

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE FILTRAÇÃO EM MÚLTIPLAS ETAPAS NO TRATAMENTO DA ÁGUA DE UMA ESCOLA RURAL

PERFORMANCE EVALUATION OF A MULTI-STAGE FILTRATION SYSTEM IN TREATING WATER FOR A RURAL SCHOOL

Bruna Ruback Cascardo de Almeida (autora correspondente)^a, Paula Rafaela Silva Fonseca^a,
Fernanda Deister Moreira^a, Renata de Oliveira Pereira^a

^aUniversidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)

brunaruback102@gmail.com, renata.pereira@ufjf.br, prafaela.sf@gmail.com, fernanda.deister@engenharia.ufjf.br

Submissão: 03 de abril de 2025

Aceitação: 24 de agosto de 2025

Resumo

O Brasil enfrenta muitos desafios em assegurar o acesso universal à água potável, o que fica refletido nos altos índices de doenças de veiculação hídrica do país. A situação é mais crítica nas áreas rurais, que se diferem dos centros urbanos em muitos aspectos e necessitam de tecnologias apropriadas. Este estudo de caso visa avaliar o desempenho de um sistema de Filtração em Múltiplas Etapas (FiME) implementado em uma escola da área rural, de forma a alcançar as exigências da portaria de potabilidade da água de consumo. A avaliação do tratamento da água envolveu análises laboratoriais da água bruta, filtrada e após desinfecção, durante o ano de 2023. Os parâmetros de qualidade analisados foram: cor aparente, turbidez, pH, temperatura, ferro, fósforo, cloro residual livre e *E. coli*. O sistema FiME, demonstrou excelente desempenho com eficiência de remoção de *E. coli* em torno de 80%. As análises da água bruta confirmaram a compatibilidade da qualidade da água com as exigências do sistema de tratamento, mesmo diante das alterações em suas características devido às diferenças no regime de chuva durante o período de um ano, evidenciando sua adequabilidade ao cenário rural. Já as análises da água tratada confirmaram a eficiência do sistema em produzir água potável. O monitoramento do sistema permitiu determinar a periodicidade para limpeza do filtro em aproximadamente quatro meses, para manutenção do bom funcionamento, além de confirmar a necessidade da etapa de desinfecção.

Palavras-chave: filtro lento; qualidade da água; potabilidade; saneamento rural.

Abstract

Brazil faces numerous challenges in ensuring universal access to drinking water, reflected in the high rates of waterborne diseases in the country. The situation is more critical in rural areas, which differ from urban centers in many aspects and require appropriate technologies. This case study aims to assess the performance of a Multiple Stage Filtration (MSF) system implemented in a rural school to meet the requirements of the drinking water potability regulations. The water treatment assessment involved laboratory analyses of raw, filtered, and disinfected water throughout the year 2023. The quality parameters analyzed were: apparent color, turbidity, pH, temperature, iron, phosphorus, free residual chlorine, and *E. coli*. The MSF system demonstrated excellent performance with an *E. coli* removal efficiency of around 80%. Analyses of raw water confirmed its compatibility with treatment system requirements, even amid changes in characteristics due to variations in rainfall throughout the year, highlighting its suitability for the rural setting. Analyses of treated water confirmed the system's efficiency in producing potable water. System monitoring allowed determining a cleaning frequency of approximately four months to maintain optimal functionality and confirmed the necessity of disinfection.

Keywords: slow sand filter; water quality; potability; rural sanitation.

INTRODUÇÃO

O tratamento e a distribuição de água, um dos serviços do saneamento básico, foi reconhecido como um direito humano básico e essencial para o alcance de todos os outros direitos humanos pela resolução A/RES/64/292 da Organização das Nações Unidas (ONU) em 2010 (ONU, 2010). Além disso, garantir a disponibilidade de água, sua gestão sustentável e o acesso universal é um dos dezessete Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Nações Unidas (ONU, 2015).

Além de ser um direito humano e um dos grandes desafios do desenvolvimento, a água potável é fundamental para promoção da saúde humana, de maneira a não oferecer riscos e impedir a propagação das doenças de veiculação hídrica. O acesso a serviços de saneamento básico, incluindo o abastecimento de água tratada, é um fator determinante para a qualidade de vida e a saúde das populações (Brasil, 1990).

No entanto, o Brasil ainda parece enfrentar grandes dificuldades em garantir este direito aos cidadãos. Afirmação esta que pode ser observada nos dados levantados e disponibilizados pelo Ministério da Saúde, os quais revelam mais de 191 mil internações devido a doenças de veiculação hídrica no Brasil e 2306 óbitos pela mesma causa no ano de 2022 (Brasil, 2022).

Este cenário se agrava quando se trata das zonas rurais do país. A Análise Situacional do Saneamento Rural no Brasil, elaborada pela Fundação Nacional de Saúde (Funasa), mostrou que em 2021 apenas 40,5% dos habitantes da área rural tinham atendimento adequado¹ quando se tratava de abastecimento de água. Do restante, 33,5% tinham atendimento precário e 26% não tinham atendimento nenhum (Brasil, 2021).

Muitos são os desafios para implementação do saneamento na zona rural. Dentre eles tem-se a dispersão física, ou seja, distribuição esparsa da população rural no território que dificulta a identificação das demandas e inviabiliza a forma de tratamento e abastecimento convencional de água. O isolamento político e geográfico exige que haja autonomia operacional do sistema por parte da comunidade, além de autonomia financeira

para mantê-lo (Brasil, 2019). Ainda, deve-se levar em consideração a pluralidade cultural dessas comunidades, que precisam aceitar, incluir e participar das alternativas implementadas que poderão alterar as relações destes com a água consumida (Heller, 2022). Dessa forma, conforme o Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR), de 2019, o êxito da política de saneamento em áreas rurais depende da relação entre três eixos estratégicos: Educação e Participação Social; Tecnologia; e Gestão dos Serviços (Brasil, 2019).

Mesmo diante de tantos desafios, já existem algumas soluções alternativas de tratamento de água, coletivas ou individuais, compatíveis com o cenário rural. Dentre elas pode-se citar a filtração lenta, tecnologia que dispensa a coagulação química podendo ser a única etapa do tratamento pré-desinfecção (Di Bernardo; Veras, 2008).

Os filtros lentos são unidades de tratamento de água que reúnem mecanismos físicos de coagem com fenômenos de depuração biológica. Isto é possível por apresentarem baixas taxas de filtração, de forma a elevar o tempo de detenção hidráulica, permitindo o desenvolvimento de um biofilme sobre o meio filtrante (Freitas *et al.*, 2022). Uma vez dispensada a coagulação química, tem-se um processo de tratamento de água muito mais simples, operacional e tecnologicamente, além de não gerar lodo químico. A baixa taxa de filtração é responsável por aumentar o espaçamento entre as lavagens do meio filtrante e manutenções. Além disso, técnicas de limpeza como a raspagem da película biológica, elevam a vida útil do sistema e diminuem custos operacionais (Libânio, 2016).

Além da simplicidade comparada a outros processos, estudos apontam o filtro lento como excelente barreira sanitária, capaz de remover vários patógenos responsáveis por doenças de veiculação hídrica. Essa eficiência é atribuída aos processos que ocorrem junto à camada biológica como predação, competição e liberação de toxinas. Esses processos promovem um ambiente inóspito que impede a multiplicação e promove a inativação de patógenos. Segundo Freitas *et al.* (2021), quando combinado aos outros mecanismos físico-químicos do filtro, a remoção de bactérias, protozoários e vírus pode atingir

¹Adequado: representado pela população que, em todos os casos, não sofre com intermitência prolongada ou racionamento, recebe água potável e apresenta solução complementar às outras fontes.

Precário: população que recebe água fora dos padrões de potabilidade ou com intermitência prolongada no

fornecimento; utiliza água sem segurança sanitária ou em quantidade insuficiente para a proteção à saúde.

Sem atendimento: todas as situações não enquadradas nas definições de atendimento e que se constituem em práticas consideradas inadequadas.

entre 3 e 5 logs de remoção. No entanto, esta camada pode demorar dias ou até semanas para se formar, período conhecido como maturação biológica. Durante este período, a eficiência da purificação é diminuída, fato que se repete a cada limpeza que pode ser espaçada em um período de 45 a 180 dias (Libânio, 2016).

Outro limitante do filtro lento é a necessidade de água bruta com baixos teores de cor (<20 uC), turbidez (<10 uT) e algas (<250 UPA/mL). Isso se dá porque a elevada turbidez ou alta concentração de algas podem ocasionar a redução das carreiras de filtração acelerando sua colmatação e aumentando a frequência da limpeza (Libânio, 2016). Além disso, a filtração lenta não é eficiente na remoção de cor verdadeira, com remoções médias de 30%, provavelmente devido às substâncias húmicas que são melhor removidas a partir do tratamento físico-químico tradicional (Ellis; Wood, 1985).

Em uma tentativa de superar essas limitações, aliou-se ao filtro lento, um pré-filtro, que consiste em uma unidade de filtração grosseira. O pré-filtro é responsável por diminuir o aporte de sólidos da água e amenizar picos de turbidez, tornando a água adequada para a próxima etapa, o filtro lento. O sistema aperfeiçoado da filtração lenta com a adição de uma pré-filtração ficou conhecido como FiME – Filtração em Múltiplas Etapas (PROSAB, 1999; Libânio, 2016).

Destaca-se que a desinfecção não deve ser omitida, ainda que a filtração lenta seja uma eficiente barreira microbiológica, já que a desinfecção funciona como etapa final de segurança do tratamento e da distribuição (PROSAB, 1999; Ochieng *et al.*, 2004).

Em suma, os filtros lentos apresentam elevada viabilidade de emprego em pequenas comunidades devido à simplicidade operacional, à melhor qualidade da água bruta nesses locais e à maior disponibilidade de área, geralmente característico do contexto rural (LIBÂNIO, 2016). Todavia, sua implementação não está isenta de desafios, especialmente quando inserida no contexto mais amplo do saneamento rural. Para além da dispersão geográfica das comunidades há a dificuldade na aceitabilidade do tratamento da água, especialmente em relação à cloração, que pode representar um obstáculo, uma vez que alterações no sabor da água podem gerar resistência por parte da população local (Heller, 2022).

Importante ressaltar que qualquer solução adotada deve estar alinhada aos elementos

normativos do Direito Humano à água e ao saneamento, garantindo disponibilidade, acessibilidade física, segurança, aceitabilidade, acessibilidade econômica, privacidade e dignidade. Somente por meio de uma abordagem integrada, que leve em conta tanto os aspectos técnicos quanto os socioculturais, será possível promover o acesso à água potável de forma sustentável e eficaz (Heller, 2022).

OBJETIVO

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho de uma unidade de Filtração em Múltiplas Etapas (FiME), composta por pré-filtração, filtração lenta e cloração, no tratamento da água de uma escola municipal em área rural na Zona da Mata mineira, visando alcançar os padrões de potabilidade da água de consumo humano, além de identificar os problemas e limitações em relação a implementação e manutenção desse sistema.

METODOLOGIA

Caracterização do local de estudo

O estudo de caso se passa em um distrito da cidade de Juiz de Fora, Minas Gerais. Localizado na zona rural, este se distancia 25 km da sede urbana. A comunidade conta com uma escola municipal que possuía 200 alunos, de 6 a 15 anos, e 36 funcionários no ano de 2023, quando o sistema foi concebido.

Reclamações por parte dos alunos em relação à cor da água e desconfortos gastrointestinais são frequentes, o que direcionou olhares para a água como possível causadora. A propriedade onde a nascente está localizada é privada e consiste em uma área de pastagem, onde o gado também faz uso dessa mesma água para dessedentação.

Assim, para tratar a água de consumo da escola e eliminar possíveis contaminações, deu-se início a implementação de um sistema de tratamento constituído por um pré-filtro, filtro lento e desinfecção por cloração.

Projeto do sistema FiME

O projeto do sistema, realizado por uma organização do terceiro setor, foi baseado em experiências da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Rio Grande do Sul relatadas em um informativo técnico (EMATER/RS, 2021), e em

trocadas realizadas por meio de reuniões envolvendo a Superintendência Estadual de Minas Gerais (Sueste Minas) da Funasa.

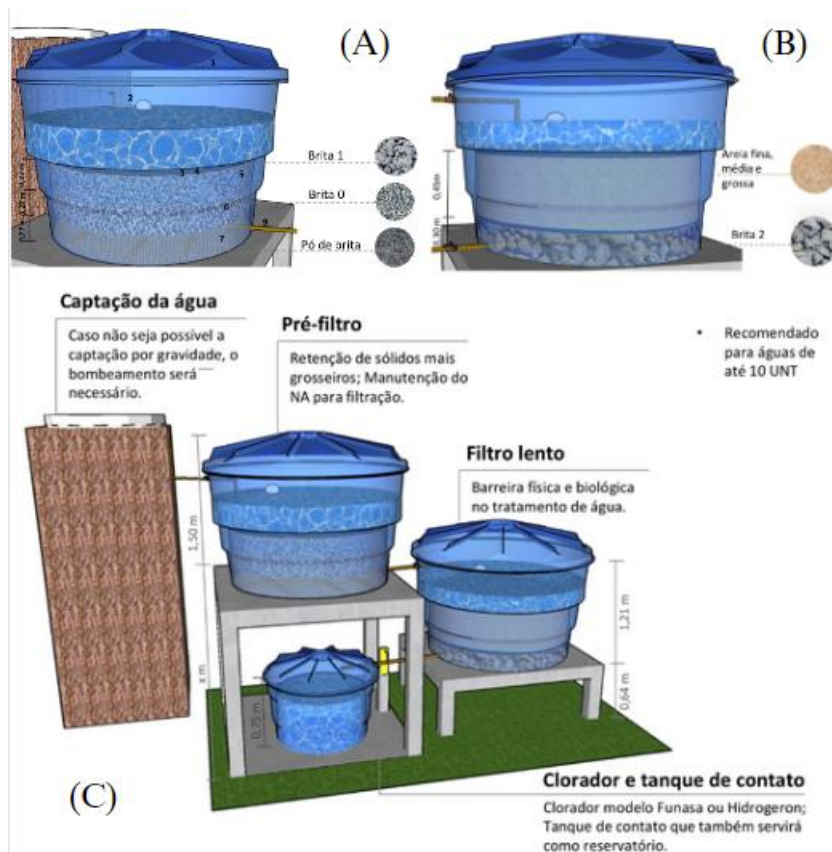
Para o dimensionamento considerou-se uma estrutura com volume de 3 mil litros para o filtro lento e outra de mesmo tamanho para o pré-filtro. O meio filtrante do pré-filtro foi constituído de 3 camadas de brita com diferentes granulometrias. Cada camada possui 20 cm de altura e estão organizadas de forma que a camada constituída de britas de menor granulometria se localiza ao fundo e a de maior no topo (Figura A). Já o filtro lento possui 2 camadas, sendo uma areia, de 45 cm, e outra brita, de 30 cm (Figura 1B).

Segundo a ABNT NBR 9935 de 2011, brita são os agregados graúdos cujos grãos têm diâmetro entre 75 mm e 4,75 mm, e areia são os agregados miúdos cujos grãos têm diâmetro inferior a 4,75 mm e superior a 150 µm (ABNT,

2011). Faz-se necessária a realização de ensaios granulométricos para definição e caracterização detalhada do tamanho dos grãos utilizados para a elaboração do meio filtrante, de forma a estabelecer uma análise minuciosa e contribuir com futuras construções. O dimensionamento deste sistema considerou a mesma taxa de filtração (TAS) máxima para o filtro lento e para o pré-filtro, sendo de 6 m³/m².d.

Após a última camada do meio filtrante, as duas unidades recebem uma manta impermeável não tecido, de Bidim geotêxtil, alternativa capaz de facilitar a limpeza e aumentar as carreiras de filtração, ao impedir a deposição de partículas sobre a areia, sem interferir na eficiência dos filtros (Maciel; Sabogal-Paz, 2020). As mantas de Bidim foram costuradas em arcos de mangueira com o diâmetro correspondente ao interior da caixa d'água.

Figura 1 - Sistema de Filtração em Múltiplas Etapas projetado (C), detalhamento do pré-filtro (A) e do filtro lento (B).



Fonte: autoria própria (2025).

Após o filtro lento, tem-se o clorador, aparelho de fácil operação com dosador de cloro em pastilha (Figura 2). E o tanque de contato, uma caixa d'água de 1000 litros de capacidade, dimensionada para garantir um tempo de

permanência mínimo de 30 minutos, necessário à cloração adequada. A Figura 1C representa todo sistema de tratamento de água projetado. Em seguida há mais 3 caixas d'água que exercem a função de reservatório (previamente existentes na

escola) e finalmente a água é distribuída no local.

Monitoramento

A existência de duas épocas do ano com climas bem definidos em Juiz de Fora traz a necessidade de monitoramento constante da água durante o período de um ano, de forma a

acompanhar todas as fases de qualidade da água bruta. Segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que reúne informações sobre a precipitação no município entre 1991 e 2020, seu período estiagem dá-se durante os meses de junho, julho e agosto, e o período mais chuvoso acontece em novembro, dezembro e janeiro (Brasil, 2020).

Figura 2 - Clorador



Fonte: autoria própria (2025).

Para avaliar se havia diferença significativa na qualidade da água bruta entre os períodos de seca e chuva, foram realizados testes estatísticos. Aplicou-se o teste de U de Mann-Whitney, uma análise não paramétrica utilizada para comparar duas amostras independentes, indicada quando os dados não seguem uma distribuição normal. O teste verifica se as distribuições das duas amostras diferem significativamente, com base na ordem dos valores observados. A análise foi realizada utilizando o *software* STATISTICA 8.0, adotando-se um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$) (Von Sperling; Verbyla; Oliveira, 2020)

Assim, com base na Portaria nº 888, do Ministério da Saúde (Brasil, 2021) e suas sugestões para amostragem de SAC (solução alternativa coletiva de abastecimento de água para consumo humano) e mananciais superficiais, determinou-se a frequência de monitoramento mensal durante o ano de 2023. Logo, uma vez ao mês fez-se a amostragem, com exceção de agosto e novembro, meses nos quais a amostragem foi feita semanalmente com objetivo de se obter uma caracterização detalhada nesses meses que representaram períodos de estiagem e chuva, respectivamente (Tabela 1).

Foram analisadas amostras de água bruta (ponto 1), água filtrada (ponto 2) e água clorada

(ponto 3) (Figura 3). Estas foram preservadas como sugerido e padronizado no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017) e transportadas até o laboratório.

Ressalta-se que até o mês de julho de 2023, a amostragem estava restrita ao ponto 1, onde eram coletadas amostras de água bruta. O sistema de filtração foi implementado neste mesmo mês quando as coletas passaram a incluir o ponto 2 (Figura 3), com a água filtrada. A cloração teve início em 10 de agosto de 2023, e a partir dessa data, a amostragem foi estendida para incluir também o ponto 3, que representa um ponto de consumo no interior da escola.

Os parâmetros analisados e métodos para caracterização da água e acompanhamento do desempenho do filtro estão na Tabela (APHA, 2017). As análises foram realizadas no Laboratório de Qualidade Ambiental da Universidade Federal de Juiz de Fora (LAQUA).

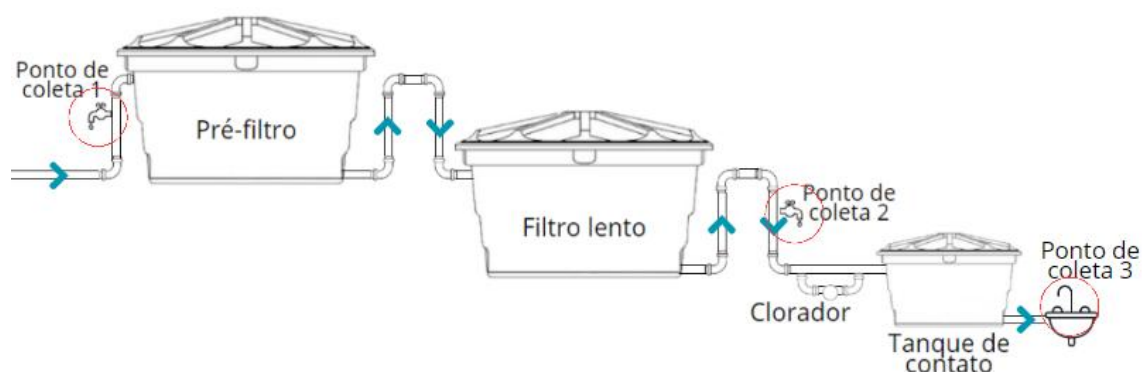
Alguns parâmetros foram medidos *in loco*, como temperatura e cloro livre residual. O pH foi medido em laboratório através de um pHmetro. Vale ressaltar que as amostras coletadas no ponto 3 foram submetidas apenas a análises microbiológicas e quantificação de cloro livre residual.

Tabela 1 - Frequência e cronograma das coletas em 2023

Mês	Dia(s)	Número de coletas	Pontos de Amostragem
Abril	05	1	1
Maio	03	1	1
Junho	06	1	1
Julho	29/06	1	1 e 2
Agosto	01, 08, 15, 22, 29	5	1, 2 e 3
Setembro	12	1	1, 2 e 3
Outubro	03	1	1, 2 e 3
Novembro	31/10, 07, 13, 21, 28	5	1, 2 e 3

Fonte: autoria própria (2025).

Figura 3 - Locais de amostragem da água



Fonte: autoria própria (2025).

Tabela 2 - Parâmetros e métodos analisados

Parâmetros	APHA (2017) / Método
Cor aparente	2120 C
Turbidez	2130 B
pH	-
Condutividade elétrica	2410 B
Temperatura	-
Fósforo	4500-P B.4 e D
Ferro	3500-Fe B
Nitrato	4500-NO3 B
<i>E.coli</i>	ISO 9308-1 ou Teste Colilert
Cloro residual Livre	4500-CI H

Fonte: autoria própria (2025).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Taxa de Aplicação Superficial (TAS)

Durante as visitas em campo, realizou-se a medição da vazão, em triplicata, do ponto 1, e a

partir dos resultados obtidos foi possível estimar a vazão real afluyente ao pré-filtro e ao filtro lento, e conseqüentemente recalculer a TAS. Os resultados indicaram uma TAS de 3,35 m³/m².d, em conformidade portanto com a ABNT NBR 12216 (1992), e inferior ao limite máximo (6

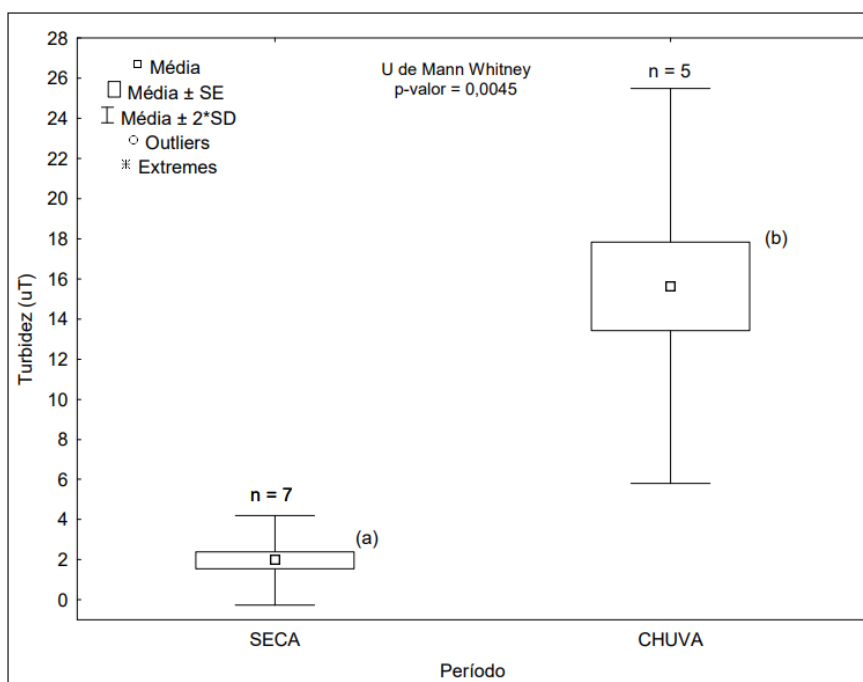
m³/m².d), o que implica em maior margem de segurança.

Turbidez

A água bruta apresentou turbidez média inferior a 10 uT (Figura 5), porém com elevações

significativas durante períodos de chuva intensa (Figura 4). Nos filtros lentos, a turbidez pode ser responsável pela rápida colmatção do meio filtrante, razão pela qual se recomenda que a água bruta apresente valores inferiores a 10 uT (Libânio, 2016).

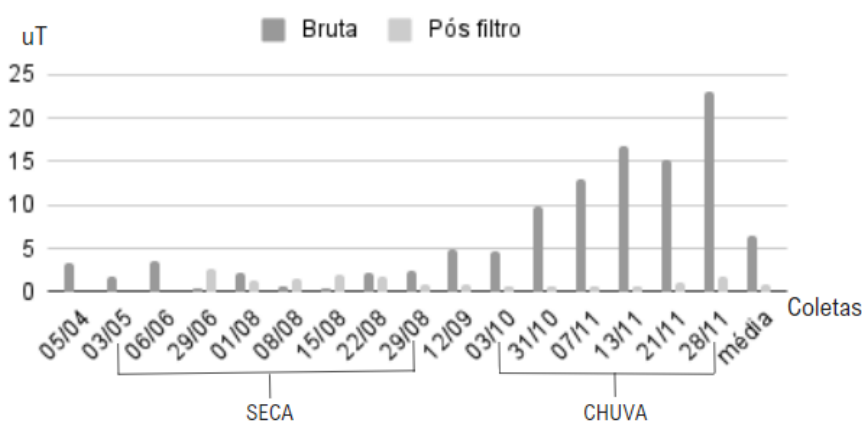
Figura 4 - Análise estatística da turbidez da água bruta na época de seca e chuva



(a,b) Letras diferentes indicam diferença estatisticamente significativa ($p \leq 0,05$) p pelo Teste de U de Mann Whitney.

Fonte: autoria própria (2025).

Figura 5 - Valores de turbidez (uT) das amostras analisadas ao longo do ano de 2023.



Fonte: autoria própria (2025).

Durante o período de estiagem, a turbidez média foi de $1,67 \pm 1,23$ uT, valor que se enquadra no limite recomendado, ao passo que, no período

chuvoso, os valores médios aumentaram para $15,63 \pm 4,92$ uT, ultrapassando o limite de referência para filtros lentos. No entanto, o uso da

pré-filtração tem se mostrado capaz de estender a aplicação da filtração lenta a águas com valores de turbidez de aproximadamente 100 uT, além de serem capazes de absorver picos de até 500 uT (Di Bernardo, 1993). O maior valor registrado, de 23,10 uT em 28 de novembro, reforça a influência das chuvas sobre a qualidade da água e sugere a necessidade de medidas complementares, como a pré-filtração, para garantir a eficiência do sistema.

A aplicação do teste de U de Mann-Whitney confirmou que essa variação sazonal da turbidez é estatisticamente significativa (p -valor $< 0,005$), demonstrando a influência direta das condições climáticas. Esses resultados reforçam a importância da adoção de medidas preventivas, como a incorporação de um pré-filtro ao filtro lento, para mitigar os efeitos do aumento da turbidez nos meses chuvosos.

As análises de 29 de junho, 8 e 15 de agosto demonstraram aumento dos valores de turbidez após a filtração da água bruta. Este fenômeno foi atribuído à impureza do meio filtrante utilizado para a construção do filtro. Diante disto, realizou-se a descontaminação do material com solução hipoclorito de sódio. Dessa forma, as análises estatísticas para avaliação da eficiência de remoção (de todos os parâmetros) pelo filtro não consideraram estes valores, mas as amostras posteriores. No caso da turbidez, para realização das análises e interpretação dos resultados

utilizaram-se os dados coletados a partir de 22 de agosto.

Segundo Di Bernardo (1993), quanto menor a turbidez da água tratada, mais eficiente resulta sua desinfecção, sendo parâmetro indireto da presença ou ausência de alguns microrganismos. Neste contexto, a Portaria nº 888 (Brasil, 2021), que traz o padrão de potabilidade, estabelece um valor máximo de 1,0 uT em 95% das amostras e 2,0 uT no restante das amostras mensais coletadas para água pós filtração lenta.

A eficiência média de remoção dos valores de turbidez pelo sistema de filtração em múltiplas etapas foi da ordem de $80,44 \pm 24,26\%$, gerando água com turbidez média de $1,0 \pm 0,5$ uT (Figura 5). Em novembro, houve um aumento dos valores de turbidez da água pós-filtração, como pode ser observado na Tabela 3. A piora na qualidade da água tratada é um dos indicativos para manutenção do filtro lento, que neste caso, ocorreu depois de aproximadamente quatro meses de operação.

A amostra do dia 21 de novembro ainda estava em concordância com a Portaria nº 888 (Brasil, 2021), no entanto em 28 de novembro o valor saiu do padrão exigido. Esta amostragem representa 10% das amostras, se considerarmos as 10 amostras analisadas (após a limpeza do meio filtrante), e a portaria em questão permite apenas 5% dos valores de turbidez acima de 1 uT.

Tabela 3 - Valores de Turbidez no mês de novembro de 2023

Data	Bruta (uT)	Pós filtro (uT)
31/10	9,9	0,5
07/11	13	0,6
13/11	16,9	0,6
21/11	15,3	1,0
28/11	23,1	1,8

Fonte: autoria própria (2025).

Cor Aparente

A cor verdadeira é um dos parâmetros que necessita de análise por representar um dos parâmetros limitantes do filtro lento. É considerada como um parâmetro organoléptico e pode ser precursora da formação de trihalometanos (THMs), compostos que são prejudiciais à saúde. No presente estudo, entretanto, foi monitorada a cor aparente, que engloba tanto os compostos

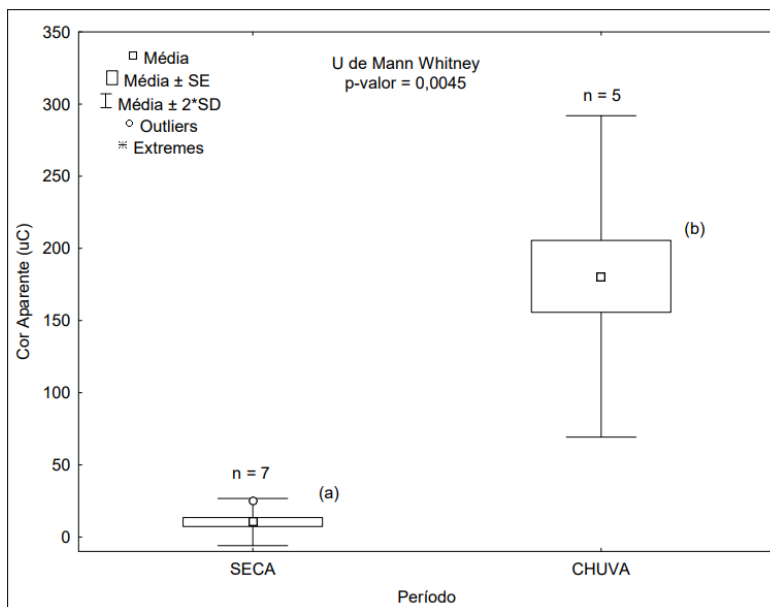
dissolvidos quanto a contribuição de partículas em suspensão para fins de comparação com a Portaria nº 888 (Brasil, 2021). Em relação à água bruta observou-se aumento da cor aparente no período chuvoso de $10,4 \pm 8,2$ uC para $180,6 \pm 55,7$ uC, onde 40% das amostras permaneceram de acordo com o valor recomendado para a tecnologia de filtração lenta que é inferior a 20 uC (Libânio, 2016).

Essa diferença significativa também foi

comprovada pelo teste de U de Mann-Whitney (Figura 6). Observou-se que, assim como a turbidez, a cor da água bruta apresentou aumento expressivo nos meses chuvosos, sugerindo maior aporte de matéria orgânica e sedimentos nesse

período. Esse resultado reforça a influência das condições climáticas sobre a qualidade da água e a necessidade de estratégias adequadas de tratamento.

Figura 6 - Análise estatística da cor aparente da água bruta na época de seca e chuva



(a,b) Letras diferentes indicam diferença estatisticamente significativa ($p \leq 0,05$) pelo Teste de U de Mann Whitney.

Fonte: autoria própria (2025).

Apesar disso, a média de redução da cor pelo sistema de filtração em múltiplas etapas foi da ordem de $80 \pm 28,26\%$ (considerando os resultados a partir de 29 de agosto). Essa elevada eficiência pode estar relacionada a remoção de sólidos suspensos, uma vez que se trata de cor aparente. Dessa forma, a cor se manteve de acordo com a legislação, abaixo de 15 uC. Apenas na última amostragem, a cor excedeu o valor limite, indicando 27,4 uC, o que corroborou para a indicação da necessidade de limpeza do sistema (Figura 7 **Erro! Autoreferência de indicador não válida.**). Importante destacar que a elevada concentração de sólidos dissolvidos na água tratada poderia gerar recusa por parte dos estudantes ou o aumento da formação de THMs.

Escherichia coli

A contaminação fecal pode ser confirmada em 87,5% do total de amostras da água bruta com resultados positivos para as análises de *E. coli* (Figura 9). Estes resultados confirmam a suspeita de contaminação da nascente, provavelmente associada ao uso irrestrito da fonte pelo gado. Tal

fato pode ter sido motivador de infecções nos alunos, como relatado por funcionários da escola. Conforme Oliveira (2024), antes da implementação do sistema FIME, era comum que as crianças apresentassem sintomas gastrointestinais, levando a faltas escolares.

Além disso, pode-se observar aumento da presença desse microrganismo entre os períodos de chuva intensa e estiagem. O teste de U de Mann-Whitney (Figura 8) revelou uma diferença significativa para a concentração do mesmo nos diferentes períodos. Nos meses de junho, julho e agosto, a média geométrica de *E. coli* na água bruta foi de 3,0 UFC/100mL, enquanto o mês de novembro apresentou média geométrica igual a 12,6 UFC/100mL.

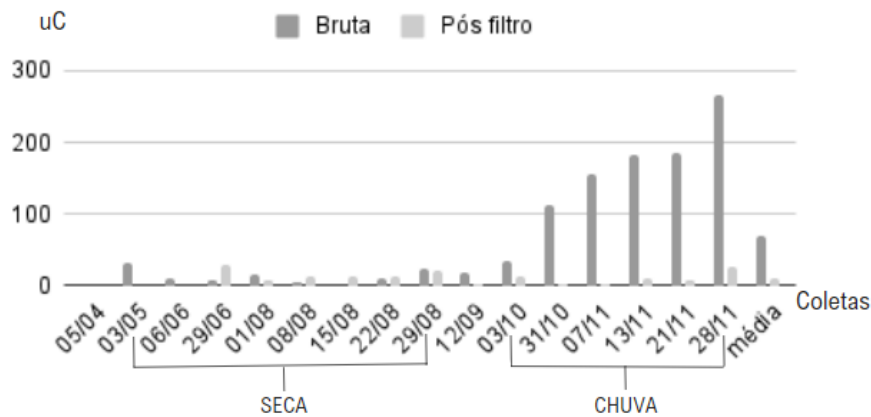
Em relação à água pós filtração, a presença ou ausência de *E. coli* indicam a magnitude da eficiência do processo de potabilidade, além da competência do sistema que promete elevadas remoções. A Portaria nº 888 (Brasil, 2021), estabelece que a água de consumo deve ser isenta de *E. coli*.

Para as análises estatísticas de remoção de

E. coli pelo sistema de filtração, desconsiderou-se os valores em que o meio filtrante mostrou ser a

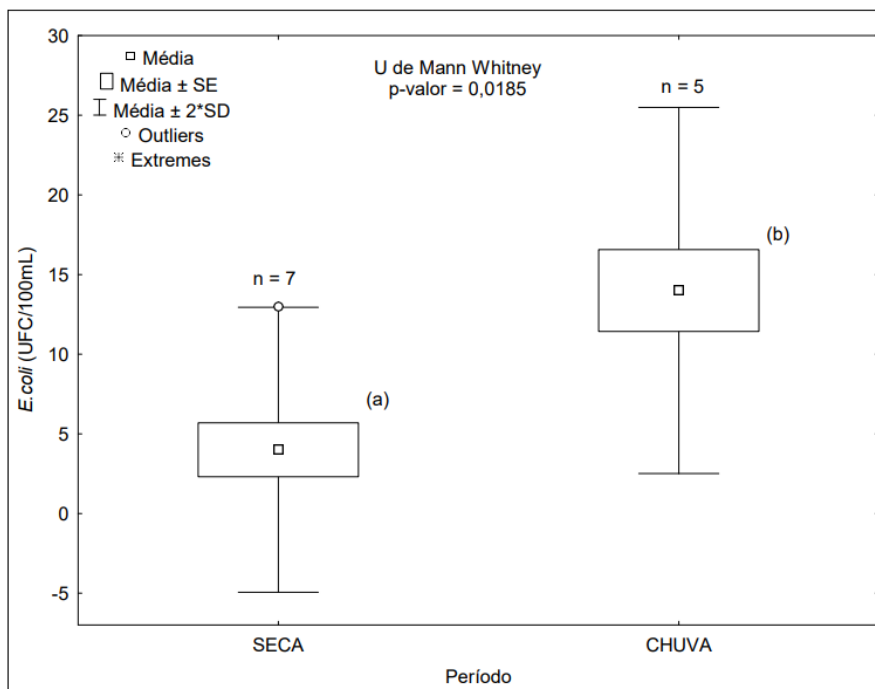
fonte da contaminação da água efluente (dados utilizados a partir de 22 de agosto).

Figura 7 - Valores de cor aparente (uC) nas amostras de 2023



Fonte: autoria própria (2025).

Figura 8 - Análise estatística de *E. coli* da água bruta na época de seca e chuva



(a,b) Letras diferentes indicam diferença estatisticamente significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de U de Mann Whitney.

Fonte: autoria própria (2025).

Diante dos resultados foi possível observar uma remoção de aproximadamente $0,97 \log_{10}$, sendo que as amostras do dia 22 de agosto a 3 de outubro mostraram-se inferiores ao limite de detecção do método ($0,5 \text{ UFC}/100\text{mL}$, segundo Mikkonen *et al.*, 2018). Nas coletas seguintes observou-se uma pequena redução da eficiência da remoção de *E. coli* pelo sistema de filtros, o que

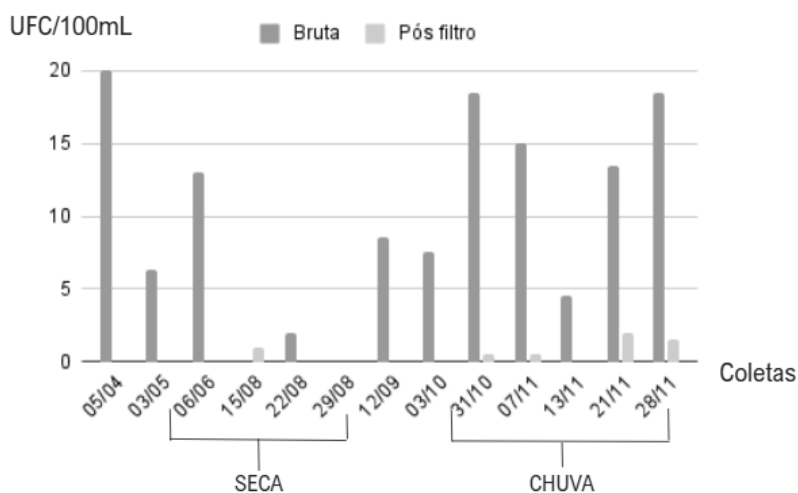
pode ser justificado pelo aumento da presença desse microrganismo na água bruta somado à necessidade de limpeza do sistema.

A desinfecção (nesse caso a cloração) é indispensável, fato que pode ser observado através das análises da água do ponto 3 (Tabela 4). De 9 amostras analisadas, 8 resultaram em ausência de *E. coli*, a única exceção ocorreu em

13 de novembro. O resultado dessa análise trouxe indagações por apresentar valor muito discrepante até mesmo da água bruta. Algumas hipóteses foram levantadas como a falta de manutenção das pastilhas de cloro no clorador durante um período

que não teve aulas (final de semana), fato que foi observado em campo durante a coleta do dia 13 de novembro com o cloro residual livre não sendo detectado (segunda-feira).

Figura 9 - Concentrações de *E. coli* nas amostras analisadas no ano de 2023



Fonte: autoria própria (2025).

Como apresentado por Aleixo *et al.* (2019), as estratégias de tratamento de água devem ser elaboradas para garantir não apenas a qualidade da água, mas também para que os consumidores optem por utilizar esta água. As relações de infraestrutura devem coexistir com o contexto cultural da comunidade, o contrário pode ser justificativo de limitações de ações baseadas exclusivamente na técnica e infraestrutura.

Em casos como o abordado no presente trabalho, em que se trata de uma comunidade rural que não tem hábitos de consumir água com cloro, é importante comunicar-se com os consumidores e adaptar o cenário de forma que haja aceitação da água clorada. No caso estudado observou-se resistência dos alunos em consumir água clorada, em especial devido ao sabor, conforme reportado pelas funcionárias da escola. Diante desse cenário, reuniram-se esforços para a manutenção da concentração mínima de cloro na água, de forma que não gerasse recusa e ainda assim realizasse uma desinfecção eficiente. A pastilha de cloro adicionada ao clorador, que durou em torno de três semanas, gerou um cloro residual livre no ponto 3 de aproximadamente 0,04 a 0,1 mg/L, o que não gerou reclamações por parte dos alunos, ao contrário dos dias em que a concentração de cloro ultrapassou essa faixa.

A Portaria nº 888 (Brasil, 2021), determina o valor mínimo como 0,2 mg/L de cloro residual livre em toda extensão do sistema de distribuição e nos pontos de consumo. E determina o valor máximo permitido de Cloro Residual livre em 5 mg/L. Apesar de o valor encontrado estar abaixo do mínimo estabelecido, o residual de cloro e o tempo de contato foram suficientes para manter a água com ausência do indicador *E.coli*. Assim, as pastilhas de cloro duraram em torno de três semanas, indicando a periodicidade de manutenção desta neste contexto, todavia, destaca-se a constante necessidade de conscientizar sobre a importância do cloro e da sua correta manutenção.

A aceitabilidade, um dos pilares do direito humano à água e ao saneamento, foi inicialmente afetada pela resistência à mudança no gosto da água, devido ao uso de cloro. Contudo, com o tempo e ajustes na dosagem, as crianças se adaptaram à nova realidade, principalmente ao perceberem os benefícios na saúde. Após a instalação do sistema, problemas gastrointestinais nos alunos diminuíram consideravelmente, refletindo positivamente na assiduidade e qualidade de vida deles (Oliveira, 2024).

Além disso, o estudo de Oliveira (2024) evidenciou uma significativa participação da

comunidade escolar nas atividades de manutenção do sistema, alinhada aos princípios da Política Nacional de Saneamento Rural (PNSR). Segundo relatos do estudo, a qualidade

da água se manteve estável e satisfatória, o que reforça a autonomia operacional da escola, essencial para a sustentabilidade do sistema.

Tabela 4 - Concentrações de *E. coli* (UFC/100mL ou NMP/100mL) na água bruta (ponto 1), pós filtração (ponto 2) e pós cloração (ponto 3) e concentração de cloro residual livre (mg/L) no ponto 3

Data	<i>E. coli</i>			Cloro Livre		
	Bruta	Pós filtro	Pós cloração	Unidade	Pós cloração	Unidade
05/04	20	NR	NR	NMP/100mL	NR	mg/L
03/05	6,3	NR	NR	NMP/100mL	NR	mg/L
06/06	13	NR	NR	UFC/100mL	NR	mg/L
29/06	5	35	NR	UFC/100mL	NR	mg/L
01/08	5	30	NR	UFC/100mL	NR	mg/L
08/08	3	26	NR	UFC/100mL	NR	mg/L
15/08	ND	1	NR	UFC/100mL	<LQ	mg/L
22/08	2	ND	ND	UFC/100mL	0,08	mg/L
29/08	ND	ND	ND	UFC/100mL	0,07	mg/L
12/09	8,6	ND	ND	UFC/100mL	ND	mg/L
03/10	7,5	ND	ND	UFC/100mL	ND	mg/L
31/10	18,5	0,5	ND	UFC/100mL	0,22	mg/L
07/11	15	0,5	ND	UFC/100mL	<LQ	mg/L
13/11	4,5	ND	520	UFC/100mL	<LQ	mg/L
21/11	13,5	2	ND	UFC/100mL	0,1	mg/L
28/11	18,5	1,5	ND	UFC/100mL	0,04	mg/L

NR= não realizado; ND= não detectado; LQ= limite de quantificação (0,02 mg/L).

Fonte: autoria própria (2025).

Ferro

O Ferro teve comportamento parecido com o da cor, com aumento de uma média de $0,41 \pm 0,09$ mgFe/L no período de estiagem para uma média de $4,46 \pm 1,36$ mgFe/L no período chuvoso. No entanto, a remoção esteve em torno de 84% e atingiu eficiências de até 98% o que, também pode ser observado por Di Bernardo e Veras (2008) em que a filtração lenta mostrou grande contribuição na redução do teor de ferro, com médias de remoção de até 92,7%. Galvis *et al.* (2002) afirmou que bactérias capazes de oxidar o ferro podem estar presentes no leito filtrante.

A Portaria nº 888 (Brasil, 2021) traz limitações para quantidades de ferro na água de consumo devido aos inconvenientes de caráter estético e a possibilidade de conferir sabor à água. O valor máximo permitido é de 0,3 mg/L, a média dos valores de ferro presente na água pós filtração foi de $0,17 \pm 0,10$ mg/L.

Demais Parâmetros

A temperatura, pH e condutividade elétrica não tiveram grandes alterações durante todo o processo (Tabela 5). Assim como nitrato e fósforo, que tiveram 100% dos seus valores perto ou inferior ao limite de detecção do método. A média do nitrato para as amostras de água bruta quantificadas foi de $0,22 \pm 0,008$ mg/L (2 amostras), portanto de acordo com a legislação que determina um valor máximo de 10 mg/L na água de consumo. O fósforo pode ser um limitante para filtração lenta por colaborar com o desenvolvimento de algas, e por isso foi monitorado, teve um valor médio de $0,77 \pm 1,45$ mg/L para água bruta (7 amostras), e mediana igual a 0,057 mg/L (IQR: 3,24 – 0,05 mg/L), não representando problema.

Em uma análise qualitativa, tais resultados demonstram a estabilidade operacional do

sistema, essa condição reforça a segurança e a qualidade de sua operação, em alinhamento com

os elementos do conteúdo normativo do Direito Humano à Água e ao Saneamento.

Tabela 5 - Valores médios de temperatura, pH e condutividade elétrica

Amostra	Temperatura (°C)		pH		CE (µS/cm)	
	Bruta	Pós-filtro	Bruta	Pós-filtro	Bruta	Pós-filtro
Média (total) (n ₁ =16 e n ₂ =13)	20±2,56	20,7±2,93	6,27±0,26	6,69±0,26	24,86±6,18	44,43±11,02
Média (seca) (n ₁ =7 e n ₂ =6)	17,7±1,64	18,2±1,65	6,20±0,29	6,72±0,38	20,80±5,46	44,99±17,73
Média (chuva) (n ₁ e n ₂ =5)	22,7±0,96	23,5±1,74	6,34±0,12	6,62±0,09	31,67±0,69	45,25±9,00

n₁=número de amostras de água bruta; n₂=número de amostras da água pós filtro.

Fonte: autoria própria (2025).

CONCLUSÃO

O estudo atestou a viabilidade de um sistema FiME para obtenção de água potável em um cenário rural.

As análises laboratoriais demonstraram baixos valores de turbidez e cor na água bruta, indicando qualidade suficiente para uso da tecnologia de filtração lenta. Os resultados indicaram também a presença de contaminação fecal na água bruta anteriormente consumida sem tratamento na escola.

As alterações de regime de chuva durante o ano variavam a qualidade da água bruta, como esperado. Neste contexto, o pré-filtro confirmou ser essencial em conjunto ao filtro lento. A cloração também se mostrou essencial ao sistema como segurança final. A etapa de desinfecção evidenciou a necessidade da participação social para aceitabilidade e consequente bom funcionamento do sistema.

O sistema FiME apresentou bom desempenho, com elevadas remoções, em torno de 80%, de *E. coli*, turbidez e de cor aparente, proporcionando água potável de acordo com os padrões da Portaria nº 888/2021.

O monitoramento realizado permitiu determinar a periodicidade da manutenção do sistema, sendo necessária limpeza do meio filtrante a cada quatro meses, aproximadamente, e a troca das pastilhas de cloro a cada três semanas.

A tecnologia demonstrou contribuir de maneira significativa para dois elementos essenciais do Direito Humano à Água e ao

Saneamento: qualidade e aceitabilidade. A melhoria na qualidade da água, com a redução de problemas gastrointestinais entre os alunos, reflete o cumprimento do direito à água segura e adequada. Simultaneamente, a adaptação gradual da comunidade escolar ao novo sabor da água e o aumento na aceitação do sistema indicam que a aceitabilidade foi conquistada ao longo do tempo.

Por fim, ficou evidente a necessidade de se integrar técnica ao contexto da comunidade para o alcance de resultados satisfatórios. Para o maior detalhamento das informações e dos resultados deste trabalho, sugere-se dar prosseguimento ao monitoramento do sistema e sensibilização contínua para uma correta manutenção do sistema.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à equipe da Global WaSH pela sua determinação em desenvolver e realizar este projeto, ao Instituto Albert Sabin pelo suporte financeiro fornecido, à Universidade Federal de Juiz de Fora, em especial ao LAQUA (Laboratório de Qualidade Ambiental), e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio por meio do projeto nº 303915/2025-0, que viabilizaram a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEIXO, B. *et al.* *Infrastructure is a necessary but insufficient condition to eliminate inequalities in*

access to water: research of a rural community intervention in Northeast Brazil. *Science of the Total Environment*, v. 652, p. 1445-1455, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/328298736_Infrastructure_is_a_necessary_but_insufficient_condition_to_eliminate_inequalities_in_access_to_water_Research_of_a_rural_community_intervention_in_Northeast_Brazil. Acesso em: 20 nov. 2023.

APHA-AWWA-WEF. 23rd ed. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington, DC, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12216**: projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público – Procedimento. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9935**: agregados-terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

BRASIL. **Lei nº 8080, de 19 de setembro de 1990**. Dispõe sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde, a organização e o funcionamento dos serviços correspondentes e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, 20 set. 1990. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8080.htm. Acesso em: 07 jul. 2023.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB**. Brasília, DF, maio 2013. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/plansab>. Acesso em: 20 out. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 888, de 7 de maio de 2021**. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF, 7 maio 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em: 20 nov. 2023.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **PNSR – Programa Nacional de Saneamento Rural**. Brasília: Funasa, 2019, 260 p. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38564/MNL_PNSR_2019.pdf/08d94216-fb09-468e-ac98-afb4ed0483eb. Acesso em: 09 set. 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet). **Normais Climatológicas do Brasil, 1991-2020**. Brasília-DF: INMET, 2020. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>. Acesso em: 26 mai. 2023.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Programa Nacional de Saneamento Rural: Análise Situacional do Saneamento Rural no Brasil / Fundação Nacional de Saúde**. 1. ed. Brasília, DF: Funasa, 2021, 103 p., il. (Série Subsídios ao Programa Nacional de Saneamento Rural, v. 2). Disponível em: <https://repositorio.funasa.gov.br/handle/123456789/663>. Acesso em: 10 ago. 2023.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Programa Nacional de Saneamento Rural PNSR: eixos estratégicos, aspectos teórico-conceituais da gestão, educação e participação social/Fundação Nacional de Saúde**. 1. ed. Brasília, DF: Funasa, 2021, 103 p., il. (Série Subsídios ao Programa Nacional de Saneamento Rural, v. 3, t. 2). Disponível em: https://repositorio.funasa.gov.br/bitstream/handle/123456789/664/SUBSIDIOS_VOL3_TOMO2_GE_STAO_EDUCACAO_PARTICIPACAO.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 10 set. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. DATASUS. **Tabnet**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2022. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?siab/cn v/SIABCbr.def>. Acesso em: 3 ago. 2023.

BRASIL. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Painel Saneamento Brasil**. Brasília, DF, 2023. Disponível em: <https://www.painelsaneamento.org.br/saneamento-mais/por-ano?id=1&S%5Bid%5D=0>. Acesso em: 10 set. 2023.

DI BERNARDO, L. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. Rio de Janeiro: ABES, 1993. v. I e II.

DI BERNARDO, L.; BRANDÃO, C. C. S.; HELLER, L. **Tratamento de águas de abastecimento por filtração em múltiplas etapas**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. Disponível em: http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/aguas_de_abastecimento.pdf. Acesso em: 15 set. 2023.

DI BERNARDO, L.; VERAS, L. R. V. Tratamento de água de abastecimento por meio da tecnologia de filtração em múltiplas etapas – *FIME*. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 13, n. 1, p. 109-116, mar. 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/RtTSgwpct55VMzQ8WYrkwWM/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 26 ago. 2025.

ELLIS, K. V.; WOOD, W. E. Slow sand filtration. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 15, n. 4, p. 315-354, 1985. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10643388509381736>. Acesso em: 10 nov. 2023.

FONSECA, P. R. S. *et al.* Instalação de barreira sanitária em uma escola rural de Juiz de Fora, Minas Gerais. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL, 18, 2023, Belo Horizonte. **Anais [...]** v. 18, n. 1, 2023. Disponível em: <https://anais.eneds.org.br/index.php/eneds/article/view/795>. Acesso em: 20 abr. 2024.

FREITAS, B. L. S. *et al.* A critical overview of household slow sand filters for water treatment. **Water Research**, v. 208, p. 117870, jan. 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135421010642>. Acesso em: 10 ago. 2023.

FREITAS, B. L. S. *et al.* Filter media depth and its effect on the efficiency of household slow sand filter in continuous flow. *Journal of Environmental Management*, v. 288, p. 112412, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479721004746>. Acesso em: 10 ago. 2023.

GALVIS, G.; LATORRE, J.; GALVIS, A. Multi-Stage Filtration Technology. Cap.16. In: Small community water supplies. The Hague: IRC International Water and Sanitation Center, 2002, pp. 121-345. (IRC Technical Paper Series, No 40). Disponível em:

https://www.ircwash.org/sites/default/files/Smet-2002-Small_TP40.pdf. Acesso em: 15 nov. 2023.

HELLER, L. **Direitos Humanos à Água e ao Saneamento**. 1. ed. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2022.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 4. ed. Campinas: Átomo, 2016.

MACIEL, P. M. F.; SABOGAL-PAZ, L. P. Household slow sand filters with and without water level control: continuous and intermittent flow efficiencies. **Environmental Technology**, v. 41, n. 8, p. 944-958, mar. 2020. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/10.1080/09593330.2018.1515988>. Acesso em: 16 set. 2023.

MIKKONEN, H. G.; CLARK, B. O.; DASIKA, R.; WALLIS, C. J.; REICHMAN, S. M. Evaluation of methods for managing censored results when calculating the geometric mean. **Chemosphere**, v. 191, p. 412-416, jan. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.038>. Acesso em: 27 jun. 2025.

OCHIENG, G. M. M. *et al.* Performance of multistage filtration using different filter media against conventional water treatment systems. **Water SA**, v. 30, n. 3, p. 361-367, aug. 2004. Disponível em: <https://www.ajol.info/index.php/wsa/article/view/5085>. Acesso em: 08 ago. 2023.

OLIVEIRA, A. P. **Impactos da implantação de um sistema simplificado de tratamento de água em área rural**: estudo de caso de uma escola em Monte Verde, Juiz de Fora. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Juiz de Fora, MG, 2024, 64 p. Disponível em: <https://repositorio.ufjf.br/jspui/bitstream/ufjf/17933/1/anapauladeoliveira.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Resolução 64/292**: The human right to water and sanitation. Geneva: ONU, 28 jul. 2010. Disponível em: http://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human_right_to_water_and_sanitation_media_brief_por.pdf. Acesso em: 02 set. 2023.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS.
Department of Economic and Social Affairs. **The Millennium Development Goals Report 2015**.
New York: United Nations, 2015.

PORTAL DA PREFEITURA DE JUIZ DE FORA
(PJF). **Características**. Disponível em:

<https://www.pjf.mg.gov.br/institucional/cidade/caracteristicas.php>. Acesso em: 08 jun. 2023.

SPERLING, M. von; VERBYLA, M. E.; OLIVEIRA, S. M. A. C. **Assessment of Treatment Plant Performance and Water Quality Data: A Guide for Students, Researchers and Practitioners**. 1. ed. London, UK: IWA Publishing, 2020. 640 p.