

I-082 - ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA NA IMPLANTAÇÃO DA FILTRAÇÃO EM MARGEM NO TRATAMENTO DE ÁGUA EM UMA COMUNIDADE RURAL RIBEIRINHA

Mirene Augusta de Andrade Moraes ⁽¹⁾

Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais.

Valter Lúcio de Pádua ⁽²⁾

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais, mestre e doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo. Professor Associado do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais.

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos nº 6627, Escola de Engenharia – Bloco 1, 4º andar – Bairro Pampulha, Belo Horizonte/MG, CEP: 31270-901, Brasil. e-mail: moraes.mirene@gmail.com

RESUMO

No Brasil, 29,9 milhões de pessoas vivem em zonas rurais. Destas, mais de 66,8% não são ligadas a rede pública de abastecimento, consumindo água com qualidade desconhecida. Na comunidade quilombola de Lagedo, localizada às margens do Rio São Francisco na zona rural do município de São Francisco/MG, a água é captada de cursos d'água com turbidez elevada e consumida sem prévio tratamento. Figuram-se as verminoses as doenças mais comuns entre as crianças quilombolas, evidenciando assim o baixo nível de saneamento básico a qual estas populações estão submetidas. A filtração em margem (FM) vem se mostrando uma prática alternativa promissora no tratamento de água por ser barata e eficiente na redução de diversos contaminantes e por isso foi avaliada para a implantação na comunidade de Lagedo. A FM é uma técnica que consiste na percolação da água em direção a poços construídos nas margens do rio, induzida pela diferença de nível entre o rio e o lençol freático. O processo de remoção é mais eficiente quando a velocidade do fluxo subterrâneo é lenta e quando o material do aquífero é granular. Na primeira etapa deste trabalho, entre abril de 2014 a outubro de 2015, foram recolhidas amostras de águas brutas do Rio São Francisco em ponto dentro da comunidade e analisadas em termos dos parâmetros turbidez, cor aparente, coliformes totais, *E.coli*, alcalinidade, pH e temperatura. Na segunda etapa, objetivou a caracterização do solo das margens do Rio São Francisco. Entretanto, o boletim de sondagem evidenciou pouca quantidade de solo de granulometria grosseira e ausência de boa conexão hidráulica do aquífero com o manancial superficial. Deste modo, o local estudado não oferece condições satisfatórias para a implantação do método. Mesmo a tentativa de viabilizar a FM para o tratamento da água desta coletividade não tenha sido positiva, o método se demonstra vantajoso.

PALAVRAS CHAVES: Comunidades rurais, filtração em margem, aquífero aluvionar, elevada turbidez.

INTRODUÇÃO

De acordo com o Censo Demográfico realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE/2010, 29,9 milhões de pessoas no Brasil vivem em zonas rurais. Destas, 23,8% estão abaixo da linha da pobreza^[1] (BRASIL, 2014) e mais de 66,8% não são ligadas a rede pública de abastecimento, utilizando portanto, outras formas de provimento de água, cuja qualidade é desconhecida (FUNASA, 2014). O poder público com frequência enfrenta o saneamento rural como menos urgente em relação à zona urbana, haja vista que a população rural não raramente possui fonte de água perto de casa, ainda que não potável. Ao passo que a zona urbana não dispõe de outro meio a não ser o sistema público (SAUNDERS & WARFORD, 1983). Além disso, ameaças de epidemias cresce quanto maior é a concentração de pessoas, tornando a zona rural menos vulnerável.

¹ Rendimento mensal *per capita* de até R\$ 140,00

Ademais, a implantação de redes de distribuição de água tratada em comunidades rurais muitas vezes se torna onerosa e difícil devido à localização geográfica esparsa em que se encontram as residências, à carência de recursos financeiros dos moradores para arcar com os custos e às diferenças socioculturais inerentes a sua realidade. Saunders e Warford (1983) defendem que o investidor precisa desenvolver um sistema menos dispendioso e chamam a atenção que custos podem ser diminuídos, haja vista que comunidades rurais estão supostamente mais dispostas a contribuir com o seu trabalho na implantação de projetos do que a população urbana.

A comunidade de Lagedo, foco deste estudo, é um dos núcleos que compõem o Quilombo Bom Jardim da Prata. É uma coletividade ribeirinha, localizada às margens do Rio São Francisco (RSF) na zona rural do município de São Francisco/MG. A falta de água tratada pode ser a principal causa do alto predomínio de giardíase e amebíase na população deste Quilombo (SOUTO *et al.*, 2012). Em diagnóstico do núcleo de Lagedo, realizado em julho de 2013, contabilizou-se que 51,5% das famílias pesquisadas consomem água do RSF.

A Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (BHRSF) está em indiscutível estado de degradação. A avaliação da qualidade das águas da BHRSF releva que as principais fontes de poluição são os esgotos domésticos, as atividades agropecuárias e a mineração (ZELLHUBER & SIQUEIRA, 2007). Logo, nesta e em outras comunidades rurais, esquivar-se da captação de água superficial de modo direto e buscar um sistema mais sustentável, a fim de se evitar danos à saúde e diminuir os custos com o tratamento, é um assunto que merece apreciação.

A filtração em margem (FM) é uma técnica simples, por meio da qual a água superficial é induzida a percolar pelo solo das margens e/ou fundo do manancial, mesclando-se com a água subterrânea e coletada em um poço. Esse dinamismo se dá através da diferença de carga hidráulica entre o rio ou lago e o aquífero em consequência do bombeamento do poço (**Figura 1**). O leito do rio serve como um filtro natural, atenuando os contaminantes presentes na água superficial através de um conjunto de processos físicos, químicos e biológicos (TYAGI *et al.*, 2013). Deste modo, obtém-se no poço uma água geralmente de qualidade superior a do manancial, caso o aquífero não esteja contaminado ou ao menos haja nele presença de contaminantes em concentração menores. A água no poço é, portanto, uma mistura de água superficial e subterrânea, e o efeito desta diluição deve ser considerado, particularmente nos poços distantes do manancial superficial (SPRENGER *et al.*, 2011). Ainda de acordo com estes autores, a disponibilidade de água vinda de duas origens torna a FM menos vulnerável do que a captação isolada de água superficial ou subterrânea.

Há mais de 100 anos, a FM é usada na Europa, de modo notável para o abastecimento público nos cursos dos rios Reno, Elba e Danúbio. Em 2002, a tecnologia era utilizada para a água consumida por 7% da população na Holanda, 16% na Alemanha, 40% na Hungria, 40% na Finlândia, 50% na França, 50% na República Eslovaca e 80% na Suíça (HISCOCK & GRISCHEK, 2002; TUFENKJI *et al.*, 2002). Na cidade de Berlim, 75% do abastecimento é proveniente da FM. O método tem ganhado força nos Estados Unidos pelo interesse em alternativa de baixo custo para remoção de organismos patogênicos, como *Cryptosporidium* (HISCOCK & GRISCHEK, 2002). E outros países como Índia, China e Coreia do Sul recentemente começaram a implantação do método para a potabilização da água; e ainda há relato da utilização da tecnologia no Egito para melhorar a qualidade da água do rio Nilo (TYAGI *et al.*, 2013).

A FM serve, ao menos, como pré-tratamento da água e em alguns casos, o único antes da desinfecção (RAY *et al.*, 2003). Conforme o grau de filtração alcançado e o abrandamento dos poluentes, tratamentos adicionais podem ser requeridos antes da distribuição para uma população. O processo de remoção é mais eficiente quando a velocidade do fluxo subterrâneo é lenta e quando o material do aquífero é granular. A atenuação dos contaminantes é obtida através de processos de mistura, biodegradação e sorção que ocorrem em duas zonas principais: camada de colmatação, onde ocorre a degradação e a adsorção intensa em um curto espaço e tempo, e ao longo do caminho do fluxo entre o rio e o poço (**Figura 1**), onde os processos de mistura são mais abundantes (HISCOCK & GRISCHEK, 2002). Bons resultados de remoção são incrementados à medida que aumenta a profundidade de infiltração, com o maior crédito de remoção para o primeiro metro de filtração (WANG *et al.*, 1995 *apud* DASH *et al.*, 2010).

Entretanto, um grupo de compostos orgânicos são resistentes a transformação biológica: clorofórmio, 1,1,1-tricloroetano, tricloroetileno e tetracloroetileno (SCHWARZENBACH *et al.*, 1983 *apud* TUFENKJI *et al.*, 2002), sendo assim a FM é ineficaz para sua remoção. Várias substâncias farmacêuticas são praticamente imutáveis dentro das estações de tratamento de esgoto e se tornam uma fonte de problemas para a FM (HEBERER, 2002 *apud* HISCOCK & GRISCHEK, 2002). Logo, compostos orgânicos podem persistir durante o transporte através do solo e apenas serem diluídos com a água subterrânea (RABELO, 2008).

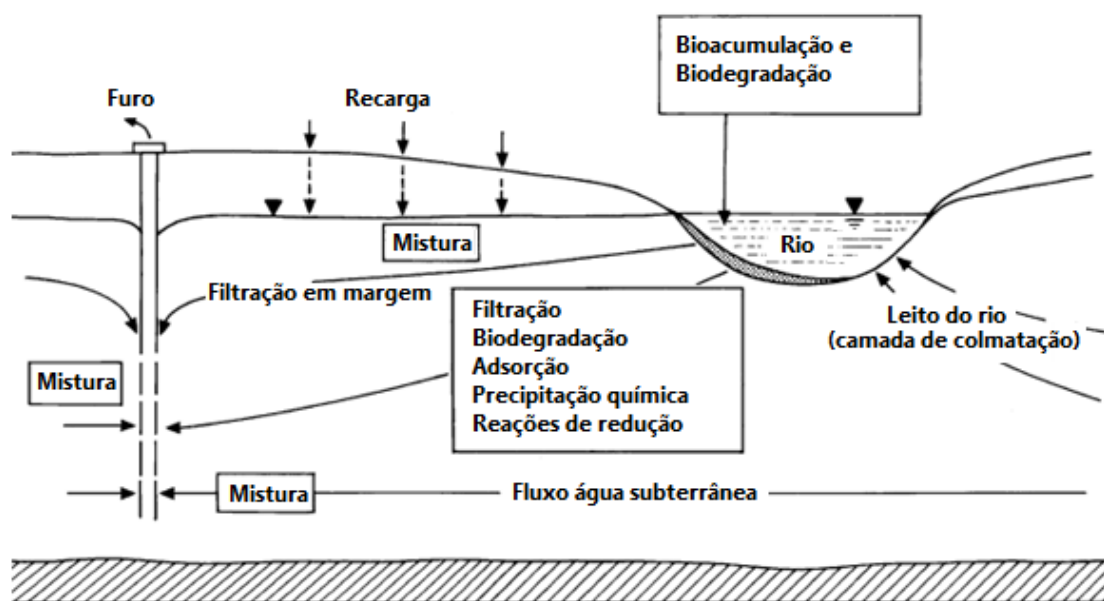


Figura 1: Esquema dos processos que afetam a qualidade da água durante a filtração em margem

Fonte: HISCOCK & GRISCHEK (2002) modificado

Além disso, a dinâmica natural do complexo sistema hidrogeológico é o maior obstáculo para uma implementação confiável da técnica. Outros efeitos indesejáveis são o potencial incremento da dureza, amônia, ferro e manganês dissolvidos, e a formação de sulfeto de hidrogênio e outros compostos de enxofre malcheirosos, como resultado da mudança das condições redox (HISCOCK & GRISCHEK, 2002).

Considerando que na comunidade de Lagedo, e em tantas outras comunidades rurais, onde existe a realidade de captar água superficial com turbidez elevada e a consumirem sem prévio tratamento, aliada a carência de fundos financeiros, a proposta principal deste trabalho é avaliar a aplicabilidade da FM na coletividade em estudo.

MATERIAIS E MÉTODOS

PRIMEIRA ETAPA

A caracterização da água bruta é de grande importância para a seleção adequada de técnicas para o seu tratamento e posterior avaliação se o tratamento alcançou um grau satisfatório. Durante o período compreendido entre abril de 2014 a outubro de 2015, foram recolhidas 13 amostras de água do RSF, no ponto de coordenadas de latitude S 15° 49,3' e longitude W 44° 48,3', onde se encontra instalada uma bomba que lança água do RSF para uma caixa d'água comunitária que a distribui para algumas famílias da coletividade.

A qualidade da água é atestada com base em vários parâmetros que representam sua condição física, química e biológica. Para este estudo, foram efetuadas análises de parâmetros biológicos: coliformes totais e E. coli, físicos: turbidez, cor aparente e temperatura, e químicos: pH e alcalinidade. Os parâmetros estudados foram escolhidos devido à sua importância no auxílio da escolha adequada para o tratamento a ser utilizado, a disponibilidade de

equipamentos para efetuar as análises e ainda com base nos planos de amostragem exigidos pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde. Os parâmetros aferidos constituem alguns dos mais básicos e com maior frequência de monitoramento. Tais parâmetros estão relacionados não apenas à garantia da qualidade da água, mas ainda à relevância nas etapas de tratamento e à integridade das tubulações e peças do sistema e do uso doméstico, evitando-se incrustações e corrosões.

Os recipientes para análise de parâmetros físicos e químicos foram garrafas plásticas de capacidade para 1 L, e para análise de coliformes totais e *E.coli*, utilizou-se pequenos sacos plásticos selados a vácuo, próprios para este tipo de coleta.

Todas as análises foram realizadas nas dependências da COPASA do município de São Francisco. Apesar de que dados de temperatura e pH devam ser medidos no campo, a falta de equipamentos portáteis não tornou essa tarefa possível. Todos os demais parâmetros foram determinados em laboratório, utilizando os métodos descritos no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (2012). A **Tabela 1** relaciona as especificações dos aparelhos e métodos que foram usados neste ensaio para a determinação de parâmetros físicos e químicos.

Tabela 1: Aparelhos utilizados no ensaio

Parâmetro	Aparelho/Método	Marca	Modelo	Unidade
Turbidez	Turbidímetro portátil	Hach	2100P	uT
pH	pHmetro	Marte	MB-10	--
Temperatura	Termômetro	Marte	MB-10	°C
Cor aparente	Colorímetro visual	Dellab	DLNH-100	uH
Alcalinidade	Titulação potenciométrica			mg/L

O Número Mais Provável (NMP) de Coliformes Totais e *E. coli* foi determinado pela técnica do substrato definido - Colilert®, que é uma técnica rápida (resultados em 24h) e fácil de aplicar.

SEGUNDA ETAPA

Métodos de tratamento de água aplicado a comunidades rurais foram previamente selecionados e estudados nos Laboratório do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA) da UFMG, podendo-se citar filtros domésticos, coagulantes alternativos, desinfecção solar e decantação. Entretanto, baseado no insucesso e nas dificuldades encontradas anterior e/ou durante os ensaios, e também devido aos primeiros resultados do monitoramento das águas do RSF, pode-se selecionar as técnicas mais promissoras pautadas na realidade da coletividade.

Fatores relacionados à manutenção, à operação dos sistemas implantados, à apropriação (relacionados ao cuidado e ao zelo) e ao envolvimento das populações beneficiadas são fundamentais para o êxito dos projetos (REGUEIRA, 2009). Por isso, em reunião com a comunidade de Lagedo, realizada no dia 28 de setembro de 2014 na sede da Associação de Moradores, foram apresentadas algumas tecnologias e colocou-se em votação aquela que cada presente julgava ser o mais pertinente. Ressalta-se que vantagens e desvantagens de cada técnica ficou a cargo da própria percepção dos moradores. A técnica mais votada foi a FM.

Alguns fatores interferem no desempenho da FM e devem ser devidamente analisados pelo engenheiro responsável: disponibilidade de água do rio que pode ser induzida a fluir pelo solo; qualidade da água do manancial superficial e suas fontes poluidoras; sazonalidade do rio; velocidade de percolação; tempo de retenção e composição do material de interface entre manancial superficial e subterrâneo; e características hidráulicas do meio poroso (TUFENKJI *et al.*, 2002; RAY *et al.*, 2003; SANDHU *et al.*, 2011 *apud* TYAGI *et al.*, 2013). Os fatores que influenciam os processos na FM, como já visto, variam de local para local e, portanto não existe um protocolo a ser seguido. As propriedades dos sedimentos, tais como: distribuição no tamanho dos grãos, permeabilidade e porosidade, assim como o regime de bombeamento, controlam a velocidade de infiltração (PAIVA *et al.*, 2010).

Os aquíferos aluvionares conferem satisfatória resposta à técnica de modo geral, devido a sua complexa hidrogeologia (TUFENKJI *et al.*, 2002; DOUSSAN *et al.*, 1997 *apud* HISCOCK & GRISCHEK, 2002). Os depósitos aluvionares são localizados em áreas planas como várzeas ou próximos aos rios e são formados por depósitos diversos transportados pela água, desta forma são bastante heterogêneos. O aluvião é constituído em geral por solos grosseiros como pedregulhos e seixos, areias de diversas granulometrias e uma fina camada superior argilosa ou siltosa (VARGAS, 1978). As condições ideais solicitam depósitos grosseiros, os quais são permeáveis, e ao mesmo tempo possuem uma camada de interface semipermeável que separa o meio poroso e a água superficial (DASH *et al.*, 2010); e também conexão hidráulica com o solo do leito do rio.

Assim, para avaliar o potencial do solo para o sucesso da FM, é necessário o seu devido exame. Após ter sido a FM aceita pela população local, iniciou-se o planejamento de estudo da caracterização do solo e do aquífero, através de execução de ensaios de permeabilidade *in situ*, instalação de piezômetros, realização de sondagem a percussão com ensaio SPT, e análise em laboratório de granulometria, porosidade e índice de vazios para todas as camadas de material grosseiro de cada furo de sondagem. O local mostrando-se adequado a implantação da FM, seria executado teste de bombeamento.

A Sondagem à Percussão com ensaio SPT (Standard Penetration Test), normatizada pela ABNT-NBR 6484 é um ensaio comumente utilizado na construção civil. Este método permite a determinação do perfil geológico e a capacidade de carga das diferentes camadas que compõem o solo, a coleta de amostras das camadas, a verificação do nível do lençol freático e a determinação da compacidade ou consistência dos solos arenosos ou argilosos.

Essa etapa, portanto, firmou-se na caracterização do solo das margens dos cursos d'água para estudo de viabilidade da técnica.

RESULTADOS

PRIMEIRA ETAPA

Na **Tabela 2** estão os valores mínimos, máximos e médios das medidas de pH, temperatura, alcalinidade, cor aparente, coliformes totais e *E.coli* para o RSF durante o período monitorado. Alguns resultados de Coliformes Totais e *E. coli* não foram obtidos em alguns meses devido a erros de operação durante a coleta ou durante o ensaio. A temperatura nos meses de abril e maio de 2014 não foi aferida, pois o termômetro acoplado ao pHmetro não estava em funcionamento. A alcalinidade não foi medida entre os meses de setembro a novembro de 2014 devido a falta do composto químico indicador misto, necessário para o teste.

O pH da água bruta do RSF teve mínimo de 5,5 e máximo de 9,87. Não foi verificada a média da cor aparente, pois a análise foi limitada a valores inferiores a 100 uH (já muito superior ao máximo que a Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde prevê, isto é, 15 uH). A contagem de Coliformes Totais e *E.coli* foi efetuada sem diluição e, portanto, limitada ao NMP/100mL = 2419,6, que é a capacidade máxima que fornece o método Colilert® para o líquido não diluído. Afere-se que quase a totalidade dos dados obtidos indica NMP de Coliformes Totais/100mL superior ao limite 2419,6. Em março de 2015, o valor foi o menor registrado (1986,3), indicando que tenha havido a diluição natural de coliformes no próprio rio em consequência da chuva. O NMP de *E.coli*/100mL variou entre 3,0 a 235,9.

A Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 274, de 29 de novembro de 2000 define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. Segundo essa Resolução, águas destinadas à balneabilidade deve conter, para ser classificada como própria e estar dentro da subcategoria satisfatória, até 1000CT/100mL. Logo, o RSF não está próprio para recreação de contato primário no trecho analisado.

Tabela 2: Intervalos medidos dos parâmetros em análise

Parâmetro	Unidade	Mínimo	Máximo	Média
pH	---	5,50	9,87	7,94
Temperatura	°C	14,6	25	19,6
Cor aparente	uH	30	> 100	---
Alcalinidade	mg/L	20,5	50,0	35,7
Coliformes totais	NMP*/100mL	1986,3	> 2419,6	---
<i>E. coli</i>	NMP*/100mL	3,0	235,9	---

*Número Mais Provável

A **Figura 2** contém o gráfico do monitoramento de turbidez do RSF. A turbidez representa a concentração de partículas suspensas presentes na água e é o parâmetro preferencial de monitoramento de água bruta e tratada na maioria das Estações de Tratamento de Água (ETA's) devido a sua simplicidade e rapidez de determinação (LIBANIO, 2008). De acordo com Heller e Pádua (2006), a turbidez é um importante indicador sanitário, pois a sua remoção por filtração indica não apenas a eliminação de partículas inertes, mas também a potencial retirada de organismos patogênicos. Além disso, partículas em suspensão podem proteger microorganismos na ação de desinfecção, reduzindo assim sua eficiência (HELLER & PÁDUA, 2006; OMS, 2011). Em vista disso, as normas mundiais de qualidade da água vêm se tornando cada vez mais restritivas quanto a este parâmetro (LIBANIO, 2008). A Portaria 2914 de 2011 do Ministério da Saúde determina que o valor máximo permitido para turbidez em filtração lenta é 1.0 uT. Já a Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda que a turbidez em água potável seja inferior a 5.0 uT. Ao analisar a **Figura 2** observa-se aumento da turbidez especialmente em março, momento máximo de chuva que lixivia o terreno, transportando solo e outras partículas para o corpo hídrico. O RSF atingiu a máxima turbidez de 307 uT em março de 2015 e a mínima de 11,8 uT em agosto de 2014 (período seco).

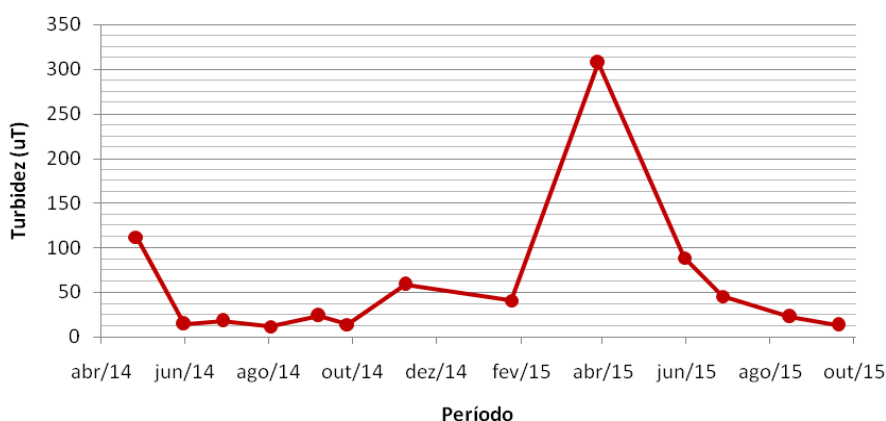


Figura 2: Valores de turbidez medidos para Rio São Francisco

SEGUNDA ETAPA

As análises adequadas de investigação do solo devem ser realizadas previamente à implantação dos poços de FM. Uma dificuldade deparada pelos autores deste trabalho merece apreciação: encontrar uma empresa que se dispusesse a executar o serviço no município de São Francisco/MG não foi uma tarefa fácil. Foram contatadas ao todo, seis empresas localizadas em diferentes municípios: Belo Horizonte/MG, Brasília/DF e Montes Claros/MG, e apenas uma mostrou-se disposta a executar a sondagem. As outras não manifestaram interesse em deslocar seus equipamentos para o município de São Francisco/MG. E ainda, as duas empresas perfuradoras de poços consultadas demonstraram não ter benefícios em realizar a perfuração de poços com profundidade inferior a 60m. Essas dificuldades aliada a grandes custos de deslocamento com mobilização de

pessoal e equipamentos para áreas isoladas, pode ser um dos fatores para inviabilizar a aplicação da FM. Deste modo, o poder público deve fornecer o devido apoio financeiro e técnico.

Assim, em posse de apenas um orçamento, contratou-se a única empresa interessada, localizada em Montes Claros. Pelo alto custo para a instalação dos medidores de nível d'água, foi decidido que não seriam implementados. Foi então, realizada entre os dias 12 a 14 de maio de 2015 a sondagem percussiva com ensaio SPT.

Na **Figura 3** é mostrado o croqui de localização dos pontos sobre a imagem de satélite do Google Earth fornecido pela empresa que realizou a sondagem. Os pontos SP-01, SP-02 e SP-03 estão nas margens do RSF, sendo o SP-01 o mais próximo do corpo d'água e o SP-03 o mais distante. A elevação dos pontos foi obtida por GPS. Contudo, ressalta-se a pouca precisão do GPS para determinar coordenada vertical. Observa-se que o ponto SP-01 se encontra mais perto do talvegue do rio e, no entanto, o GPS acusa elevação superior em relação ao ponto SP-02. E para a definição das coordenadas horizontais foi utilizado o Sistema Universal Transverso de Mercator (UTM).



Figura 3: Croqui de localização dos pontos de sondagem

Fonte: Adaptado do software Google Earth

A **Tabela 3** relaciona o índice de resistência à penetração com a compacidade (para solos arenosos) ou com a consistência (para solos argilosos) de acordo com a classificação da ABNT NBR 7250/82 e também alguns parâmetros de resistência e de deformabilidade em relação ao número SPT. Entretanto, Marangon (2009) ressalta que por ser avaliações empíricas, o uso de tais correlações está limitado a estudos preliminares. Nota-se que ao aumentar a compacidade ou consistência, a resistência a penetração também cresce. Além disso, verifica-se a correspondência entre a progressão do peso específico com o incremento do índice SPT, e ainda a proporcionalidade entre o número de golpes e a coesão das argilas ou o ângulo de atrito das areias.

A equação de Taylor - **Equação (1)** - correlaciona o coeficiente de permeabilidade k com o índice de vazios e . Para um mesmo solo, conhecido o k para determinado e , pode-se calcular o k para outro e .

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{\frac{e_1^3}{(1+e_1)}}{\frac{e_2^3}{(1+e_2)}}$$

Equação (1)

Onde: e_1 – índice de vazios 1; k_1 – coeficiente de permeabilidade 1;
 e_2 – índice de vazios 2; k_2 – coeficiente de permeabilidade 2.

Logo, quanto mais fofo é um solo arenoso, maior será sua permeabilidade. Entretanto, Pinto (2006) destaca que o índice de vazios, por si só, não indica a compactação das areias. Desta forma, ainda que não seja válido de modo universal, para o caso das areias pode-se associar o número SPT com a permeabilidade. Isto é, quanto menor o índice de resistência a penetração (isso quer dizer menor grau de compactação) se apresentar, maior será a permeabilidade. Em relação às argilas, uma melhor correlação se obtém entre o índice de vazios e o logaritmo do coeficiente de permeabilidade (PINTO, 2006). O índice de vazios e o logaritmo do coeficiente de permeabilidade praticamente se relacionam de maneira proporcional por meio de uma reta.

Na **Figura 4** observa-se as partes mais importantes para este estudo do relatório de sondagem referentes aos pontos SP-01, SP-02 e SP-03. Os relatórios foram colocados lado a lado para melhor análise. Os pontos SP-01, SP-02 e SP-03 estão nas margens do RSF.

Foi efetuada uma verificação preliminar tátil-visual da camada superficial do solo, e se pode concluir facilmente que se tratava de um solo arenoso. Ao analisar a **Figura 4**, nota-se que a pequena camada superior é de fato arenosa em todos os pontos de sondagem. Entretanto, a maior parte das camadas de solo dos pontos SP-01 e SP-02 são de solo fino (siltoso e argiloso), ainda que com diferentes características. Abaixo dos 9m de profundidade encontra-se um solo mais consolidado; um horizonte com características mais próximas as da rocha-mãe e, portanto, com maior resistência a penetração. O nível d'água no período variou entre 1 e 4m em relação a superfície do terreno.

Tabela 3. Avaliações empíricas de parâmetros de resistência e de deformabilidade de solos

ARGILA e SILTE ARGILOSO	Índice de resistência a penetração	Índice de consistência (IC)	Peso específico (t/m ³)	Coesão (t/m ²)	Ângulo de atrito
Muito mole	≤ 2	0	1,3	0 - 1,2	0°
Mole	3 a 5	0 - 0,25	1,5	1,2 - 2,5	0°
Média	6 a 10	0,25 - 0,5	1,7	2,5 - 5,0	0°
Rija	11 a 19	0,5 - 0,75	1,9	5,0 - 15,0	0°
Dura	> 19	> 1,0	> 2,0	> 15,0	0°
AREIA e SILTE ARENOSO	Índice de resistência a penetração	Grau de compactação (GC)	Peso específico (t/m ³)	Coesão (t/m ²)	Ângulo de atrito
Fofa	≤ 4	0 - 0,25	1,6	0	25° - 30°
Pouco fofa	5 a 8				30° - 35°
Média	9 a 18	0,25 - 0,5	1,9	0	35° - 40°
Compacta	19 a 40	0,5 - 0,75	2,0	0	40° - 45°
Muito compacta	> 40	0,75 - 1,0	> 2,0	0	> 45°

Fonte: ABNT/NBR 7250 e Marangon (2009) modificado

Evidencia-se assim, a pouca quantidade de solo de granulometria grossa e a presença de material fino. Logo, sendo o solo argiloso um mau drenante, a água percola lentamente pelos vazios. As ocorrências de rochas alteradas seriam possibilidades de encontrar canais de comunicação com o rio, porém considerando a baixa declividade do RSF no trecho estudado e a forte deposição de sedimentos, provavelmente não há esse canal de comunicação com um poço na margem, ou seja, o local não é promissor. Concluiu-se deste modo, que o aquífero das margens do RSF no local estudado não havia boa conexão hidráulica com o manancial superficial.

[illegible]

Figura 4: Partes do boletim de sondagem SP-01, SP-02 e SP-03

CONCLUSÕES

A FM é uma tecnologia de relativo baixo custo, operação simples e capacidade de atenuação de diversos contaminantes como patógenos e compostos orgânicos. Em contrapartida, as particularidades do local são fundamentais para o sucesso da técnica

Neste sentido, as características do solo e a hidráulica do meio poroso da região em que a comunidade de Lagedo está inserida não se mostraram adequadas para a aplicação da FM. O relatório de sondagem revelou que o solo é constituído por material majoritariamente de granulometria fina, e por isso, apresenta baixa permeabilidade e ausência de apreciável conexão hidráulica entre o aquífero e o RSF.

Nada obstante, mesmo a tentativa de viabilizar a FM para o tratamento da água desta coletividade não tenha sido positiva, o método se demonstra vantajoso. Logo, esta técnica deve alcançar outras zonas rurais, quando atributos hidrogeológicos locais denotarem condições satisfatórias para a sua implantação. A compreensão dos conceitos que regem a FM associados a processos de tratamento subseqüentes são a chave para a otimização do sistema.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todos que ajudaram a tornar este texto possível, em especial, a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) pelo apoio financeiro fornecido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6484: Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001.
2. _____. NBR 7250: Identificação e descrição de amostras de solo obtidas em sondagem de simples reconhecimento dos solos. Rio de Janeiro, 1982.
3. AMERICAN Public Health Association. Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater. 22 ed. Washington: APHA, 2012.
4. BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 274/2000.
5. _____. Ministério da Saúde. Portaria nº 2914/MS de 2011.
6. _____. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Caderno de Monitoramento do PPA 2012-2015: Retrato das Políticas Públicas Sociais na PNAD 2012. Brasília, 2014. Disponível em: <http://www.planejamento.gov.br/secretarias/upload/arquivo/spi-1/ppa1/publicacoes/140707_cad_monit_ppa-pnad-1.pdf>. Acesso em 22 set 2015.
7. DASH, Rakesh R.; PRAKASH, E. V. P. Bhanu; KUMAR, Pradeep; MEHROTRA, Indu; SANDHU, Cornelius; GRISCHEK, Thomas. River bank filtration in Haridwar, India: removal of turbidity, organics and bacteria. Hydrogeology Journal, 2010, v.18, p. 973-983.
8. FUNASA. Saneamento Rural. Brasília, 2014. Disponível em: <<http://www.funasa.gov.br/site/engenharia-de-saude-publica-2/saneamento-rural/>>. Acesso em 24.mar.2014
9. HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio de. Abastecimento de água para consumo humano. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. 859p.
10. HISCOCK, K M.; GRISCHEK, T. Attenuation of groundwater pollution by bank filtration. Journal of Hydrology, 2002, v. 266, p. 139-144.
11. IBGE. Censo demográfico: dados da amostra. 2010. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8>>. Acesso em 10 out. 2015.
12. LIBANIO, Marcelo. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. 2.ed. Campinas, SP: Átomo, 2008. 444p.
13. MARANGON, M. Parâmetros dos Solos para Cálculo de Fundações. Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2009. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/GF03-Par%C3%A2metros-dos-Solos-para-C%C3%A1lculo-de-Funda%C3%A7%C3%B5es.pdf>>. Acesso em 07 nov 2015.
14. OMS. Guidelines for Drinking-water Quality. 4.ed. , Genebra, 2011.

15. PAIVA, Anderson Luiz Ribeiro de; CABRAL, Jaime Joaquim da Silva Pereira; DEMÉTRIO, José Geilson Alves; SOBRAL, Maria do Carmo Martins. Filtração em margem para indução de recarga e melhoria da qualidade de água – estudo de caso: Rio Beberibe. *Águas Subterrâneas*, v.24, n.1, p.103-114, 2010.
16. PINTO, Carlos de Sousa. Curso básico de mecânica dos solos: exercícios resolvidos em 16 aulas. 3.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 367p.
17. RABELO, Letícia. Estudos preliminares para implantação da filtração em margem na lagoa do Peri como pré-tratamento de água para remoção de fitoplâncton. 2006. Dissertação (mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
18. RAY, C.; MELIN G.; LINSKY, R.B. Riverbank Filtration: Improving Source-Water Quality. Water Science and Technology Library. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers; 2002.
19. REGUEIRA, Margarida. Sustentabilidade hídrica e qualidade das águas: avaliação das estratégias de convivência com o semi-árido. 2009. Tese (doutorado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife
20. SANTOS, Laércio Leal dos; CABRAL, Jaime J. S. P.; FREITAS, Dayana A., CIRILO, José A., SENS, Mauricio Luiz; ARAGÃO, Ricardo; BARROS, Timóteo Herculino da Silva. Aplicação da tecnologia de filtração em margem para população difusa no Semiárido Pernambucano. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 19 n.4 –Out/Dez 2014, p.49-58.
21. SAUNDERS, Robert J.; WARFORD, Jeremy J. Abastecimento de água em pequenas comunidades: aspectos econômicos e políticos nos países em desenvolvimento. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental; [Brasília]: CODEVASF, 1983. 252p.
22. SOUTO, R. G., SANTO, L. R. E., RIBEIRO, F., ALMEIDA, J. M., & SILVEIRA, M. F. Avaliação das parasitoses intestinais e da esquistossomose hepática em uma comunidade quilombola, em São Francisco, MG. *Motricidade*, v.8, n. S2, p. 95, 2012.
23. SPRENGER, C.; LORENZEN, G.; HÜLSHOFF, I.; GRÜTZMACHER, G.; RONGHANG, M.; PEKDEGER, A. Vulnerability of bank filtration systems to climate change. *Science of the Total Environment*, 2011, v. 409, p. 655-663.
24. TUFENKJI, N.; RYAN, J. N.; ELIMELECH, M. The promise of bank filtration. *Environmental Science & Technology*, nov. 2002, p. 423-428.
25. TYAGI, Shweta; DOBHAL, Rajendra; PRASHANT, L. K. Adlakha; UNİYAL, Singh D. P. Studies of River Water Quality Using River Bank Filtration in Uttarakhand, India. *Water Qual Expo Health*, 2013, v. 5, p. 139–148.
26. VARGAS, M. Introdução à Mecânica dos Solos. Editora McGRAW-HILL do Brasil LTDA. 1978.
27. ZELLHUBER, Andréa; SIQUEIRA, Ruben. Rio São Francisco em descaminho: degradação e revitalização. *Cadernos do CEAS*, Salvador, v. 227, p. 7-32, 2007 Disponível em: <http://cptba.org.br/joomla15/download/artigos/sf_em_descaminho_ceas.pdf>. Acesso em 08 nov. 2015.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS *em apud*

28. DOUSSAN, C.; POITEVIN, G.; LEDOUX, E.; DETAY, M. River bank filtration: modelling of the changes in water chemistry with emphasis on nitrogen species. *J. Contam. Hydrol.* v.25, p.129–156, 1997.
29. HEBERER, T. Tracking persistent pharmaceutical residues from municipal sewage to drinking water. *J. Hydrol*, 2002.
30. SANDHU, C; GRISCHEK, T; KUMAR, P; RAY, C. Potential for riverbank filtration in India. *Clean Technol Environ Policy*, 2011, v.13, p.295–316.
31. SCHWARZENBACH, R. P.; GIGER, W.; HOEHN, E.; SCHNEIDER, J. K. *Environ. Sci. Technol.* 1983, v.17, p. 472–479.
32. WANG, J.; SMITH, J.; DOOLEY, L. Evaluation of riverbank infiltration as a process for removing particles and DBP precursors. In: *Proceedings Water Quality Technology Conf, American Water Works Assoc., Denver, CO*, 1995.