

378 - AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DA SOLUÇÃO ALTERNATIVA COLETIVA SIMPLIFICADA DE TRATAMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO EM PEQUENAS COMUNIDADES (SALTA-Z) - CONFIGURAÇÃO E OPERAÇÃO

Luiza Vital Oliveira⁽¹⁾

Engenheira Ambiental, Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Engenharia Civil, área de concentração Sanitária e Ambiental (UFV).

Rafael Kopschitz Xavier Bastos

Engenheiro Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Especialização em Engenharia de Saúde Pública (ENSP/FIOCRUZ), PhD em Engenharia Sanitária (University of Leeds, UK), Professor Titular - Departamento de Engenharia Civil (UFV).

Bruno Moreno Ramos da Silva

Engenheiro Ambiental (UFV). Mestre, Doutor e Pós-Doutorando em Engenharia Civil, área de concentração Sanitária e Ambiental (UFV).

Bruna Queiroz de Souza

Engenheira Ambiental (UFV), Mestranda em Ciências Florestais (UFV).

Nádia Almeida Machado

Graduanda em Engenharia Ambiental (UFV).

Endereço⁽¹⁾: Rua Pedro Gomide Filho, nº 95, ap. 104 – Clélia Bernardes – Viçosa – Minas Gerais – CEP: 36.570-288 - Brasil - Tel: +55 (31) 99587 - 1022 - e-mail: luiza-vital@hotmail.com.

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi avaliar o desempenho da Salta-z em diferentes condições operacionais, mais especificamente em relação às etapas de coagulação e desinfecção. Foi instalada uma unidade da Salta-z nas dependências da estação de tratamento de água (ETA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), com os mesmos elementos constituintes de sua concepção original, acrescidos de um filtro de areia (em paralelo ao de zeólita) e tanques de contato após cada filtro. O procedimento de iniciar a dosagem de coagulante após 20 min de enchimento do decantador, com abertura parcial do dosador, e abertura completa apenas nos 10 minutos finais, se mostrou o mais adequado, permitindo a manutenção de valores de turbidez abaixo de 0,30 uT na água filtrada, em ambos os filtros, de areia e zeólita. Para a etapa de desinfecção, o arranjo operacional que apresentou melhor desempenho foi a cloração pós-filtração com o tanque de contato operado em batelada e com o dosador de coagulante para dosagem do cloro. Essa configuração acarretou economia na quantidade de desinfetante utilizada, apresentou operação mais simples (especificamente quanto à operação do dosador), permitiu o alcance dos tempos de contato necessários e propiciou melhor controle e manutenção do residual de cloro ao longo do tempo.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de água, Coagulação, Desinfecção, Turbidez.

INTRODUÇÃO

O direito humano à água e ao esgotamento sanitário (DHAES) é internacionalmente reconhecido desde 2010 a partir da aprovação pela Assembleia Geral das Nações Unidas da Resolução A/RES/64/292 (ONU, 2018). Além disso, o acesso universal à água potável e ao saneamento é também parte dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 da ONU, mais especificamente o ODS 6. Apesar disso, em muitos países, incluindo o Brasil, esse direito ainda não é garantido à toda a população, especialmente quando se trata de populações tradicionais, rurais e periféricas. (BRASIL, 2019)

A Salta-z, desenvolvida por técnicos do Serviço de Saúde Ambiental da Superintendência Estadual da Funasa no Pará, é apresentada como uma tecnologia de interesse social, simplificada, de baixo custo, com capacidade de produzir água segura para consumo humano e voltada ao abastecimento de pequenas comunidades rurais, ribeirinhas e outros povos e comunidades tradicionais (SANTOS; CARVALHO, 2018). Segundo técnicos da Funasa, inicialmente, a Salta-z foi pensada para o tratamento de águas subterrâneas com elevados teores de ferro e manganês e, por isso, contava apenas

com as etapas de filtração e desinfecção e foi utilizada a zeólita como material para o leito filtrante. Posteriormente, foi adaptada para tratamento de águas superficiais, incorporando as etapas de coagulação, floculação e decantação, mas mantendo a zeólita como leito filtrante.

Nos últimos anos, a Salta-z tem sido implantada em diversas regiões do país. Em boletim informativo de 2018 publicado pela Funasa, a instituição tinha como objetivo a instalação de 565 unidades, distribuídas em 54 municípios e 20 estados brasileiros (BRASIL, 2018). De acordo com Machado et al. (2021), por ter sido desenvolvida para sanar problemas de acesso à água potável no Pará, a Salta-z possui boa aceitação na região. Entretanto, os autores ressaltam que, ao replicar a tecnologia para outras regiões do país, começaram a surgir problemas de aceitabilidade, relacionadas a questões de educação, mobilização, engajamento e cultura hídrica de cada localidade. Além disso, há relatos de problemas no atendimento do padrão de potabilidade, mais especificamente, do padrão de turbidez da água filtrada (Rocha e Braga, 2021).

Assim, apesar da crescente aplicação da Salta-z em várias regiões do país, houve reconhecimento por parte da própria Funasa da necessidade de uma avaliação do desempenho desta unidade de tratamento de água e, eventualmente, de revisões / adaptações em termos de configuração e operação. O presente estudo foi desenvolvido em parceria com a Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) e fez parte de um projeto maior de avaliação da Salta-z realizado pela Fiocruz para a Funasa. No presente trabalho são apresentados resultados do desempenho da Salta-z em diferentes arranjos operacionais, com foco nas etapas de coagulação e na desinfecção.

MATERIAL E MÉTODOS

A SALTA-Z

Para o tratamento de água superficiais, a Salta-z compreende todas as etapas do tratamento convencional: coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção. Maiores detalhes sobre a concepção do sistema, as dimensões das unidades, peças e acessórios e aspectos operacionais podem ser encontrados no “Manual da Salta-z” (BRASIL, 2017). Uma unidade da Salta-z, fornecida pela Funasa, foi instalada nas dependências da ETA UFV de forma adaptada às condições locais em termos de disponibilidade de área e relevo (Figura 1). A unidade era alimentada a partir de uma derivação da adutora de água bruta da ETA UFV, sendo bombeada para um reservatório de água bruta de 5.000 L, a partir do qual o sistema era alimentado por gravidade.

De acordo com a configuração original da Salta-z, a floculação era efetuada em uma caixa d'água de 5.000 L, onde também se dá a decantação, em operações em batelada. Na tubulação entre o reservatório de água bruta e o decantador foi instalado o dosador de coagulante e um ponto para coleta de amostras de água bruta e medição de vazão. Após o decantador foram instalados dois filtros idênticos em dimensões, em paralelo, para filtração rápida descendente: 300 mm de diâmetro, 30 cm de material suporte (areia de 2,38 mm a 4,76 mm) e 70 cm de altura do leito filtrante, sendo um de zeólita (concepção original da Salta-z) e o outro de areia natural de rio. No arranjo original da Salta-z a desinfecção é realizada antes filtração, sem tanque de contato. No presente estudo duas caixas d'água de 1.000 L (uma para cada filtro) foram instaladas como tanques de contato. O sistema foi montado de forma a permitir a desinfecção pré (concepção original da Salta-z) e pós filtração.

COAGULAÇÃO

A coagulação era realizada na tubulação de alimentação do decantador / floculador, ao logo do enchimento da unidade (2h e 20 min). Testes iniciais permitiram as seguintes observações:

- ao final de uma operação, percebeu-se que o descarte do lodo não ocorria completamente, ou seja, ainda restava lodo no fundo do decantador. Supôs-se que o contato direto do coagulante com o lodo de fundo provocava ressuspensão de partículas sedimentadas, resultando em consumo do coagulante, o que prejudicaria o processo;
- quando o registro do dosador de coagulante era aberto completamente no início da operação, foi observada queda brusca do pH da água bruta (7,5) para a água coagulada (4,8), logo depois de iniciada a dosagem. Com este tipo de operação, houve prejuízo na eficiência dos processos subsequentes do tratamento. Inferiu-se, então, que a dosagem tenha ocorrido como em um único pulso, somente nos minutos iniciais;

- com a abertura apenas parcial do registro do dosador, a dosagem, aparentemente, passou a ocorrer de forma gradual durante o enchimento do decantador; entretanto, ao final da operação ainda se observava presença de residual de coagulante no dosador



Figura 1. Configuração das unidades da Salta-z instaladas nas dependências da UFV.

Isso constatado, foram avaliados os seguintes procedimentos: (A) iniciar a dosagem de coagulante, com abertura parcial do registro do dosador, após 20 min do início do enchimento do floculador / decantador (para evitar contato direto do coagulante com o lodo remanescente no fundo da unidade), e abertura total nos 10 min finais (em busca de do dosagem gradual e contínua); (B) iniciar a dosagem de coagulante junto com o início do enchimento do floculador / decantador, com abertura parcial do registro, e abertura total nos 10 min finais. Tendo-se confirmada a pertinência de aguardar 20 minutos para iniciar a dosagem de coagulante, assim procedendo, foram testadas três variações de abertura do registro do dosador de coagulante: (1) iniciar a dosagem com abertura parcial do registro e abertura total nos 10 min finais; (2) iniciar a dosagem com o registro completamente aberto e assim mantê-lo até o final; (3) iniciar a dosagem com abertura parcial do registro e assim mantê-lo até o final.

Os experimentos foram realizados para água bruta com turbidez baixa (≈ 10 uT) e alta (≈ 500 uT). Para definição da dose de coagulante para cada ensaio, foram realizados ensaios de jarros com as seguintes configurações: (i) mistura rápida (coagulação) : $T_m = 10$ s; $G_m = 600$ rpm (1100 s⁻¹) (máximo valor possível no equipamento de jar-test, considerando o gradiente de velocidade de 2921 s⁻¹ calculado para a Salta-z nas condições desse trabalho); (ii) floculação: $G_f = 30$ rpm (20 s⁻¹), $T_f = 6.600$ s; (ii) $G_f = 20$ rpm (10 s⁻¹), $T_f = 600$ s (como não foi possível calcular os gradientes da floculação, foram utilizados os dois menores gradientes disponíveis no equipamento); (iii) tempo de decantação : $T_s = 9,6$ min (correspondente a 3 horas em escala real).

Turbidez e pH foram medidos pontualmente na água bruta e na água decantada; o pH foi avaliado em intervalos de 20 minutos na água coagulada e na água floculada; na água filtrada a turbidez foi medida em intervalos de 10 minutos, ao longo das carreiras de filtração. As carreiras de filtração eram encerradas quando todo o volume de água era tratado. A turbidez foi determinada com turbidímetro portátil, marca Hach, modelo 2100QISO1 e o pH foi medido em pHmetro de bancada, marca DIGIMED, modelo DM-22.

DESINFECÇÃO

De início, a dosagem do cloro era realizada com o dispositivo desenvolvido pela Funasa para a Salta-z, denominado “dosador de cloro” (BRASIL, 2017) (Figura 2). Entretanto, a operação desse dosador mostrou dificuldades, pois diversas manobras com os registros eram requeridas para que a dosagem fosse iniciada e a quantidade de hipoclorito de cálcio (65% m/m) granulado necessária para que ocorresse a dosagem era muito elevada (entre 150 g e 300 g, como recomendado por técnicos da Funasa). Sendo assim, decidiu-se avaliar a cloração também com o dispositivo que no “Manual da Salta-z” (BRASIL, 2017) é chamado de “dosador de coagulante” (Figura 2), mas que em outra publicação da Funasa (BRASIL, 2014) é recomendado também para dosagem de cloro.

Foram realizados ensaios de cloração para diferentes arranjos com os dois filtros (zeólita e areia): (i) cloração pré e pós filtração; (ii) “dosador de cloro” e “dosador de coagulante” para adição do hipoclorito de cálcio; (iii) inclusão de tanques de contato após os filtros, operados em regime de batelada e em fluxo contínuo¹. Com o dosador de cloro, foram utilizados 200 g de hipoclorito de cálcio; para o dosador de coagulante foram utilizados 8,6 g nos ensaios em fluxo contínuo e 4,3 g nos ensaios em batelada. Análises de cloro foram realizadas na água desinfetada em intervalos de 10 minutos, sendo que o monitoramento do cloro residual na saída do tanque de contato só era iniciado após o enchimento da unidade, cerca de 50 minutos. O cloro residual foi determinado de em medidor de cloro portátil, marca PoliControl AquaColor Cloro.



Figura 2. Dosador de cloro (esquerda) e dosador de coagulante (direita), ambos utilizados para desinfecção no presente estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS PARA COAGULAÇÃO

Primeiramente, cabe um esclarecimento quanto aos tempos de decantação considerados neste trabalho. O “Manual da Salta-z” (BRASIL, 2017) recomenda “aguardar o tempo mínimo de 20 minutos para que aconteça o processo de floculação e decantação. Ressalta-se que tempos maiores favorecem a clarificação”. Embora não haja um limite de turbidez pré-filtração, sabe-se que quanto mais baixa a turbidez da água decantada, menor será a colmatação do filtro e, conseqüentemente, as carreiras de filtração serão mais longas. Nos experimentos realizados com a Salta-z, percebeu-se que os tempos de decantação necessários para garantir desempenho da decantação tão eficiente quanto a produção de turbidez da água decantada igual ou menor do que 5 uT foram bastante elevados (cerca de 16 a 17 horas). Nos casos de turbidez mais elevada da água bruta, mesmo após esse tempo a turbidez na água decantada esteve pouco abaixo de 10 uT.

A Tabela 1 apresenta os resultados da turbidez e pH da água bruta e da água decantada e o pH dentro do dosador de coagulante ao final da operação. Foram aplicadas a mesma dose de coagulante (12 mg $Al_2(SO_4)_3/L$), definida em jar-test, e o mesmo tempo de decantação (17 horas) para ambos os procedimentos.

Tabela 1. Turbidez e pH da água bruta e da água decantada e pH dentro do dosador, procedimentos de coagulação A e B

Procedimento de coagulação	Água bruta		Água decantada		pH dentro do dosador de coagulante
	Turbidez (uT)	pH	Turbidez (uT)	pH	
A	159	7,4	3,2	6,7	4,3
B	132	7,1	5,5	6,7	4,4

(A) dosagem de coagulante iniciada com abertura parcial do registro do dosador após 20 min do início do enchimento do floculador / decantador e abertura total nos 10 min finais; (B) dosagem de coagulante junto com o início do enchimento do floculador / decantador, com abertura parcial do registro, e abertura total nos 10 min finais

¹Na operação em fluxo contínuo, o tanque de contato era alimentado continuamente pelo filtro e a coleta de amostras de água era realizada na saída do tanque, ou seja, na tubulação de água clorada. Já na operação em batelada, o tanque era esvaziado, procedia-se à filtração até encher o tanque de contato e, encerrada a filtração, iniciava-se o acompanhamento do cloro residual no tanque.

Sabe-se que as reações sequenciais de hidrólise do coagulante, ao entrar em contato com a água, promovem liberação de íons H^+ , ocasionando diminuição do pH da solução (AMIRTHARAJAH; MILLS, 1982). Em ambos os procedimentos foi observada a diminuição do pH da água bruta (7,4 e 7,1 com os procedimentos A e B, respectivamente) para a água coagulada (6,5 e 6,6 com os procedimentos A e B, respectivamente), indicando que a dosagem de coagulante estava ocorrendo.

No procedimento A, o pH da água coagulada se manteve estável até o momento da abertura final do registro do dosador, indicando que a dosagem ocorreu de forma mais homogênea/uniforme durante o enchimento de decantador. No procedimento B, o pH da água coagulada apresentou tendência de aumento ao longo do tempo, indicando que a dosagem caiu durante o enchimento decantador, ou seja, não se deu de forma tão uniforme como no primeiro caso. Em ambos os casos, houve queda do pH ao final da operação para valores em torno de 5, por conta da abertura completa do registro do dosador. Nos dois casos, ao final da operação foram registrados valores baixos de pH na água dentro dos dosadores (4,3 - 4,4), o que sugere a permanência ali de residuais de coagulante. Não obstante, para o mesmo tempo de decantação (17 horas), a turbidez da água decantada para o procedimento A (3,2 uT) foi ligeiramente mais baixa do que para o procedimento B (5,5 uT), correspondendo a eficiências de remoção de 98% e 96% nos procedimentos A e B, respectivamente.

Quanto à filtração, a eficiência foi similar para ambos os procedimentos, tendo sido mantidos valores de turbidez abaixo de 0,20 uT após os filtros ao longo da carreira de filtração, o que indica que os dois procedimentos foram capazes de promover a desestabilização das partículas em suspensão, resultando em elevada eficiência da filtração. Sendo assim, o procedimento A, de iniciar a dosagem somente após 20 min de enchimento do decantador, não se mostrou estritamente necessário, mas pode trazer benefícios tais como a queda mais amena do pH durante a coagulação e floculação e, por conseguinte, decantação mais eficiente. Por esse motivo, optou-se por manter o procedimento A nos ensaios seguintes de avaliação da operação de abertura do registro do dosador de coagulante.

Na Tabela 2 apresentam-se os resultados da turbidez e pH da água bruta e da água decantada e o pH dentro do dosador de coagulante ao final das operações. Para turbidez baixa da água bruta, foram aplicados a mesma dose de coagulante (8 mg $Al_2(SO_4)_3/L$), definida em ensaio de jarro, e o mesmo tempo de decantação (16 horas) para os três procedimentos. Para turbidez alta da água bruta, a dose de coagulante definida em ensaio de jarro foi de 14 mg $Al_2(SO_4)_3/L$ e o tempo de decantação também foi o mesmo (17 horas) nos três procedimentos.

Tabela 2. Turbidez e pH da água bruta e da água decantada e pH dentro do dosador - procedimentos de coagulação 1, 2 e 3.

Procedimento de coagulação		Água bruta		Água decantada		pH dentro do dosador de coagulante
		Turbidez (uT)	pH	Turbidez (uT)	pH	
Turbidez baixa	1	10	7,2	1,3	6,9	4,2
	2	8,7	7,1	3,4	6,8	4,7
	3	11	7,1	2,2	7,0	3,6
Turbidez alta	1	500	7,4	9,3	6,7	4,3
	2	447	7,2	49	6,4	4,1
	3	463	7,1	8,6	6,8	3,9

(1) dosagem de coagulante iniciada com abertura parcial do registro e abertura total nos 10 min finais; (2) dosagem de coagulante iniciada com o registro completamente aberto e assim mantido até o final; (3) dosagem de coagulante iniciada com abertura parcial do registro e assim mantido até o final.

O Procedimento 2 resultou no pior desempenho do sistema, tanto na etapa de decantação quanto na filtração. Com esse procedimento, foram alcançadas eficiências de remoção de turbidez de 61% e 89% para água bruta de 8,7 uT e 447 uT; porém, a turbidez da água decantada ao final da decantação para a água bruta de elevada turbidez foi de 49 uT, situação na qual não foi possível realizar a filtração. Mesmo no caso da água bruta com baixa turbidez, ainda que tenha sido alcançado um valor mais baixo de turbidez na água decantada, a filtração não ocorreu de forma eficiente, em ambos os filtros, dado que a turbidez da água filtrada se manteve entre 0,50 uT e 0,70 uT após o filtro de areia e entre 0,40 uT e 0,60 uT após o filtro de zeólita, por toda a carreira de filtração.

Com o Procedimento 1, foram alcançadas eficiências de remoção de turbidez de 87% e 98% para água bruta de 10 uT e 500 uT, respectivamente; já o Procedimento 3 resultou em eficiências de 79% e 98% para a água bruta com 11 uT e 463 uT, respectivamente. Quanto à filtração, para água bruta com baixa turbidez, o desempenho com ambos os procedimentos foi eficiente e similar: a água filtrada manteve turbidez abaixo de 0,30 uT por toda a carreira, para ambos os filtros. Já para água com elevada turbidez, o comportamento dos filtros foi similar nos primeiros 100 minutos para ambos os procedimentos, sendo que a turbidez da água filtrada se manteve ligeiramente mais baixa em ambos os filtros na operação com o Procedimento 1 (menor ou igual a 0,15 uT) do que no Procedimento 3 (entre 0,20 e 0,15 uT). Entretanto, ao final das carreiras com o Procedimento 3 ocorreu aumento da turbidez da água filtrada (0,27 uT no filtro de areia e 0,38 uT no de zeólita), o que poderia ser indicativo do trespasse; porém, como a água do decantador acabou, a operação foi encerrada e não foi possível confirmar se esse aumento de fato indicava trespasse. Dessa forma, entende-se que, para os procedimentos 1 e 3, o desempenho do sistema se mostrou similar, principalmente para água bruta com baixa turbidez., mas o Procedimento 1 garantiu melhor eficiência na filtração para as águas bruta e decantada com turbidez elevada. Além disso, com o Procedimento 3 foi observado pH mais baixo dentro do dosador de coagulante ao final da operação, isto é, o residual de coagulante após esse procedimento foi maior do que após o Procedimento 1.

Os resultados do monitoramento do pH ao longo do enchimento do decantador confirmaram as hipóteses de que: (i) ao manter a abertura parcial do registro do dosador é possível garantir que a dosagem ocorra de forma gradual durante todo o tempo de enchimento do decantador; e (ii) o procedimento de abrir o registro completamente desde o início faz com que a dosagem ocorra somente nos minutos iniciais de enchimento do decantador. Além disso, o Procedimento 1 foi o que garantiu melhor desempenho do sistema nas etapas de decantação e filtração.

ARRANJO OPERACIONAL PARA DESINFECÇÃO

Em relação aos dispositivos dosadores, a operação do “dosador de cloro” se mostrou mais complexa. Foram necessárias manobras de registro para que a dosagem fosse iniciada e, mesmo nos momentos em que a dosagem era interrompida, foi verificado que dentro do dosador ainda havia cloro granulado e nível de água suficientes para que a dosagem ocorresse. Além disso, foi necessário um controle rigoroso da abertura do registro que liberava o cloro, porque mesmo uma pequena abertura provocava liberação excessiva do desinfetante, que resultava em residuais iniciais de cloro elevados (3 a 5 mg/L), o que deixava a água com gosto e odor muito fortes de cloro. Tais observações estão exemplificadas na Figura 2.

Já o “dosador de coagulante” apresentou operação mais simples: somente era necessário abrir um registro e a dosagem ocorria como em um único pulso. Nos ensaios em fluxo contínuo, essa dosagem em pulso não apresentou bons resultados, porque o residual de cloro só era mantido por, no máximo, 40 minutos, como pode ser observado na Figura 3. Já nas operações em batelada, essa característica foi benéfica, tanto que um residual de cloro de 0,3 mg/L foi mantido por até 45 horas, como pode ser observado na Figura 4. Ainda quanto aos dosadores, a massa de hipoclorito de cálcio requerida foi consideravelmente menor para o dosador de coagulante (máximo de 8,6 g) do que a utilizada no dosador de cloro (200 g).

Nas operações pré-filtração em fluxo contínuo, os residuais de cloro foram mais elevados no início (Figura 2), chegando a valores tão altos quanto 5,2 mg/L, e decaíram até valores próximos ou iguais a zero antes do encerramento das operações.

Quanto aos tanques de contato, seja para desinfecção pré ou pós filtração, seu uso se mostrou essencial para a manutenção dos residuais de cloro. No caso das operações pré-filtração, como exemplificado na Figura 5, os tanques de contato amorteceram as variações de concentração de cloro residual obtidas na saída do filtro, mantendo concentrações suficientes para o processo de desinfecção, mesmo quando o cloro residual na água filtrada de ambos os filtros já estava próximo de zero. Quanto à forma de operação dos tanques, as operações em batelada alcançaram resultados melhores do que aquelas em fluxo contínuo em termos de concentração de cloro residual na água desinfetada e manutenção de residuais de cloro por períodos tão longos quanto 45 horas, como visto anteriormente. Além disso, com as operações em batelada foi possível estabelecer os tempos de contato necessários para a desinfecção e exigidos pela Portaria GM/MS nº 888 /2021

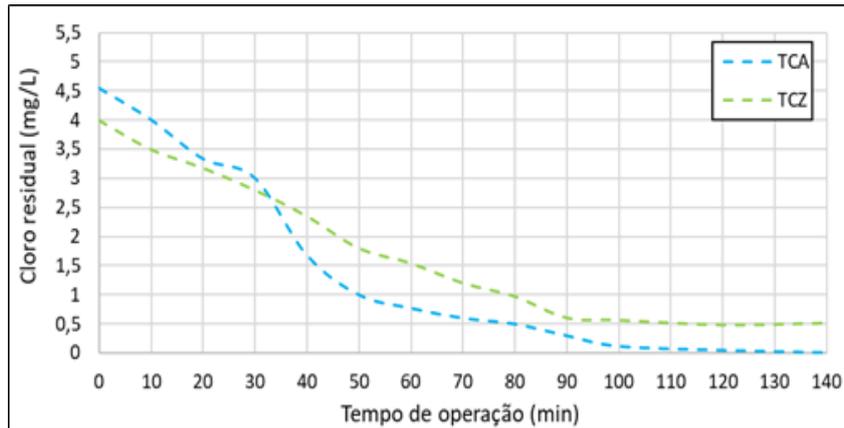


Figura 2. Cloro residual na saída do tanque de contato. Desinfecção pós-filtração, tanque de contato operado em fluxo contínuo, dosador de cloro. TCA = tanque de contato após filtro de areia; TCZ = tanque de contato após filtro de zeólita.

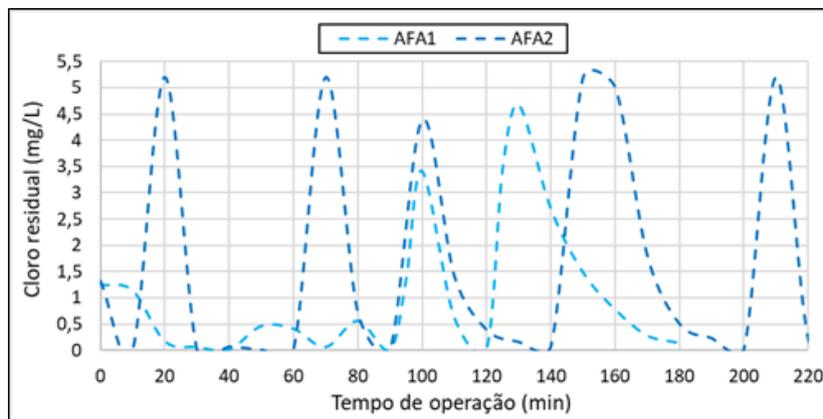


Figura 3. Cloro residual na saída do tanque de contato. Desinfecção pré-filtração, tanque de contato operado em fluxo contínuo, dosador de coagulante, ensaios no filtro de areia. AFA = água filtrada em areia

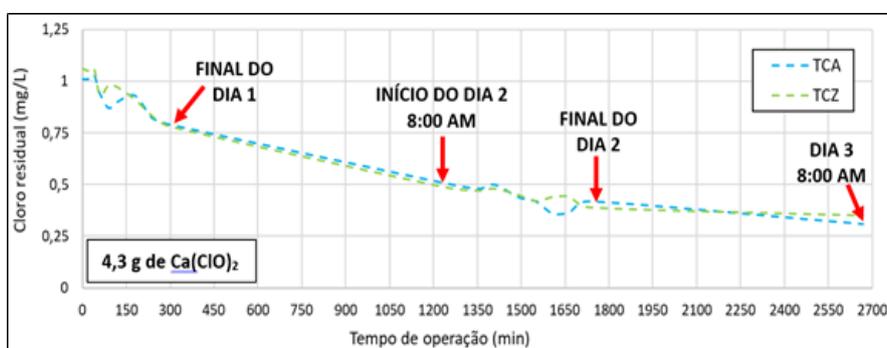


Figura 4. Cloro residual na saída do tanque de contato. Desinfecção pós-filtração, tanque de contato operado em batelada, dosador de coagulante. TCA = tanque de contato após filtro de areia; TCZ = tanque de contato após filtro de zeólita.

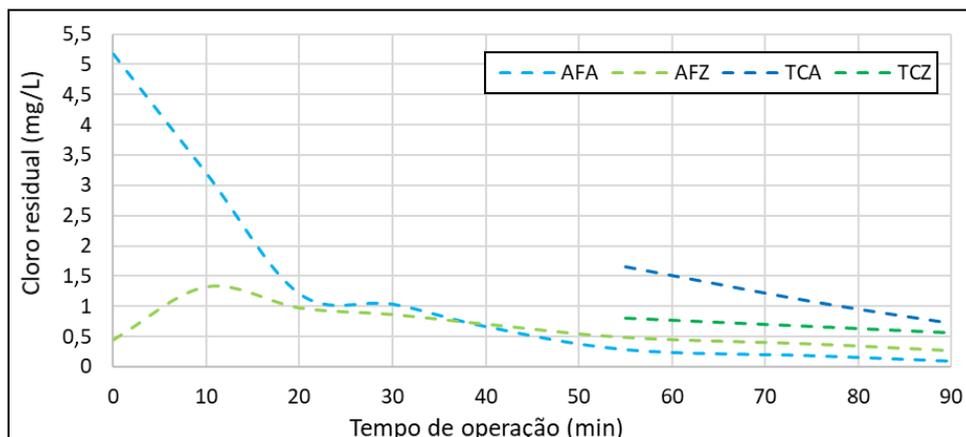


Figura 5. Cloro residual na água filtrada e na saída do tanque de contato, ensaio com os filtros de areia e de zeólita, desinfecção pré-filtração, fluxo contínuo, dosador de cloro. AFA = água filtrada em areia; AFZ = água filtrada em zeólita; TCA = tanque de contato após filtro de areia; TCZ = tanque de contato após filtro de zeólita.

Por fim, avaliando-se comparativamente os filtros, nos ensaios de desinfecção pré-filtração, foi observado o consumo ou retenção de grande parte do cloro no filtro de zeólita, o que não foi observado no filtro de areia, como pode ser verificado na Figura 6. Apesar de ter sido utilizada a mesma massa de hipoclorito de cálcio, o residual de cloro na água após o filtro de zeólita foi consideravelmente mais baixo do que após o filtro de areia.

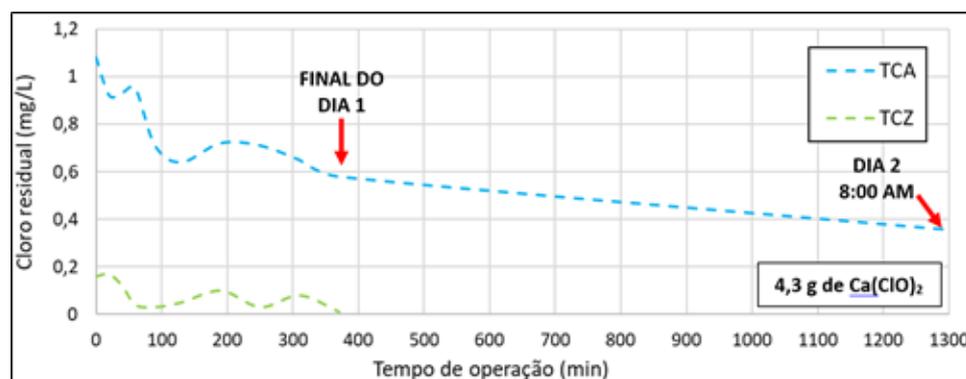


Figura 6. Cloro residual na saída do tanque de contato. Desinfecção pré-filtração, tanque de contato operado em batelada, dosador de coagulante. TCA = tanque de contato após filtro de areia; TCZ = tanque de contato após filtro de zeólita

CONCLUSÕES

O procedimento de iniciar a dosagem de coagulante com abertura parcial do registro do dosador após 20 min do início do enchimento do floculador / decantador e abertura total nos 10 min finais permitiu evitar o contato direto do coagulante com o lodo de fundo do decantador; permitiu também que a dosagem de coagulante ocorresse de forma gradual, mais uniforme e contínua ao longo de todo o tempo de enchimento da unidade. Esse tipo de operação se mostrou mais adequado para garantir elevada eficiência do tratamento de água na Salta-z, em termos de remoção de turbidez

Para a etapa de desinfecção, o uso de tanque de contato se mostrou essencial para a manutenção de níveis de cloro residual durante todo o período de operação e, quando operado em batelada, permitiu o estabelecimento dos tempos de contato requeridos em norma para o processo de desinfecção. Na desinfecção pré-filtração, o filtro de zeólita consumiu grande parte do cloro dosado, o que não foi observado no filtro de areia. Quanto aos dispositivos dosadores, o “dosador de coagulante” se mostrou mais simples de operar, possibilitando maior controle na dosagem do desinfetante. Em suma, o arranjo operacional que apresentou melhor desempenho foi a



desinfecção pós-filtração com o tanque de contato operado em batelada e com o dosador de coagulante para dosagem do cloro.

AGRADECIMENTOS

À FUNASA e à FIOTEC / FIOCRUZ pelo aporte de recursos, materiais e financeiros, para o desenvolvimento do estudo no qual este trabalho se insere. À CAPES e ao CNPq, pela concessão de bolsas de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMIRTHARAJAH, A; MILLS, K.M. Rapid-mix design for mechanisms of alum coagulation. *Journal (American Water Works Association)*, v. 74, n. 4, p. 210–216, 1982.
2. APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AWWA - AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WEF - WATER ENVIRONMENT FEDERATION. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 22. ed. Washington, DC: American Public Health Association, 2012.
3. BRASIL. Presidência da República. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. Brasília, 2007.
4. BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional da Saúde. *Manual de cloração de água em pequenas comunidades utilizando o clorador simplificado desenvolvido pela Funasa*. Brasília: Funasa, 2014.
5. BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional da Saúde. *Manual da solução alternativa coletiva simplificada de tratamento de água para consumo humano em pequenas comunidades utilizando filtro e dosador desenvolvidos pela Funasa/Superintendência Estadual do Pará*. Brasília: Funasa, 2017.
6. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Brasília, 2017.
7. BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional da Saúde. Boletim Informativo da Fundação Nacional da Saúde, Funasa Notícias, ano XIV, n. 2, 2018.
8. BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional da Saúde. *Programa Nacional de Saneamento Rural*. 260p. Brasília: Funasa, 2019.
9. BRASIL. Presidência da República. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. Brasília, 2020.
10. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 4 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, 2021.
11. MACHADO, G.; RODRIGUES, M.; OLIVEIRA, J.; BARROCAS, P.; CORTINES, A. A relevância de soluções alternativas para universalização do acesso à água no Brasil: o caso da Salta-z. In: *Encontro Nacional pelos Direitos Humanos à Água e ao Saneamento*, I, 2021, virtual. Anais. Instituto ONDAS.
12. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ASSEMBLEIA GERAL DA ONU. *Direitos Humanos à água e saneamento* - Resolução A/RES/72/178. Nova York: Assembleia Geral da ONU, 2018.
13. ROCHA, S.F.; BRAGA, E.M. Análise da potabilidade da água tratada pela solução alternativa (SALTA-Z): um estudo de caso nas comunidades rurais de Arapapá e Lago Preto em Manacapuru-AM. In: *AQUAENERGY – Congresso Tecnológico Brasileiro de Água e Energia Online*, I, 2021, virtual. Anais.
14. SANTOS, S. L. D. X.; CARVALHO, E. B. *Nota Informativa - Solução Alternativa Coletiva Simplificada De Tratamento De Água Destinada Ao Consumo Humano Em Pequenas Comunidades*. Coordenação de Controle da Qualidade da Água para Consumo Humano. Brasília, DF, 2018