

I-044 - EFICIÊNCIA DOS COAGULANTES SULFATO DE ALUMÍNIO E CLORETO FÉRRICO E DE POLÍMERO CATIÔNICO NA REMOÇÃO DE TURBIDEZ COMO INDICADOR DA REMOÇÃO DE *CRYPTOSPORIDIUM*

Fabiana de Cerqueira Martins⁽¹⁾

Graduanda em Ciências Biológicas pelo Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais (ICB/UFMG). Bolsista de Iniciação Científica pela Escola de Engenharia da UFMG (EE/UFMG).

Cristiane Fernanda da Silva

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais – EE/UFMG. Mestranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da EE/UFMG.

Maria Inês de Araújo Vilhena

Graduanda em Ciências Biológicas pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC-MG. Estagiária da Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA-MG.

Daniel Adolpho Cerqueira

Biólogo pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC-MG. Mestre em Microbiologia pelo Instituto de Ciências Biológicas da UFMG. Doutorando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da EE/UFMG. Biólogo da Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA-MG.

Valter Lúcio de Pádua

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais – EE/UFMG. Mestre e Doutor em Hidráulica e Saneamento pela EESC-USP. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da EE/UFMG

Endereço⁽¹⁾: Rua Monte Azul, nº 183 – Bairro Novo Riacho - Contagem - MG - CEP: 32280-610 - Brasil - Tel: (31) 91487123 - e-mail: fabi_ecologia@yahoo.com.br

RESUMO

O protozoário *Cryptosporidium* apresenta baixa dose infectante – causando a doença intestinal criptosporidiose –, alta persistência e ocorrência ambiental e elevada resistência aos processos tradicionais de desinfecção de água destinada ao consumo humano. Devido às dificuldades metodológicas e aos custos para a identificação de protozoários em águas, a Portaria do Ministério da Saúde nº 518/2004 recomenda, mas não determina como obrigatória, a pesquisa de microrganismos patogênicos como *Cryptosporidium* e *Giardia*. Ressalta-se que na maioria das águas brutas esses costumam estar associados às partículas responsáveis pela turbidez, como substrato ou forma de proteção. Assim, na Portaria 518/2004, a associação da eficiência de remoção desses microrganismos é feita quanto à obtenção de efluentes de filtração com turbidez menor que 0,5 uT, a boas práticas de tratamento e à proteção de mananciais. Neste contexto, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a influência do pH de coagulação, dosagem de coagulante – sulfato de alumínio e cloreto férrico – e polímero catiônico na remoção de turbidez, que é um parâmetro indicador da remoção de oocistos de *Cryptosporidium*. A investigação experimental foi realizada preparando-se uma suspensão-mãe de caulin, e, a partir dela, águas de estudo com turbidez próxima a 10 uT e 100 uT. Aplicaram-se diferentes dosagens de coagulantes e polímero catiônico - como auxiliar de coagulação -, com as devidas correções de pH com HCl ou NaOH, em ensaios de jarteste, o qual simula as etapas de tratamento de água. A partir das leituras de turbidez remanescente e de pH foram construídos os diagramas de coagulação nos quais se obtiveram as regiões otimizadas dos coagulantes. Os valores mínimos de turbidez remanescente na primeira velocidade de sedimentação (1 cm/min) para a água com 100uT foram de 0,86 uT com cloreto férrico e 2,20 uT com sulfato de alumínio e para a água com 10 uT foram de 1,63 uT com cloreto férrico e 1,28 uT com sulfato de alumínio. Os valores obtidos podem ser considerados satisfatórios, em se considerando que a água ainda passaria pela etapa de filtração. Os resultados também reforçam a necessidade de se realizar um estudo de tratabilidade adequado, definindo-se o tipo de coagulante, sua dosagem e o pH de coagulação para assegurar a produção de água com menor turbidez e, indiretamente, reduzir o risco associado à possível presença de *Cryptosporidium*.

PALAVRAS-CHAVE: *Cryptosporidium*, Turbidez, Ensaio de Bancada, Coagulantes, Tratamento de Água.

INTRODUÇÃO

O protozoário *Cryptosporidium*, pertencente ao filo Apicomplexa e à classe Coccidia, é um parasita intracelular obrigatório, que infecta o aparelho gastrointestinal dos vertebrados, incluindo o ser humano, e é transmitido pela via fecal-oral através de água contaminada (a maior causa de criptosporidiose), de animais (particularmente caprinos e bovinos) e de alimentos contaminados.

Esse microrganismo apresenta diferentes formas estruturais que podem ser encontradas nos tecidos (formas endógenas), nas fezes e no meio ambiente (oocistos). Os oocistos de *Cryptosporidium* sp. são pequenos, os menores dos Coccidia, medindo de 4 a 6 μm de diâmetro, com forma esférica ou levemente oval, e possuem quatro esporozoítos livres no seu interior quando eliminados nas fezes (LADEIA, 2004). O ciclo biológico do *Cryptosporidium* é monoxênico, típico dos coccídios, e inclui os processos de merogonia (processo de multiplicação assexuada, com ocorrência de duas gerações de merontes) e gametogonia (processo de multiplicação sexuada, com formação de macrogametas e microgametas que, após a fecundação, resultam na formação de oocistos). Dois tipos de oocistos são formados: um de parede espessa, que é excretado para o meio externo junto com as fezes, e um de parede delgada, que se rompe no intestino delgado e – acredita-se – é responsável pelos casos de auto-infecção (NEVES, 2001).

O protozoário *Cryptosporidium* apresenta baixa dose infectante – causando a doença intestinal criptosporidiose –, alta persistência e ocorrência ambiental e elevada resistência aos processos tradicionais de desinfecção. O lançamento de esgotos não tratados nos mananciais utilizados para abastecimento público pode aumentar a ocorrência de tal microrganismo no ambiente. Dessa forma, considerando a existência de grupos vulneráveis, como pacientes imunodeprimidos, crianças e idosos, que podem desenvolver diarréia crônica e muitas vezes serem levados à morte pela ingestão de um único microrganismo, a presença de *Cryptosporidium* nas águas destinadas ao consumo humano tornou-se uma das principais preocupações quanto à contaminação microbiológica.

Pelo fato de o tratamento médico não ser efetivo para as doenças causadas por alguns patógenos emergentes, estratégias de saúde pública devem enfatizar mais a prevenção dessas doenças do que o tratamento curativo (XAGORARAKI, 2004). Além disso, aliado ao fato de uma pequena dose de oocistos poder causar infecção e de não existir nenhuma droga eficaz na prevenção e tratamento da criptosporidiose em animais, a melhor forma de evitar infecção por *Cryptosporidium* consiste na sua remoção da água de abastecimento.

A Portaria do Ministério da Saúde nº 518/2004 (BRASIL, 2004) recomenda a pesquisa de microrganismos patogênicos como *Cryptosporidium*, *Giardia* e enterovírus. Ressalta-se que, na maioria das águas brutas, esses costumam estar associados às partículas responsáveis pela turbidez, como substrato ou forma de proteção. Assim, na Portaria 518/2004, a eficiência de remoção desses microrganismos está associada à obtenção de efluentes de filtração que apresentam turbidez inferior a 0,5 uT, a boas práticas de tratamento e à proteção de mananciais.

Por isso, é importante a realização de mais estudos que demonstrem a efetividade do uso da turbidez como indicador de remoção microbiológica. Portanto, o objetivo do presente trabalho é avaliar a influência do pH de coagulação, da dosagem de coagulante – sulfato de alumínio PA ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{ a } 18\text{H}_2\text{O}$) e cloreto férreo PA ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) – e do polímero catiônico de alto peso molecular na remoção de turbidez, que é um parâmetro indicador da remoção de oocistos de *Cryptosporidium*.

MATERIAIS E MÉTODOS

A investigação experimental foi realizada preparando-se uma suspensão-mãe (Figura 1) de caulim (cuja composição está especificada na Tabela 1), conforme descrito na tese de Di Bernardo (2004). Para tanto, foram distribuídos 40 g de caulim para cada jarro do Jarteste contendo 2 L de água desclorada; submeteu-se a uma agitação por 2 horas com uma rotação de 150 rpm; deixou-se em repouso por 21 horas e os sobrenadantes de cada jarro foram coletados e armazenados em recipientes fechados.

Prepararam-se quantidades desejadas – dependendo de quantos ensaios seriam realizados no dia – de águas de estudo com turbidez de $10 \pm 0,5 \text{ uT}$ e $100 \pm 5 \text{ uT}$ (Figura 2) em um reservatório de 100L despejando-se suspensão-mãe em água desclorada. Prepararam-se vários ensaios, testando-se diferentes dosagens de coagulantes e polímero catiônico – como auxiliar de coagulação –, com as devidas correções de pH com HCl ou NaOH, em ensaios de bancada (Jarteste), o qual simula as etapas de tratamento de água.

Foram feitas leituras de turbidez remanescente das amostras das duas velocidades de sedimentação e leitura de pH das amostras da primeira velocidade de sedimentação. Em cada ensaio, verificaram-se os valores de pH, turbidez, cor aparente e alcalinidade total das águas de estudo.



Figura 1 – Preparação da suspensão-mãe



Figura 2 – Preparação das águas de estudo

Tabela 1 – Especificações de produtos, parâmetros e equipamentos utilizados

Caulim micronizado	Pó fino branco; Peso específico – $2,60 \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$ Densidade aparente solta – $0,47 \pm 0,02 \text{ g/cm}^3$; Densidade aparente compactado – $0,57 \pm 0,02 \text{ g/cm}^3$ pH água de estudo – $7,70 \pm 1,0$
Coagulantes	Sulfato de alumínio PA – $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{ a } 18\text{H}_2\text{O}$ a 2% Cloreto férrego PA – $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ a 2%
Polímero	MAFLOC CH 406 – polímero catiônico de alto peso molecular
Parâmetro físico	Turbidez de $10 \pm 0,5 \text{ uT}$ e $100 \pm 5 \text{ uT}$
Outros produtos químicos	Ácido clorídrico – HCl 0,1 N Hidróxido de sódio - NaOH 0,1 N
Equipamentos	Turbidímetro Hach 2100P Colorímetro Visual DLNH-100 / DEL-LAB Leitura de Alcalinidade - 645-Multi-Dosimat / Metrohm pHmetro pH-Meter E488 / Metrohm

Para os valores de velocidades de sedimentação, gradientes de velocidade e tempo de agitação para mistura rápida e floculação seguem-se aqueles mostrados na Tabela 2. Os valores adotados para aplicação de polímero estão descritos na Tabela 3.

Tabela 2 – Valores de gradientes de velocidade e tempo de agitação para mistura rápida e floculação e velocidades de sedimentação

Mistura rápida		Floculação		Sedimentação	
Gradiente de velocidade	800 s^{-1}	Gradiente de velocidade	30 s^{-1}	V_1	1,0 cm/min
Tempo	30 s	Tempo	25 min	V_2	0,5 cm/min

Tabela 3 – Valores adotados nas etapas de coagulação-floculação e sedimentação para avaliar a utilização do polímero catiônico na etapa de floculação

Mistura rápida		Polímero Catiônico						Floculação		
Gradiente de velocidade	Tempo	Dosagem (mg/L)			Gradiente de velocidade	Tempo	Gradiente de velocidade	Tempo		
800 s^{-1}	30 s	0,25	0,50	1,00	1,50	2,00	300 s^{-1}	3 min	30 s^{-1}	25 min
Velocidade de sedimentação										
$V_{s1} = 1,0 \text{ cm/min}$					$V_{s2} = 0,5 \text{ cm/min}$					

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das leituras de turbidez remanescente e de pH foram construídos os diagramas de coagulação (Figuras 3 a 6) nos quais se obtiveram as regiões otimizadas dos coagulantes e pôde-se definir as dosagens ótimas de cada coagulante: para tratamento da água de estudo com turbidez de $10 \pm 0,5 \text{ uT}$, a dosagem ótima de alumínio disponível foi igual a 2,40 mg/L e pH igual a 8,2 e de ferro disponível 4,13 mg/L e pH igual a 5,7. Para a água de estudo com turbidez de $100 \pm 5 \text{ uT}$, a dosagem ótima de alumínio disponível foi de 1,97 mg/L e pH igual a 6,7 e de ferro 7,0 mg/L e pH igual a 6,0.

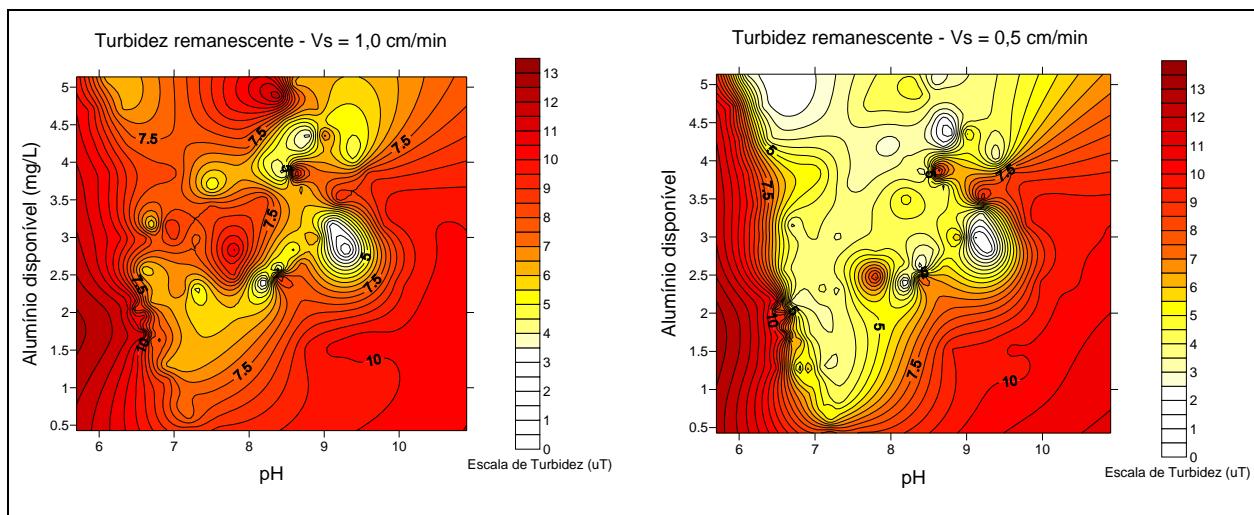


Figura 3 – Diagramas de coagulação com sulfato de alumínio para água com turbidez de $10 \pm 0,5 \text{ uT}$ – turbidez remanescente para $v_{s1} = 1,0 \text{ cm/min}$ e $v_{s2} = 0,5 \text{ cm/min}$

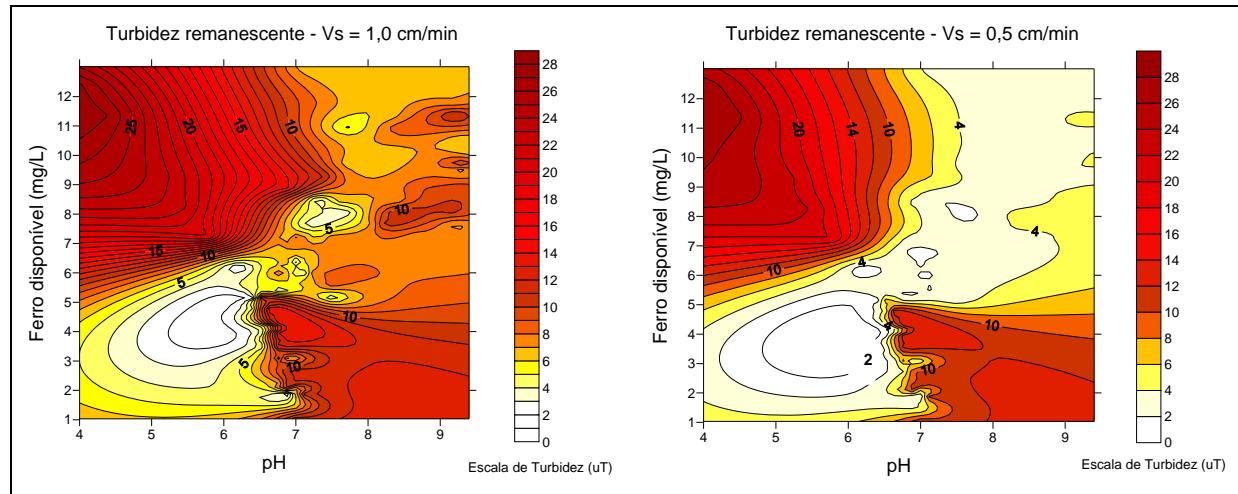


Figura 4 – Diagramas de coagulação com cloreto férreo para água com turbidez de $10 \pm 0,5 \text{ uT}$ – turbidez remanescente para $v_{s1} = 1,0 \text{ cm/min}$ e $v_{s2} = 0,5 \text{ cm/min}$

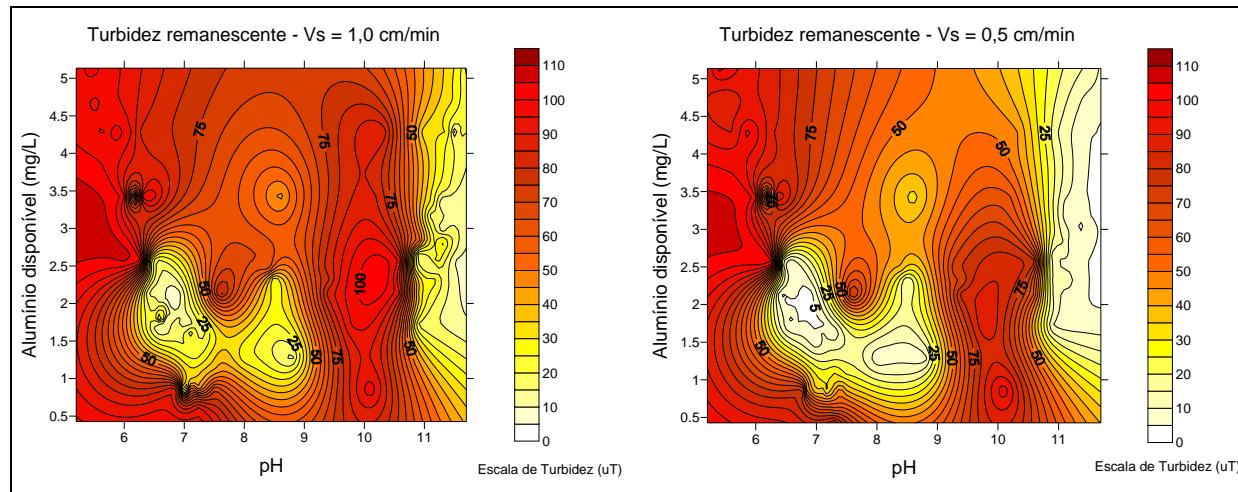


Figura 5 – Diagramas de coagulação com sulfato de alumínio para água com turbidez de $100 \pm 5 \text{ uT}$ – turbidez remanescente para $v_{s1} = 1,0 \text{ cm/min}$ e $v_{s2} = 0,5 \text{ cm/min}$

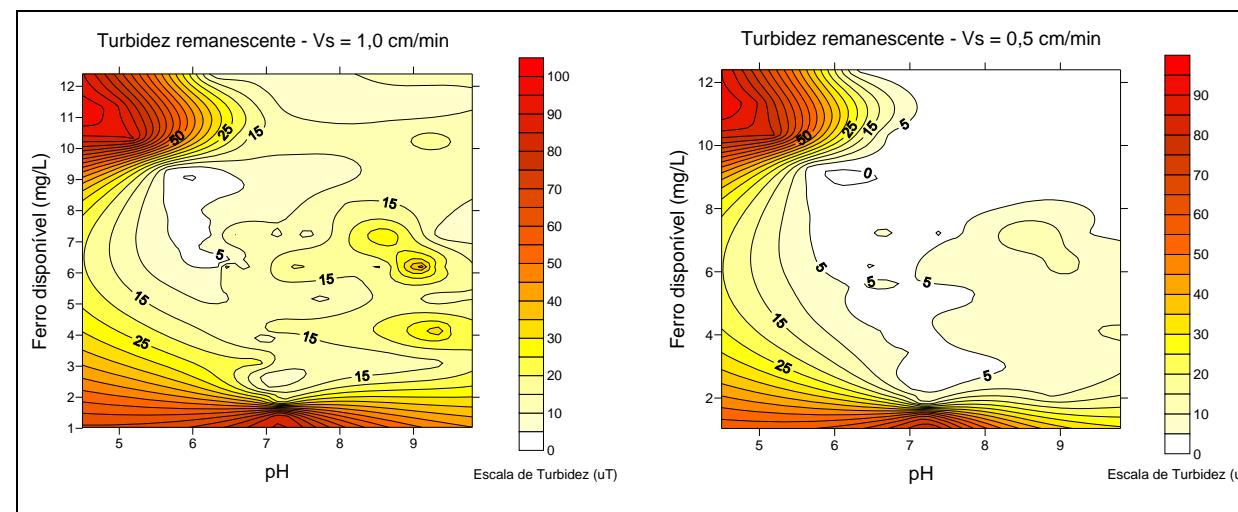


Figura 6 – Diagramas de coagulação com cloreto férreo para água com turbidez de $100 \pm 5 \text{ uT}$ – turbidez remanescente para $v_{s1} = 1,0 \text{ cm/min}$ e $v_{s2} = 0,5 \text{ cm/min}$

Os valores mínimos de turbidez remanescente na primeira velocidade de sedimentação para a água com 100 ± 5 uT foram de 0,86 uT com cloreto férrico e 2,20 uT com sulfato de alumínio e para a água com $10 \pm 0,5$ uT foram de 1,63 uT com cloreto férrico e 1,28 uT com sulfato de alumínio.

Pelo fato de o sulfato de alumínio não apresentar bons resultados de remoção de turbidez avaliou-se sua utilização em conjunto com o polímero catiônico de alta massa molecular e verificou-se que, para ambas as águas de estudo, ocorreu redução considerável da turbidez quando adicionadas dosagens superiores a 0,25mg/L de polímero catiônico (Figura 7 e Figura 8), uma vez que a turbidez remanescente para ambas águas de estudo apresentaram valores inferior a 1,0 uT.

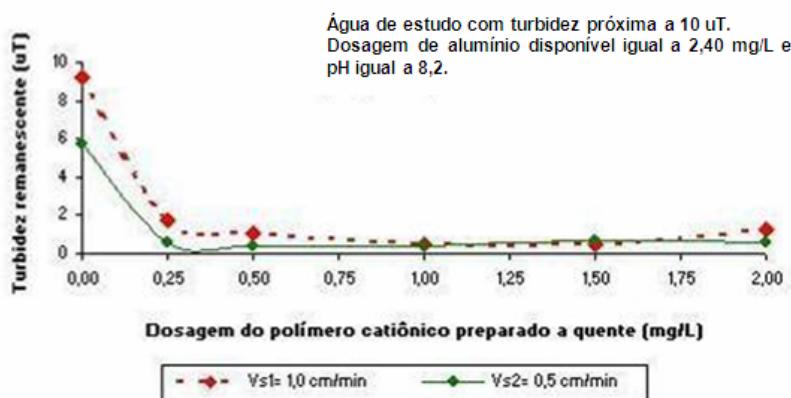


Figura 7 – Turbidez remanescente em função da dosagem de polímero sintético catiônico para vs_1 e vs_2 – Água de estudo com turbidez de $10 \pm 0,5$ uT.

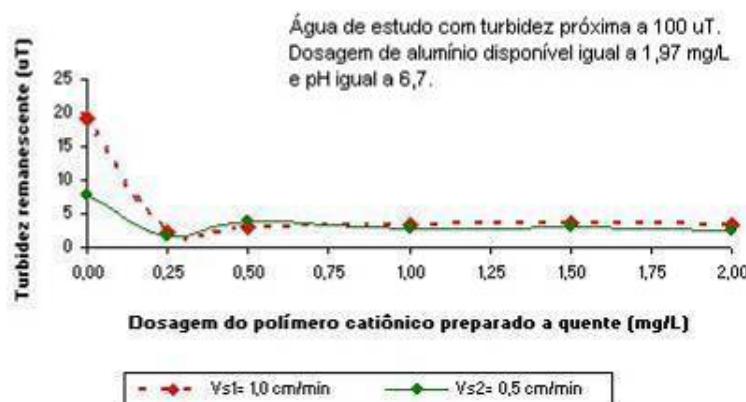


Figura 8 – Turbidez remanescente em função da dosagem de polímero sintético catiônico para vs_1 e vs_2 – Água de estudo com turbidez de 100 ± 5 uT.

CONCLUSÕES

Nos ensaios realizados constatou-se que água com turbidez de 100 ± 5 uT foi mais fácil de ser tratada e que para ambas as águas de estudo o cloreto férrico apresentou região otimizada mais ampla. Entretanto, ambos os coagulantes serão utilizados em uma unidade experimental de tratamento de água para permitir a comparação de suas eficiências quanto à remoção de turbidez.

Os valores obtidos apresentaram turbidez remanescentes inferiores a 5 uT podem ser considerados satisfatórios, já que os ensaios foram realizados até a etapa de decantação. Portanto, ocorrendo a remoção de turbidez, supõe-se que ocorre a remoção de *Cryptosporidium*, uma vez que, por se comportarem como

partículas e se adsorverem a partículas, os oocistos do protozoário em questão também poderão ser removidos nas mesmas condições analisadas.

Os resultados obtidos nos ensaios, em condições otimizadas de dosagem, demonstraram que para as águas de estudo o cloreto férrico apresentou melhores remoções, com dosagem de ferro disponível igual a 4,13 mg/L e pH igual a 5,7 (para água de estudo com turbidez de $10 \pm 0,5$ uT) e dosagem de ferro disponível igual a 7,0 mg/L e pH igual a 6,0 (para água de estudo com turbidez de 100 ± 5 uT).

Os resultados também reforçam a necessidade de se realizar um estudo de tratabilidade adequado, definindo-se o tipo de coagulante, sua dosagem e o pH de coagulação para assegurar a produção de água com menor turbidez e, indiretamente, reduzir o risco associado à possível presença de *Cryptosporidium*. Desta forma, os autores deste trabalho tem avaliado a remoção de turbidez e de outros indicadores de *Cryptosporidium* como os *Bacillus subtilis* e microesferas.

AGRADECIMENTOS

A Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) pelo espaço cedido para a realização dos ensaios, ao Programa de Saneamento Básico – Prosab Edital 2006/Tema 1 – Projeto “Remoção de patógenos emergentes e microcontaminantes potencialmente prejudiciais à saúde no tratamento de água para consumo humano” e ao CNPq pelas bolsas concedidas as autoras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 518 de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 2004.
2. CRAUN, G. F.; HUBBS, S. A.; FROST, F.; CALDERON, R. L.; VIA, S. H. **Waterborne outbreaks of cryptosporidiosis.** Jurnal American Water Works Association, v.90, n. 9, p. 81-91, 1998.
3. Di BERNARDO, A. **Desempenho de sistemas de dupla filtração no tratamento de água com turbidez elevada.** 2004. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia – Universidade de São Paulo.
4. Di BERNARDO, L. **Métodos e técnicas de tratamento de água.** Edição patrocinada pela ABES. v.1, p. 481. Setembro, 1993.
5. HACHICH, E. M. **Avaliação da presença dos protozoários *Giardia* sp e *Cryptosporidium* sp em águas superficiais destinadas a captação e tratamento para consumo humano no estado de São Paulo.** 2002. 242 f. Tese (Doutorado) – FSP/Universidade de São Paulo, 2002.
6. HELLER, L. (Coord.). **Avaliação de risco à saúde humana associado à ingestão de protozoários e da eficiência de processos de tratamento de águas de abastecimento na remoção de oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia*.** Belo Horizonte: FUNASA/VIGI-SUS, 2002. 263 p. Relatório.
7. HSU, B. M., YEH, H. H. **Removal of *Giardia* and *Cryptosporidium* in drinking water treatment: a pilot-scale study.** Water Research. v. 37, p.1111-1117, 2003.
8. LADEIA, M. M. Avaliação da eficiência da filtração rápida descendente na remoção de oocistos de *Cryptosporidium* sp. em instalação piloto. [Dissertação de Mestrado]. Belo Horizonte (MG): UFMG; 2004.
9. NEVES, D. P. **Parasitologia humana.** 10^a ed. São Paulo: Atheneu, 2001. 518 p.
10. XAGORARAKI, I.; HARRINGTON, G.W.; ASSAVASILAVASUKUL, P.; STANDRIDGE, J. H. **Removal of emerging waterborne pathogens and pathogen indicators: by pilot-scale conventional treatment.** Journal American Water Works Association. p. 102 – 113. Maio, 2004