidades ribeirinhas, e por esta ser uma das vertentes estudadas no Projeto Rio São Francisco: cultura, identidade e desenvolvimento. Essa região está inserida numa área essencialmente de agricultura irrigada e pecuária, sendo que é conhecida como o polo da fruticultura irrigada, com destaque ao cultivo para a exportação de manga, melão, melancia e uva (EMBRAPA, 2008). Igualmente se destaca a produção de vinhos e espumantes. O acesso ao povoado é exclusivamente fluvial e se dá pelo rio São Francisco.

A população residente na Ilha, aproximadamente 50 pessoas, tem como principal fonte de renda a exploração do potencial turístico da localidade. Nos finais de semana, em especial no período de férias, a comunidade recebe aproximadamente 2 mil pessoas que desfrutam da paisagem natural, da prática de esportes aquáticos tais como canoagem e *jet ski*, além da infraestrutura das barracas que servem comidas e bebidas típicas regionais.

As barracas passaram por um processo de padronização realizado pela Prefeitura de Juazeiro enquanto que a energia elétrica provém de Petrolina. Não existe sistema de abastecimento de água na localidade e o destino do esgoto

---

<sup>6</sup> Este projeto foi desenvolvido no âmbito do Projeto Rio São Francisco: cultura, identidade e desenvolvimento, através de convênio firmado entre a Universidade Salvador – UNIFACS, o Albright College (EUA) e o Programa Companheiros das Américas Comitê Bahia/Pennsylvania.

sanitário são fossas sépticas. O lixo é coletado periodicamente por embarcações e é destinado ao lixão de Juazeiro.

As famílias vivem em suas barracas e são as responsáveis pela captação e tratamento da água. Cada um deles tem uma bomba que capta água diretamente do rio São Francisco e através de tubos de PVC enchem as caixas d'água. Em entrevista realizada em setembro de 2014, durante levantamento de campo, pôde-se verificar que a maioria das pessoas realiza desinfecção com hipoclorito de sódio, mas de forma aleatória, sem períodos e quantidades pré-definidas. Algumas ainda relataram a preferência em comprar água mineral para o consumo. Os alimentos tanto da população residente quanto dos turistas são preparados com a água das caixas d'água. A localidade não tem escola, tampouco posto médico, em caso de qualquer emergência médica os moradores são obrigados a se deslocar até Juazeiro.

A região compreendida entre os municípios de Petrolina e Juazeiro está inserida no Sertão do São Francisco. Apresenta clima muito quente, semiárido e árido, com estação chuvosa entre novembro e abril, apresentando precipitação anual entre 400 e 600 mm e alta evapotranspiração, 3000 mm, decorrente das altas temperaturas (média de 27º) (EMBRAPA, 2008). O semiárido caracteriza-se ainda pela alta insolação e baixa umidade relativa do ar, com vegetação predominantemente do tipo Caatinga Hiperxerófila e apresenta relevo pouco acidentado com vales muito abertos (MME, 2005).

Faz ainda parte da unidade geoambiental da Depressão Sertaneja do São Francisco e encontra-se predominantemente numa área de estrutura geológica do Pré-Cambriano onde ocorre com frequência a inclusão de: granitos, anfíbolitos, micaxistos, quartzitos e pequenas áreas sedimentares acompanhando os cursos d'água. Em muitos locais essas rochas tem um recobrimento pedimentar por materiais arenosos, areno-argilosos, argilo-arenosos e material macrolástico (principalmente concreções ferruginosas e seixos de quartzo). Os solos mais comumente encontrados são: argissolos vermelho-amarelos e amarelos e em menores proporções latossolos vermelho-amarelos, neossolos e planossolos (EMBRAPA, 2005).

A vazão do rio São Francisco nesta localidade depende do volume de água que é liberado das comportas da barragem de Sobradinho. Segundo Souza, Silva e

Lyra (2013), a usina tem liberado descargas de 1.300 m<sup>3</sup>/s. O relevo na localidade é pouco acidentado, não apresentando grandes elevações e depressões.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Análise de qualidade da água

O desenvolvimento metodológico do presente estudo envolveu pesquisa do tipo exploratória, com colaboração de um pesquisador participante em um estudo de caso na localidade da Ilha do Rodeadouro, povoado de Juazeiro, no submédio São Francisco. As técnicas utilizadas foram levantamento bibliográfico e documental, realização de fichamentos e resumos, além da construção de acervo fotográfico.

Juntamente com a visita técnica em campo, foram coletadas amostras de água no ponto de captação e na saída de um dos reservatórios desta referida localidade, para análises dos principais parâmetros de qualidade da água, comparando os resultados com os valores estabelecidos pela Portaria nº 2.914/2011. Tais parâmetros avaliados foram os físico-químicos: pH, turbidez, cor aparente, total de sólidos dissolvidos e condutividade elétrica, bem como, os biológicos: coliformes totais e *Escherichia coli*.

A amostra de água fluvial foi coletada na margem direita do rio São Francisco, no mesmo local utilizado por parte da população ribeirinha para o próprio abastecimento de água da comunidade, utilizando um amostrador pontual de estágio simples.

As coletas das amostras de água para as análises microbiológicas também foram realizadas nos mesmos pontos de coletas descritos anteriormente. Para a amostra coletada no registro do reservatório, a área externa da saída de água foi esterilizada com álcool 70%, e após 3 minutos de fluidez da referida água (Silva *et al.* 2005). Todas as amostradas foram acondicionadas em frascos de polietileno e mantidas sob refrigeração a 4 °C até o momento das análises, as quais foram processadas respectivamente nos Laboratórios de Química Orgânica e de Biologia da Universidade Federal da Bahia (UFBA) e no Núcleo de Estudos Ambientais do Instituto de Geociências também da UFBA.

A determinação da DBO<sub>5,20</sub> para as amostras de água foi realizada de acordo com procedimento descrito no *Standard Methods for Examination of Water and*

*Wastewater* (2012), o qual envolveu a medida das concentrações de oxigênio dissolvido, antes e após o período de incubação de 5 dias a 20 °C.

A medida da DBO foi realizada conforme expressado na Equação 1:

$$DBO (mg L^{-1}) = (ODi - ODf) . F \quad (1)$$

onde,

*F* é o inverso do fator de diluição; *ODi* é o oxigênio dissolvido inicial; *ODf* é o oxigênio dissolvido final.

Para a avaliação dos coliformes totais e termotolerantes utilizou-se a técnica do número mais provável (NMP), de acordo com o sugerido por Buzanello *et al.* (2008).

Os principais parâmetros físico-químicos das águas do rio São Francisco na região da captação da linha de abastecimento da comunidade ribeirinha, bem como de um dos reservatórios que atende a mesma, foram medidos em ambiente de campo, logo após a realização das amostragens utilizando sonda multiparâmetros. Após essa etapa, todas as amostras foram mantidas sob refrigeração a 4 °C até posteriores análises.

Em ambiente de laboratório as amostras foram primeiramente filtradas para determinação dos sedimentos finos em suspensão por gravimetria, de acordo com sugerido por Edmond (1970) & Meade (1985). Segundo Ferraz (2002), Souza & Knoppers (2003) e Mortatti & Probst (2012), os sedimentos finos em suspensão representam em qualquer situação hidroclimática (sazonalidade) boa representatividade dos sedimentos sólidos totais em suspensão (SST) nas águas fluviais. Probst & Bazerbachi (1986) e Meybeck *et al.* (2005) salientam que este parâmetro representa em média, para a maioria dos rios do mundo, entre 85 e 95% dos SST.

Para determinação da concentração dos sedimentos finos em suspensão, cerca de 300 mL das amostras de água fluvial brutas da captação e reservatório foram filtradas em membranas de celulose 0,45 µm e 47 mm de diâmetro, pré-pesadas anteriormente, após secagem em estufa com circulação de ar forçada a 60°C até peso constante. Após a etapa de filtração, o conjunto composto pelo filtro e pelo sedimento contido nos respectivos filtros foi novamente destinado ao processo de secagem (estufa a 60°C) por 24 horas e mantido em dessecador com sílica gel por mais 48 horas para estabilização, sendo novamente pesado. A concentração

dos sedimentos em suspensão foi então determinada pela Equação 2, conforme método gravimétrico sugerido por Meade (1985):

$$C = (C_{sed. final} - C_{sed. inicial}) / Volume \quad (2)$$

sendo,

C a concentração da amostra; C<sub>sed. Final</sub> e inicial as respectivas concentrações dos sedimentos final e inicial, após realização do processo de pesagem.

A alcalinidade nas amostras foi determinada pelo método MEA 007 (Relatório de Validação de Métodos do Núcleo de Estudos Ambientais), seguindo as recomendações preconizadas no *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater*.

As principais espécies químicas inorgânicas dissolvidas foram analisadas quimicamente em termos dos íons majoritários  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $NH_4^+$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $PO_4^{3-}$  e  $NO_3^-$ , em triplicata, por cromatografia iônica, utilizando-se o equipamento IC Compact Plus 882. Para o presente estudo, os limites de detecção estabelecidos para as amostras do rio São Francisco e reservatório foram de 0,001 e 0,0025 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente, para os cátions e ânions analisados. Já com relação ao limite de quantificação, que se encontra estabelecido na literatura como sendo a razão 10:1 (RIBANI *et al.*, 2004), os valores adotados para o presente estudo foram de 0,01 e 0,025 mg L<sup>-1</sup>.

As concentrações dos metais potencialmente tóxicos, em específico *Cd*, *Pb*, *Cr*, *Co*, *Cu*, *Ni*, *Al*, *Fe* e *Mn* foram determinadas por espectrometria de absorção atômica com forno de grafite (GFAA) de alta resolução com fonte contínua em um espectrômetro de absorção atômica modelo ContrAA 700 (Analytik Jena), operando no modo chama (composta de ar-acetileno). Para tal foram estabelecidas curvas analíticas de calibração do equipamento de 0,005, 0,01, 0,05, 0,1 e 0,5 mg L<sup>-1</sup> para todos os analitos. Os limites de detecção são para: *Pb* 5 µg L<sup>-1</sup>, *Cd* 0,2 µg L<sup>-1</sup>, *Cr* 3 µg L<sup>-1</sup>, *Co* 2 µg L<sup>-1</sup>, *Cu* 5 µg L<sup>-1</sup> e *Ni* 5 µg L<sup>-1</sup>.

### 3.2 Sistema de abastecimento de água

Os parâmetros de projeto adotados para o dimensionamento do sistema podem ser vistos na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1 – Critérios de Projeto

Critérios de Projeto	Valores	Fonte
Coeficiente do dia de maior consumo - $K_1$	1,2	Tsutiya (2013)
Coeficiente da hora de maior consumo - $K_2$	1,5	Tsutiya (2013)
Consumo per capita (L.(hab.dia) <sup>-1</sup> )	100	Funasa (2006)
Período de Projeto (anos)	20	Tsutiya (2013)
População de projeto (hab)	50	-
População flutuante (hab)	2000	-
Método para previsão populacional	Geométrico	-
Tempo de funcionamento (h.dia <sup>-1</sup> )	24	Di Bernardo (1999)
Taxa de filtração do filtro lento (m <sup>3</sup> .(m <sup>2</sup> .dia) <sup>-1</sup> )	6	NBR 12.216/1992

Fonte: O Autor, 2014.

Segundo Tsutiya (2013), o período de projeto varia entre 20 e 30 anos, sendo o mais usual no Brasil o primeiro valor, logo, foi adotado o período de 20 anos. A partir desse dado foi possível fazer uma estimativa populacional tomando como base o método geométrico e a taxa de crescimento ( $K_g$ ) de 1,07% por ano, para o Nordeste brasileiro (IBGE, 2010). Esse método foi escolhido em decorrência de não haver um histórico de populações.

Assim, a partir da Equação 3 a seguir, foi possível obter a população residente de 62 pessoas ( $P_t$ ) para o ano de 2034, considerando que a população atualmente é de 50 pessoas ( $P_0$ ).

$$P_t = P_0 \cdot e^{K_g(t-t_0)} \quad (3)$$

A população flutuante na localidade, aproximadamente 2 mil pessoas por final de semana, tem características peculiares, é constituída por excursionistas, uma vez que não chegam a pernoitar e têm o consumo de água apenas para o cozimento de alimentos, lavagem de mãos e para o acionamento de dispositivos sanitários. Decorrente disso, para fins de cálculo adotou-se um acréscimo de 25% sobre as vazões e volumes encontrados para a população residente, tendo em vista que o consumo para o cozimento de alimentos, lavagem de mãos e acionamento de dispositivos sanitários são 5L, 5L e 15 L respectivamente, de acordo com as estimativas de consumos domésticos sugeridos por Gomes, 2006 *apud* Kumoto, 2012 na Tabela 2.

Levando-se em conta os custos, disponibilidade de material, a área de implantação, mão de obra e o tempo necessário à construção da estação de tratamento; optou-se pela utilização de tanques de polietileno de geometria circular para todas as etapas de tratamento.

Tabela 2 – Estimativas de consumos domésticos

Uso doméstico	L.(hab.dia) <sup>-1</sup>
Bebida e cozinha	10 a 20
Lavagem de roupa	10 a 20
Banho e lavagens de mãos	25 a 55
Instalações sanitárias	15 a 25
Outros usos	15 a 30
Perdas e desperdícios	25 a 50
Total	100 a 200

Fonte: Gomes, 2006, *apud* Kumoto, 2012.

A vazão de captação é dada pela Equação 4 (TSUTIYA, 2013), na qual consta a vazão necessária para a limpeza das unidades da estação de tratamento.

$$Q = \frac{k1. P. q. Ceta}{86400} \quad (4)$$

Todas as unidades de tratamento foram definidas a partir da vazão de captação e do dimensionamento da unidade de filtração lenta, que teve sua área definida pela Equação 5

$$A = \frac{Qd}{t} \quad (5)$$

Não havendo testes em escala piloto, as taxas de filtração foram definidas seguindo orientação da NBR 12.216/92. Definidas essas taxas, o tempo de filtração de cada unidade foi subsequentemente determinado.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme observado anteriormente no item 3.1, o estudo dos parâmetros físicos e químicos das águas fluviais do rio São Francisco (no trecho do submédio) e de um dos reservatórios do povoado da Ilha do Rodeadouro foram importantes para o norteamento do projeto da estação de tratamento de água proposto para a comunidade. Ressalta-se, no entanto, que este levantamento dos principais parâmetros ambientais de qualidade da água da região foi realizado em apenas uma

campanha feita no dia 02 de setembro de 2014, referente a um período de pouca contribuição atmosférica (estiagem), tendo, portanto, caráter estritamente exploratório. Dessa forma, para uma eficiente avaliação de tais parâmetros, foi necessária uma ampla revisão dos mesmos na literatura, evidenciando aspectos comparativos em termos de concentração e, quando possível, da variação dinâmica dos parâmetros nos períodos de estiagem e de fortes chuvas.

Conforme pode ser observado, os principais parâmetros físico-químicos obtidos tanto para as amostras de águas fluviais do rio São Francisco quanto para o reservatório não apresentaram diferenças significativas, mostrando pouca influência do processo de reservação da água utilizada por parte da referida comunidade.

De uma forma geral, foi possível verificar que os valores de pH em ambos os pontos de amostragem estiveram próximos a neutralidade ou ligeiramente alcalinos com valores de 7,2 e 7,9, respectivamente, para as amostras de água do rio São Francisco e do reservatório. O valor de pH obtido para o rio São Francisco se mostrou similar ao obtido pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), próximo de Petrolina (distante cerca de 20,5 km do ponto estudado) que apresentou para água bruta valor de 8,4, sendo essa diferença possivelmente associada a dinâmica de aportes de espécies orgânicas e inorgânicas oriundas dos despejos de efluentes dos municípios de Petrolina e Juazeiro e também da litologia da referida região (presença de carbonatos e bicarbonatos), sendo que todos esses aspectos podem culminar em uma maior liberação de sais nas águas fluviais deixando-as mais alcalinas (Probst & Bazerbach, 1986; Probst & Nkounkou, 1992; Mortatti & Probst, 2012).

O Oxigênio Dissolvido (OD) ficou dentro do recomendado para a sustentabilidade da vida aquática, apresentando valores respectivamente para o rio São Francisco e reservatório de 6,9 e 6,1 mg.L<sup>-1</sup>. A resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005 exige que o OD seja igual ou acima de 5,0 mg L<sup>-1</sup>.

A condutividade elétrica também apresentou baixa variação entre as duas amostragens realizadas no presente estudo, porém se mostrou ligeiramente mais concentrada no reservatório com valor de 96,4 µS cm<sup>-1</sup> do que no curso d'água estudado o rio São Francisco, que apresentou 89,7 µS cm<sup>-1</sup>. Mesmo assim, ambos os resultados se mostraram aproximadamente 1,5 vezes superiores ao monitoramento realizado pela COMPESA, que em um monitoramento realizado em

fevereiro de 2014 apresentou valor de  $54,6 \mu\text{S cm}^{-1}$ . Tais aumentos na quantidade de sólidos dissolvidos nas águas fluviais observados no presente estudo podem estar associados ao período de pouca contribuição atmosférica, onde possivelmente ocorreu concentração dos sais na água (Porto, 1991; Mortatti *et al.*, 2012; Vendramini *et al.*, 2013). É importante ressaltar que devido a falta de estudos na região e não contemplação de valores de condutividade elétrica ao longo dos meses do ano de 2014, outras comparações para esse parâmetro com trabalhos da literatura não foram possíveis de ser realizadas.

No entanto, dados obtidos pela COMPESA em fevereiro de 2014 permitiram evidenciar um aspecto comum que ocorre na dinâmica de sais dissolvidos nas águas fluviais do rio São Francisco. Tal valor de condutividade elétrica inferior pode ter ocorrido devido a um período de maior influência de aportes atmosféricos, onde em função do maior volume de água, provenientes da estação chuvosa, as concentrações dos sais dissolvidos nas águas fluviais podem ter sofrido processo de diluição. Já o oxigênio dissolvido variou pouco entre as duas amostragens, mas se mostrou maior no curso d'água, com  $7,9 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ , do que no reservatório, com  $6,1 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ , sendo essa diferença possivelmente associada a maior possibilidade de troca gasosa entre atmosfera e superfície da água.

Outros parâmetros físicos como cor e turbidez também foram analisados no presente estudo e, de mesma forma, apresentaram pouca variabilidade entre curso d'água e reservatório, os quais se mostraram da ordem de 14,0 e 11,0, em termos de unidades de Cor (uC) e de 11,0 e 9,0, em termos de unidades de Turbidez (uT), respectivamente. Tais valores observados no presente estudo se mostraram muito inferiores aos observados pela COMPESA, os quais foram de 123,0 (uC) e 28,3 (uT), sendo que esses dados são relativos também a fevereiro de 2014. Esses maiores valores podem estar relacionados ao aspecto comum de maior aporte de material inorgânico e orgânico (Vendramini *et al.*, 2014) provenientes dos processos erosivos mecânicos, via escoamentos superficiais nas regiões estudadas.

A composição química das águas do rio São Francisco e do reservatório também foram avaliadas sob o aspecto de evidenciar a qualidade ambiental de seus parâmetros e propor possíveis medidas mitigadoras para o tratamento da mesma. Nessa etapa do projeto, foram avaliados os principais cátions e ânions ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  e  $\text{NO}_3^-$ ) e os metais mais potencialmente tóxicos

(Cd, Pb, Cr, Co, Cu, Ni, Al, Fe, Mn). De uma maneira geral, as análises químicas das amostras realizadas em triplicata apresentaram erros inferiores a 5%. A Tabela 3 mostra os resultados analíticos das concentrações dos principais cátions e ânions presentes nas águas do rio São Francisco e no reservatório, obtidas para o dia 02 de setembro de 2014 durante a campanha exploratória de avaliação da área de estudo e determinadas por cromatografia iônica.

Tabela 3 – Resultados analíticos dos principais cátions e ânions dissolvidos na água do rio São Francisco e no Reservatório da comunidade do Ilha do Rodeadouro, referente ao dia 02/09/2014.

Espécies químicas	Rio São Francisco (mg L <sup>-1</sup> )	Reservatório
Ca <sub>2</sub> <sup>+</sup>	3,66	3,47
Mg <sub>2</sub> <sup>+</sup>	1,14	0,85
Na <sup>+</sup>	3,89	1,59
K <sup>+</sup>	0,62	0,66
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	n.d.	n.d.
Cl <sup>-</sup>	2,36	1,36
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,14	0,14
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1,60	1,06
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,09	0,09
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	18,74	15,44

n.d. = concentrações abaixo do limite de detecção

O nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) foi convertido para N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, o qual apresentou valor de 0,03 mg L<sup>-1</sup> para ambas as águas analisadas.

Assim como observado para os parâmetros devidamente físicos, os parâmetros químicos estudados no presente projeto também não diferenciaram significativamente, em termos de concentrações das espécies químicas, quando observados para as águas do rio São Francisco e do reservatório. Dessa forma, pode-se inferir que uma avaliação mais detalhada desses parâmetros de caráter ambiental deva ser realizada mais especificamente para o rio São Francisco, uma vez que o mesmo servirá de base para o atendimento da demanda de abastecimento para a referida população.

A caracterização química inorgânica das águas do rio São Francisco se mostrou bastante variável, apesar das baixas concentrações, onde HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>

(determinado por método titulométrico) e o  $\text{Cl}^-$  foram os ânions principais, com 18,74 e 2,36  $\text{mg L}^{-1}$ , enquanto que os cátions mais importantes foram  $\text{Na}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$ , com 3,89 e 3,66  $\text{mg L}^{-1}$ , respectivamente. As concentrações de  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Na}^+$ , dois dos principais íons observados em águas fluviais superficiais, decorrentes de fontes diversas como de intemperismo de rochas (para  $\text{Na}^+$ ), de despejos de esgotos brutos domésticos e atividades agrícolas (Vendramini et al., 2014), se mostraram abaixo do limite máximo permissível estabelecido pela Portaria 2.914/2011, a qual estabelece valores respectivos de 5  $\text{mg L}^{-1}$  para  $\text{Cl}^-$ , e de 200  $\text{mg L}^{-1}$  para  $\text{Na}^+$ .

Os íons  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{Ca}^{2+}$  são duas importantes espécies químicas em águas fluviais superficiais (Vendramini et al., 2013), que podem ser liberadas de processos de hidrólise ou dissolução de rochas silicatadas e carbonatas e também, no caso somente do  $\text{HCO}_3^-$ , de despejos de esgotos domésticos sem nenhum tratamento (Mortatti et al., 2012). Ambos os íons não possuem valores máximos permissíveis estabelecidos pela Portaria citada acima, sendo que o referencial para evidência de possíveis contaminações em ambientes fluviais, nesse caso, se deu apenas pela revisão de literatura de monitoramentos realizados na própria bacia do submédio do rio São Francisco.

De acordo com Mortatti *et al.* (2012), além do aporte de  $\text{HCO}_3^-$  em águas fluviais por meio de fontes agrícolas e intemperismo de rochas, o mesmo pode ser uma importante fonte em cursos d'água por degradação da matéria orgânica decorrente dos efluentes, via intermédio do sulfato.

O valor encontrado no presente estudo nas águas fluviais se mostraram menores para  $\text{Ca}^{2+}$  em relação ao observado pela COMESA (6,2  $\text{mg de Ca}^{2+} \text{ L}^{-1}$ ). Para  $\text{HCO}_3^-$ , o valor observado no presente estudo se mostrou duas vezes superior ao mesmo, sendo que essa discrepância pode estar associada ao período de coletas. De acordo com (Mortatti & Probst, 2012) no período sem muitas contribuições atmosféricas (estiagem), em função do baixo volume de água, geralmente ocorre maior concentração do íon avaliado.

É importante ressaltar que as evidências das concentrações abordadas nesse trabalho são de caráter apenas exploratório, no sentido de averiguar possíveis valores discrepantes entre as estações chuvosas e de estiagem, uma vez que a proposta do tratamento de água para abastecimento da comunidade em questão dependerá de tais observações. Salientamos ainda que uma averiguação mais

apropriada, obtendo-se dados de concentrações e relacionando-se com as respectivas vazões dos dias de amostragens ao longo de alguns anos seria a forma mais correta e ideal para a requerida avaliação. No entanto, a região de estudo não apresenta registros bibliográficos suficientes em termos temporais para tal procedimento, sendo necessário buscar informações pontuais que completassem as informações de pesquisa de campo.

A Tabela 4 apresenta os resultados analíticos das concentrações dos metais potencialmente tóxicos avaliados para as águas do rio São Francisco e também no reservatório, obtidos para o dia 02 de setembro de 2014 durante a campanha exploratória de avaliação da área de estudo e determinadas por espectrometria de absorção atômica com forno de grafite.

Tabela 4 – Resultados analíticos das concentrações dos metais potencialmente tóxicos avaliados para as águas do rio São Francisco e no reservatório.

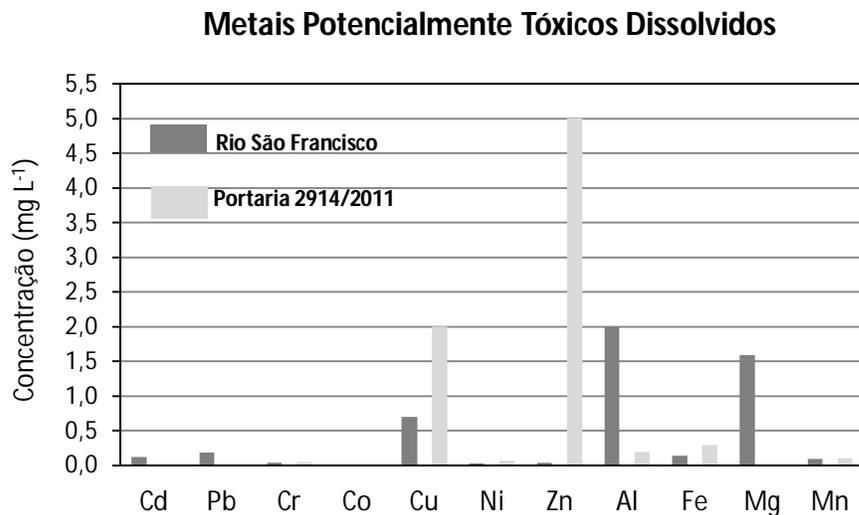
<b>Metais</b>	<b>Rio São Francisco (mg L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Reservatório</b>
Cd	0,122	0,122
Pb	0,19	0,19
Cr	0,04	0,04
Co	n.d.	n.d.
Cu	0,7	0,7
Ni	0,032	0,032
Zn	0,040	0,040
Al	1,986	1,986
Fe	0,135	0,135
Mg	1,597	1,597
Mn	0,092	0,092

n.d. = concentrações abaixo do limite de detecção

Para facilitar a visualização e a importância de cada um dos metais dissolvidos analisados no referido curso d'água, as concentrações foram dispostas em um gráfico, conforme pode ser observado na Figura 1, juntamente com os valores máximos e permitidos pela Portaria 2.914/2011.

Conforme evidenciado para os principais cátions e ânions majoritários, os metais considerados para discussão do presente estudo foram os referentes aos determinados nas águas fluviais do rio São Francisco.

Figura 1 – Concentrações dos elementos (metais) potencialmente tóxicos determinados para o ponto de amostragem do rio São Francisco (Submédio) para o dia 2 de setembro de 2014.



Fonte: os autores

De forma geral, apenas três elementos se mostraram superiores aos limites exigidos pela referida portaria, sendo que Cd e Pb se apresentaram apenas ligeiramente superiores com valores de 0,122 e 0,190 mg L<sup>-1</sup>, contra 0,005 e 0,010 mg L<sup>-1</sup> recomendados pela Portaria 2.914/2011. O caso mais expressivo se mostrou para o metal Al<sup>3+</sup>, o qual se mostrou da ordem de dez vezes (1,986 mg L<sup>-1</sup>) superior ao recomendado pela referida portaria (0,200 mg L<sup>-1</sup>). Esse valor observado no presente estudo se mostrou ligeiramente superior ao verificado pela COMPESA em fevereiro de 2014, em meio à estação chuvosa, o qual se mostrou da ordem de 1,118 mg L<sup>-1</sup>. Esse aporte de Al<sup>3+</sup> nas águas fluviais, apesar de se apresentar em baixa concentração, pode estar associado ao material de origem inorgânico da área de característica predominante agrícola, que atinge o corpo hídrico via escoamentos superficiais.

Em função também da falta de estudos desse tipo na região, não foi possível verificar categoricamente a ocorrência desse metal em diferentes níveis de concentrações. As demais espécies químicas se mostraram abaixo dos limites máximos permitidos e evidenciados na Portaria 2.419/2011. Contudo, dentro das evidências levantadas no presente estudo e de acordo com observado na literatura, foi possível verificar pouca ocorrência de sais dissolvidos e tampouco de metais potencialmente tóxicos nos períodos estudados, mostrando assim pouca

necessidade de se estabelecer um amplo e complexo sistema de tratamento de água que removesse tais micros e macros nutrientes.

Os sedimentos em suspensão, determinados no presente estudo pela metodologia descrita no item 3.1, apresentou valor de unitário  $11,4 \text{ mg L}^{-1}$ . Apesar da realização de apenas uma amostragem das águas fluviais do rio São Francisco, foi possível observar que esse valor esteve na mesma ordem de grandeza do valor médio observado por Medeiros *et al.* (2010) de  $4,8 \text{ mg L}^{-1}$  para os meses de julho e agosto de 2004 e cerca de quatro vezes maior que o valor médio evidenciado no período setembro e dezembro do mesmo ano ( $3 \text{ mg L}^{-1}$ ). Esses mesmos autores evidenciaram valor médio da ordem de  $369 \text{ mg L}^{-1}$  de sedimentos para o período entre janeiro e fevereiro (também de 2004), mostrando o forte poder de arraste de material particulado para dentro do canal fluvial, possivelmente via processos erosivos.

Essas baixas concentrações nos meses de maior estiagem também foram verificadas por Silva (2007), em estudo do Baixo São Francisco, onde foram observados valores de  $2,55$  e  $2,88 \text{ mg L}^{-1}$ , em termos de médias mensais, para os respectivos meses.

Esses dados de sedimentos em suspensão observados na literatura foram importantes especialmente no que diz respeito à magnitude da variabilidade e do aumento expressivo desse parâmetro ao longo dos meses do referido ano, o que permitiu inferir na necessidade da consideração de tais aumentos, antes da constituição das bases do projeto de tratamento de água para abastecimento da comunidade da Ilha do Rodeadouro.

A Demanda Bioquímica de Oxigênio ( $\text{DBO}_{5,20}$ ) é um indicador que determina de forma indireta a concentração de matéria orgânica biodegradável, através da quantidade de oxigênio utilizada por microrganismos no processo de respiração. A medida desse parâmetro procura retratar em laboratório o fenômeno que acontece no corpo d'água.

No presente estudo, os resultados para esse parâmetro foram de  $2,6$  e  $3,0 \text{ mg L}^{-1}$ , respectivamente, para o Rio São Francisco e reservatório, sendo que ambos se mostraram ligeiramente superiores ao observado por Filho *et al.* (2012) de  $1,0 \text{ mg L}^{-1}$  e abaixo do limite estabelecido da resolução CONAMA 357/2005 de  $\leq 5,0 \text{ mg L}^{-1}$ . Já em termos de coliformes totais e termotolerantes o rio São Francisco e o reservatório

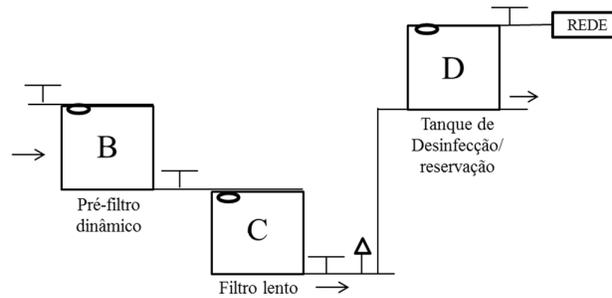
também não se mostraram preocupantes, no que se refere a possíveis valores acima dos máximos permitidos pela mesma resolução, com valores de  $4,5 \times 10^2$  para ambos, nas águas fluviais do rio São Francisco, e de  $6,2 \times 10^2$  e  $3,9 \times 10^2$  para os mesmos no reservatório.

Tendo em vista os resultados obtidos a partir das análises de parâmetros físico-químicos e biológicos da água do rio São Francisco na localidade da Ilha do Rodeadouro, o sistema de abastecimento proposto foi composto pelas etapas de captação flutuante com peneiramento; estação compacta de tratamento de água, que engloba as etapas de clarificação, filtração e desinfecção; reservação.

Ressalta-se que a proposição das etapas do sistema, em especial a de tratamento, teve como principal aspecto a necessidade de adequação às condições socioeconômicas da comunidade, uma vez que a mesma é desprovida de recursos financeiros e será a responsável pela construção e manutenção do mesmo. A estação compacta de tratamento proposta deverá funcionar por fluxo descendente, seguindo o princípio dos vasos comunicantes, com um pré-filtro dinâmico de antracito e seixos, filtro lento de areia e manta sintética não-tecida seguido de clorador e tanque de desinfecção, conforme pode ser visto na Figura 2 abaixo.

Prevê-se também a construção de um tanque de decantação que será adicionado ao sistema e funcionará apenas nos períodos de chuva, quando a água apresenta maior turbidez e cor, e trabalhará por batelada, servindo também para as etapas de coagulação e floculação (ver Figura 3). A medida supracitada visa à adequação da água bruta ao processo de filtração lenta a fim de garantir a eficiência do filtro lento de areia.

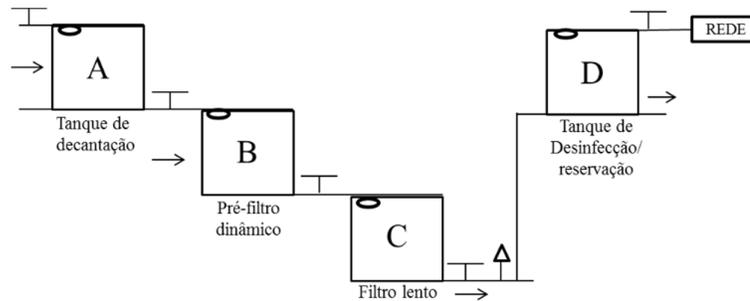
Figura 2 - Esquema da estação compacta de tratamento



- Legenda:
- Boia
  - ┌ Válvula
  - Caminho da água
  - △ Clorador

Fonte: o autor, 2014.

Figura 3 - Esquema da estação compacta de tratamento com a unidade de decantação



- Legenda:
- Boia
  - ┌ Válvula
  - Caminho da água
  - △ Clorador

Fonte: o autor, 2014.

A captação de água será do tipo de tomada d'água flutuante para que o sistema acompanhe a diferença de nível d'água durante o período de cheias. Será composta por uma plataforma de madeira ancorada, presa à dois galões de polietileno de 50 L, que funcionarão como flutuadores. Será fixada uma bomba submersa que levará água até a estação compacta de tratamento.

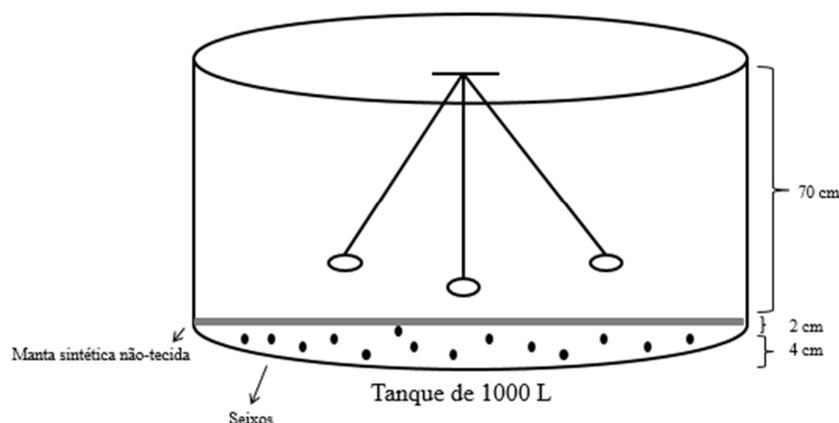
A partir da Equação 4 do item 3.2, foi obtida a vazão de captação até a estação compacta de tratamento que será de  $0,73 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , em processo de adução contínua pelo período de 24 h. Com base nos parâmetros físico-químicos e biológicos da água do manancial optou-se por realizar as etapas de clarificação,

filtração e desinfecção para atender à qualidade exigida pela Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde.

O processo de clarificação da água consiste na retirada de sólidos em suspensão sedimentáveis e microrganismos (bactérias, fungos, vírus, protozoários dentre outros), responsáveis pela turbidez e cor (DI BERNARDO; BRANDÃO; HELLER, 1999). O rio São Francisco na localidade tem suas vazões controladas pela barragem de Sobradinho, mas ainda assim, nos períodos de chuva há alteração nos volumes de água e conseqüentemente dos seus parâmetros físico-químicos, em especial a turbidez, fazendo-se necessária a previsão desses eventos.

Para tanto, como medida de segurança, o sistema proposto apresenta uma unidade de coagulação/ flotação/ decantação (Figura 4) que trabalhará por batelada: primeiramente ocorrerá o enchimento do tanque (1000 L), com área de 1,23 m<sup>2</sup>, seguido pela inserção do agente coagulante natural, agitação rápida por 5 min (coagulação), seguida por agitação lenta de 15 min para a formação dos flocos (floculação) que irão decantar por 2 h (decantação), o que determina um tempo total de 2h e 20 min para a finalização da etapa. O tanque terá hélices presas à tampa, que serão responsáveis pela mistura da água e uma camada suporte de seixos de 4 cm, coberta com uma de manta sintética não-tecida de 2 cm, que facilitará a limpeza.

Figura 4 – Modelo de tanque decantador proposto no presente estudo para eliminar partículas em suspensão no período de intensas chuvas



Fonte: o autor

O agente coagulante, de origem vegetal, resulta da maceração de sementes da *Moringa Oleífera*, também conhecida com “lírio branco”. É uma planta, de origem indiana, com altos teores de valor alimentar (proteínas e lipídeos) e medicinal que se

adapta facilmente a diferentes climas tais como subtropicais secos e até florestas úmidas (GALLÃO; DAMASCENO; BRITTO, 2006). É resistente a seca, logo, de fácil cultivo em regiões com climas quentes e secos, a exemplo do semiárido nordestino.

Optou-se pela utilização do coagulante natural, uma vez que pode ser preparado no próprio local e quando comparados aos químicos, a exemplo do sulfato de alumínio, estão disponíveis a preços acessíveis (PATERNIANI, MANTOVANI, SANT'ANNA, 2009) e ainda segundo Gallão, Damasceno, Britto (2006) pode-se acrescentar a essas vantagens: as de que não alteram significativamente o pH e a alcalinidade da água após o tratamento e não causam problemas de corrosão.

A propriedade coagulante da *Moringa oleífera* deve-se ao fato da presença de proteínas catiônicas de alto peso molecular, solúveis em água, que tem como principal função a adsorção e neutralização de cargas (GALLÃO; DAMASCENO; BRITTO, 2006).

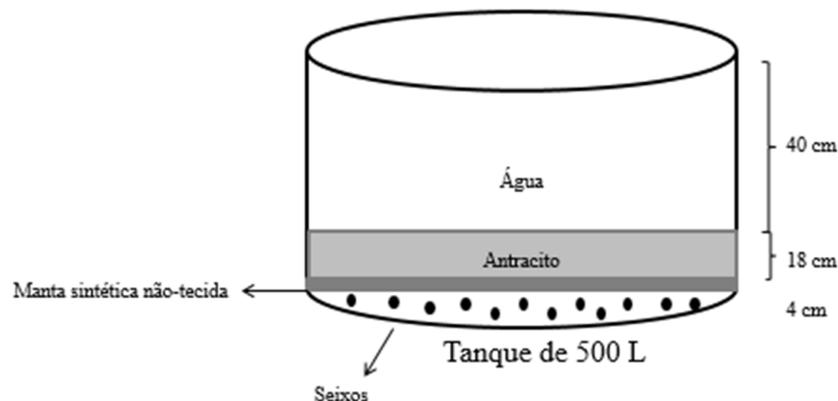
Segundo Ribeiro (2010), as sementes são utilizadas em forma de extrato – quando são maceradas e o pó é adicionado à água destilada (extração aquosa), passando por elevada agitação e filtração. Estudos revelam que quanto maior a turbidez da água bruta a ser tratada maior deverá ser a concentração do coagulante empregado; e que o único fator que altera a eficiência do coagulante é o tempo de armazenamento, uma vez que ocorre a biodegradação (PATERNIANI, MANTOVANI, SANT'ANNA, 2009). Uma possível solução para retardar a degradação do extrato seria o emprego da técnica de extração em solução salina, mas por tratar-se de um sistema em que a população será a responsável pela construção e manutenção, recomenda-se o uso da extração aquosa (mais simples), sendo que deve ser preparada no mesmo dia do uso. Em estudos realizados em laboratório, Lo Monaco *et al.* (2010), indicou que a concentração de 0,4 g.L<sup>-1</sup> do extrato para um tempo de sedimentação de 2h que proporciona em média a remoção de turbidez em até 98% . A vazão efluente desse tanque seguirá para a etapa de filtração.

Para a etapa de filtração propõe-se um sistema de filtro lento com meio filtrante de areia e manta sintética não-tecida. A escolha pelo sistema de filtração lenta se dá tendo em vista suas vantagens, tais como: simples construção; baixo custo de manutenção, que não requer mão-de-obra especializada e baixo consumo energético.

A eficiência da filtração lenta é substancialmente afetada pela turbidez da água bruta, pois tal parâmetro reflete a quantidade de partículas pequenas presentes na água, às quais muitos microrganismos encontram-se aderidos (DI BERNARDO; BRANDÃO; HELLER, 1999). Objetivando assegurar as condições necessárias da vazão afluente ao filtro lento, utiliza-se um pré-filtro dinâmico com capacidade de 500 L, que funcionará como uma segurança a mais aos picos de turbidez e sólidos suspensos que possam existir, em especial nos períodos do ano quando não será utilizada a unidade de coagulação/ floculação/ decantação. Esse sistema de filtração funcionará como um FiME (Filtração em Múltiplas Etapas).

O pré-filtro dinâmico (Figura 5) terá como meio filtrante camadas de 18 cm de antracito e uma suporte de seixos com 5 cm, além de uma camada de 2 cm de manta sintética não-tecida de grande porosidade logo acima da camada suporte, para facilitar a limpeza do mesmo, além de auxiliar na filtração de sólidos mais grosseiros. A pré-filtração ocorrerá num tempo aproximado de 12 min, levando em consideração que a taxa adotada de filtração será de  $40 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{dia})^{-1}$ , uma vez que o valor máximo indicado pela NBR 12216/92, para os filtros em escala real, é  $180 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{dia})^{-1}$ .

Figura 5 – Modelo de pré-filtro dinâmico de antracito proposto no presente estudo.



Fonte: o autor

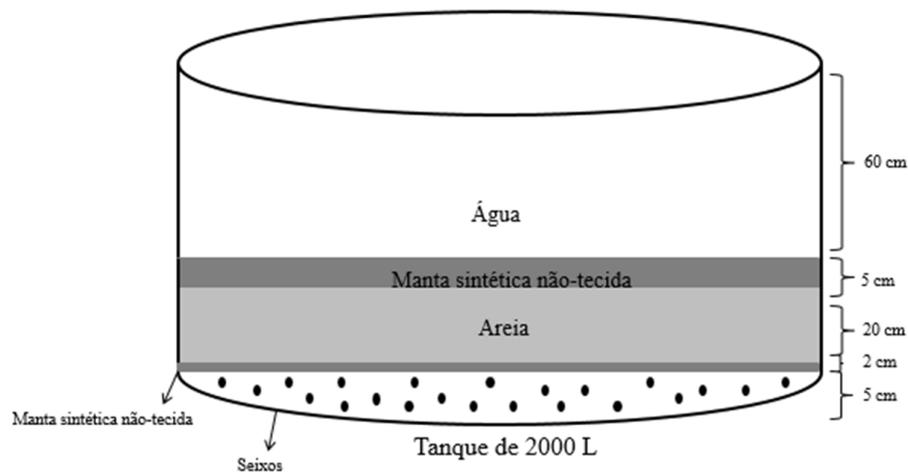
Os processos de filtração por meio de leitos de areia surgiram a partir da observação da pureza e limpidez das águas subterrâneas e da atribuição dessas características à sua passagem pelos poros naturais (AZEVEDO NETTO, 1987 *apud* PATERNIANI, MANTOVANI, SANT'ANNA, 2009).

A filtração lenta surge como uma alternativa promissora ao tratamento de água para comunidades ribeirinhas tendo em vista que é um sistema simples e

econômico com relação à construção, operação e manutenção, não exigindo mão de obra especializada e obrigatoriamente a coagulação química.

Para garantir a eficiência do processo, a taxa de filtração deve ser baixa e não ultrapassar  $6 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{dia})^{-1}$  (NBR 12216/92). Como não foi possível o estabelecimento do seu valor a partir de testes em escala piloto, adotou-se o valor máximo permitido para filtros exclusivamente de areia,  $6 \text{ m}^3.(\text{m}^2.\text{dia})^{-1}$ , tendo em vista que serão usadas mantas sintéticas não-tecidas. A granulometria da areia deve ser fina, variando entre 0,25 mm e 0,35 mm (FUNASA, 2006), a altura da camada será de 20 cm, uma camada superior de 5 cm de manta sintética não-tecida do tipo M2 e M3, uma camada suporte de seixos de 5 cm e uma outra camada de manta sintética de 2 cm sobre a camada suporte com a finalidade de não permitir a passagem de areia conforme visto no esquema, na Figura 6 abaixo. O emprego da manta sintética não-tecida apresenta diversas vantagens tais como: menor espessura das camadas de areia; prolongamento da duração de carreira do filtro; aumento das taxas de filtração; maior facilidade de limpeza (FERRAZ; PATERNIANI, 2002).

Figura 6 – Modelo de filtro lento de areia e manta sintética não-tecida proposto no presente estudo.



Fonte: o autor

O uso de baixas taxas de filtração leva a um maior tempo de detenção hidráulica sobre o meio filtrante, o que favorece uma intensa atividade biológica,

garantindo água com qualidade apropriada para a desinfecção efetiva (DI BERNARDO; BRANDÃO; HELLER, 1999).

Na camada superior do filtro, a manta sintética, ocorrerá a formação de uma camada biológica<sup>7</sup>, com espessura entre 2 a 5 cm, chamada “*schmutzdecke*”, que é a responsável pela remoção de impurezas. Essa atividade será mais pronunciada na superfície, mas se estende até uma certa profundidade do meio filtrante. Di Bernardo; Brandão; Heller (1999), afirmam que no início do funcionamento da unidade, quando o meio encontra-se limpo, a eficiência de remoção das impurezas é relativamente baixa havendo a necessidade do período de amadurecimento (2 a 4 dias) do filtro lento. O filtro não deve ter altura da lâmina d’água inferior a 40 cm durante a operação.

Com o tempo, há aumento do nível de água no interior do filtro como compensação a perda de carga decorrente da retenção de impurezas, até que o nível máximo de água é atingido. Nesse momento o filtro deve ser retirado de operação para limpeza (PIZZOLATTI, 2010). Recomenda-se que os filtros sejam lavados ao menos 30 dias após o início da sua operação.

A etapa de lavagem do filtro requer atenção e deve ser realizada periodicamente. Nos filtros lentos de areia é realizada removendo-se uma camada superior do meio filtrante e lavando-a para posterior reposição. Mas com a utilização da manta sintética, esse processo será facilitado, desde que não haja a penetração de impurezas na areia. Assim como acontece com a areia, a manta deve ser retirada, lavada com jatos de água de alta pressão e seca para sua reinserção no sistema. Tendo em vista que a camada biológica levará alguns dias para se formar e neste período haverá a ineficiência do filtro, o sistema de filtração apresentará número mínimo de unidades estabelecido pela NBR 12216/92, que são 2, e funcionarão em paralelo, sendo que o segundo só será colocado em operação depois de 10 dias decorridos do funcionamento do primeiro. Assim, mesmo quando o primeiro filtro for retirado de operação para lavagem, o segundo continuará funcionando eficientemente.

---

7 Essa camada biológica é constituída fundamentalmente, por partículas inertes, matéria orgânica, e uma grande variedade de organismos tais como bactérias, algas, protozoários, metazoários etc, além de ferro e manganês quando esses metais se encontram em estado solúvel na água afluyente (DI BERNARDO; BRANDÃO; HELLER, 1999).

Como os tanques serão de polietileno pré-fabricado, admite-se que o de volume igual a 2000 L seria ideal, uma vez que, sua área superficial é de aproximadamente 2,11 m<sup>2</sup>, suficiente para atender a demanda, que requer área de 1,55 m<sup>2</sup>. Recalculando a vazão média de água filtrada para a nova área (2,11 m<sup>2</sup>), foi estabelecida uma nova vazão de 12,66 m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>, o que mostra que o filtro poderá sofrer aumento de vazão futuramente. O tempo que as unidades levarão para produzir água filtrada será de aproximadamente 2h e 30 min.

A vazão efluente dos filtros lentos passará por um clorador, modelo proposto pela EMBRAPA, que tem baixo custo para montagem e fácil construção e manuseio. Para a sua construção são utilizados apenas tubos de PVC, registros, adaptador, cola, tê e buchas de redução.

A principal função da etapa de desinfecção segundo Daniel (2001), é a inativação de microrganismos patogênicos e esta pode sofrer interferência da turbidez (promovendo efeito escudo sobre os microrganismos, protegendo-os da ação desinfetante); da presença de matéria orgânica (reagindo com o mesmo para formar subprodutos) e da presença de compostos inorgânicos (reagindo com o agente desinfetante). Os principais mecanismos de desinfecção são a oxidação, com posterior ruptura da parede celular e a difusão no interior das células, com consequente interferência na atividade celular (DANIEL, 2001).

A substância desinfetante escolhida é hipoclorito de cálcio (Ca(ClO)<sub>2</sub> granulado (60 a 65%), substância oxidante, facilmente encontrado em comércios de produtos para piscina. Deve ser utilizado na quantidade de 1,5 a 2 g (equivalente a uma colher de café rasa) para cada 1000 L de água (SILVA, 2013). O tempo de contato deverá ser de 1h para que a desinfecção seja eficiente e deve ser adicionado o agente desinfetante todos os dias. O tanque de desinfecção/reservação de água tratada terá capacidade de 5.000 L e estará a um nível superior, para garantir a pressão mínima de 10 mH<sub>2</sub>O, o indicado pela NBR 12218/ 94.

Após a etapa de desinfecção a água deverá estar em qualidade adequada para o consumo humano, atendendo à Portaria 2.914/2011 e o tempo total de tratamento da água será aproximadamente de 3h e 40 min, quando não houver necessidade da etapa de decantação e de 6h quando o sistema funcionar com todas as etapas.

A água potável dever ser distribuída a população através de rede ligando o reservatório às caixas d'água das residências. O seu dimensionamento não foi possível devido à falta de dados topográficos e distância entre as residências

Após todas as etapas do sistema, pode-se prever que a construção do mesmo custará em média R\$ 6.650,00, o que é um resultado satisfatório, quando associado às condições econômicas da comunidade da Ilha do Rodeadouro.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Para atender a aos requisitos de potabilidade, propôs-se como alternativa a construção de um sistema de tratamento que apresente as etapas de clarificação e desinfecção. Para tanto, contará com um pré-filtro dinâmico que garantirá afluentes com índices de turbidez e cor adequados para o funcionamento de dois filtros lentos de areia e manta sintética não-tecida e posterior desinfecção com hipoclorito de cálcio.

Como um mecanismo de segurança a mais, prevendo-se o aumento da turbidez e cor nos períodos chuvosos, optou-se pela adição de um tanque de decantação, no qual também serão realizadas as etapas de coagulação e floculação. O coagulante proposto é o extrato da *Moringa oleífera*, tendo em vista que é de origem vegetal e suprimirá a necessidade de usar produtos químicos além de ser produzido no local, com custos mínimos.

As soluções alternativas de abastecimento de água não devem ser concebidas como soluções improvisadas ou unicamente destinadas a populações carentes, mas sim fazer parte da gama de opções existentes, que fornecem água que satisfaça às exigências dos padrões de potabilidade vigentes no país. Esta temática por ser tão abrangente merece ter um maior aprofundamento e continuidade dos estudos.

Todas as medidas supracitadas tiveram como principal objetivo a proposição de um sistema de abastecimento que possa ser custeado pela própria comunidade e apresente segurança no que se refere à qualidade da água para consumo humano. O custo para a construção do mesmo será de aproximadamente R\$ 6.650,00 e a manutenção e monitoramento será realizada pelos próprios moradores, que receberão orientações e treinamento.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12216 – Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público**. Rio de Janeiro. 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12218 – Projeto de rede de abastecimento de água para abastecimento público**. Rio de Janeiro. 1994.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento**. 3ª Edição. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006. 408 p.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000**. 2002. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/pnsb.pdf>. Acesso em: agosto, 2014.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. 2010. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB\\_2008.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf). Acesso em: agosto, 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria 2.914**. Disponível em: [http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914\\_12\\_12\\_2011.html](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html). Acesso em: julho, 2014.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea**. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/pernambuco/relatorios/PETR119.pdf>. Acesso em: setembro, 2014.

BRASIL. Presidência da República, Casa Civil. **Lei Nº 11.445, de 5 de Janeiro de 2007**. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm). Acesso em: agosto, 2014.

DANIEL, L. A. (Org). **Processos de Desinfecção e Desinfetantes Alternativos na Produção de Água Potável**. PROSAB. São Carlos. 2001. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/prosab/livros/LuizDaniel.pdf>. Acesso em setembro, 2014.

DI BERNARDO, L; BRANDÃO, C. C. S; HELLER, L. **Tratamento de águas de abastecimento por filtração em múltiplas etapas**. PROSAB. São Carlos. 1999. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/Prosab/livros/aguas%20de%20abastecimento.pdf>. Acesso em setembro, 2014.

EMPRAPA. **Principais solos do Semiárido do Nordeste do Brasil**. 2005. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/157855/1/OPB1114.pdf>. Acesso em: setembro, 2014.

EMBRAPA. **Solos do submédio do Vale do São Francisco – Potencialidades e limitações para uso agrícola**. 2008. Disponível em: [http://www.cpatsa.embrapa.br/public\\_eletronica/downloads/SDC211.pdf](http://www.cpatsa.embrapa.br/public_eletronica/downloads/SDC211.pdf). Acesso em: setembro, 2014.

FERNANDES, V. **Tratamento de esgoto, o desafio do saneamento.** Revista Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente. Ano XX – nº 71. Abril/Junho 2014.

FERRAZ, C. F.; PATERNIANI, J. E. S. **Redução da espessura da camada suporte através da substituição por mantas não-tecidas na filtração lenta de águas de abastecimento.** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol. 7, n. 1 jan/mar 2002 e n. 2 abr/jun 2002.

FILHO, A. P. *et al.* **Avaliação da qualidade da água do rio São Francisco no perímetro urbano do município de Petrolina-PE.** II Congresso Baiano de Engenharia Ambiental e Sanitária. De 08 a 13 de Julho de 2012. Feira de Santana - BA

GALLÃO, M. I; DAMASCENO, L. F; BRITTO, E. S. **Avaliação química e estrutural da semente de moringa.** Revista Ciência Agronômica. Vol. 37, n. 1. 2006.

KUMOTO, E. K. **Abastecimento de Água em Comunidade Ribeirinha do Baixo Madeira (Estado de Rondônia) – Diagnóstico e Possíveis Soluções.** 2012. (Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária). Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo.

LO MONACO P. A. V. *et al.* **Utilização de extrato de sementes de moringa como agente coagulante no tratamento de águas de abastecimento e águas residuárias.** Revista Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science: v. 5, n. 3, 2010. Disponível em: [http://www.gpqa.ufv.br/Publicacoes/coagulacao/Utilizacao\\_extrato\\_sementes\\_de\\_moringa.pdf](http://www.gpqa.ufv.br/Publicacoes/coagulacao/Utilizacao_extrato_sementes_de_moringa.pdf). Acesso em outubro, 2014.

MEDEIROS, P. R. P.; SOUZA, W. F. L.; KNOPPERS, B. A.; LIMA, L. L. **Aporte de sedimentos em suspensão no baixo rio São Francisco (SE/AL), em diferentes condições hidrológicas.** III Congresso Brasileiro de Oceanografia – CBO'2010, Rio Grande (RS), 17 a 21 de maio de 2010.

MEADE, R. H. **Suspended sediment in the Amazon river and its tributaries in Brazil during 1982-84.** U.S. Geological Survey, Open-File Report, 85-492, 1985. 39 p.

MORTATTI, J.; PROBST, J. L. **Hidrogeoquímica de bacias de drenagem. Piracicaba: CPG/CENA.** 142 p., 2012. (Série didática, v.2).

MORTATTI, J.; VENDRAMINI, D.; OLIVEIRA, H. **Avaliação da poluição doméstica fluvial na zona urbana do município de Piracicaba, SP, Brasil.** Revista Ambiente & Água – An interdisciplinary Journal of Applied Science, v. 7, n. 2, 2012.

PATERNIANI, J. E. S; MANTOVANI, M. C; SANTA'ANNA, M. R. **Uso de sementes de Moringa oleífera para tratamento de águas superficiais.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental: v. 13, n. 6, p. 765-771, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v13n6/v13n6a15.pdf>. Acesso em outubro, 2014.

PIZZOLATTI, B. S. **Estudos de limpeza de filtros lentos por raspagem e retrolavagem.** 2010. (Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação em Engenharia Ambiental) Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

PROBST, J. L. et al. (Ed). **Dissolved major elements exported by the Congo and the Ubangi rivers during the period 1987-1989**. Journal of Hydrology, Amsterdam, v. 135, p. 237-257, 1992.

PROBST, J. L.; BAZERBACHI, A. **Transports en solution et en suspension par la Garonne supérieure**. Science Géologique Bulletin. Strasbourg v.39, p.79-98, 1986.

SILVA, W. F. **Determinação da carga de material em suspensão no rio São Francisco: ano hidrológico 2007**. Monografia. Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente. p. 48, 2009.

SILVA, W. T. L. **Tecnologias de saneamento Básico Rural na Embrapa**. IV Seminário Internacional de Engenharia de Saúde Pública. 2013. Disponível em: <http://www.sda.ce.gov.br/index.php/editais-e-licitacoes-novo/category/29-apresentacoes-workshop-reuso-de-agua?download=638%3Aapresentacao-complementar-sobre-o-tema-wilson-tadeu-embrapa>. Acesso em: setembro, 2014.

SOUZA, M. E; SILVA, J. J. B; LYRA, L. H. B. **Avaliação das condições de navegação do rio São Francisco, do trecho de Sobradinho-BA a Petrolina-PE**. Disponível em: <http://www.sbpcnet.org.br/livro/65ra/resumos/resumos/2931.htm>. Acesso em setembro, 2014.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água**. EPUSP. 3ª Edição. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo/SP, 2006. 643 p.

VENDRAMINI, D. ; BONASSI, J. A. ; MORTATTI, J. **Aspectos da influência antrópica na carga dissolvida do rio Piracicaba (SP)**. Revista Geologia da USP (Série Científica), v. 13, n. 3, p. 99 -112, 2013.

VENDRAMINI, D.; OLIVEIRA, H., MORTATTI, J. **Avaliação do comportamento dinâmico da carga dissolvida e particulada fluvial de uma microbacia reflorestada com eucaliptos**. Revista Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science, v. 9, n. 3, p. 499 – 525, 2014.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4ª Edição. v. 01. Belo Horizonte/MG: Editora UFMG, 2014.