

Tratabilidade de águas pluviais utilizando coagulante natural a base de tanino visando fins não potáveis

Rainwater treatment by using tannin based natural coagulant seeking non-potable uses

Marcos Vinicius Petry De Martini, *engenheiro ambiental pela Universidade Estadual Paulista (UNESP – Campus de Rio Claro)*

Rodrigo Braga Moruzzi, *engenheiro civil (UFSCar), mestre e doutor em Eng. Civil na área de Hidráulica e Saneamento (EESC/USP), professor assistente doutor do curso de Eng. Ambiental da Universidade Estadual Paulista (UNESP - Campus de Rio Claro), Caixa Postal 178; 13.500-230; Rio Claro, SP, Tel. 19 35269339, E-mail: rmoruzzi@rc.unesp.br*

RESUMO: O objetivo foi estudar a tratabilidade da água pluvial utilizando um coagulante natural à base de tanino. Os ensaios foram realizados em escala de laboratório, utilizando o equipamento denominado Jarteste, e visaram estudar as condições mais adequadas de dosagem e pH de coagulação. Os ensaios preliminares indicaram que o tanino vegetal na concentração 3% (m/m) a partir da solução comercial foi o que apresentou o melhor conjunto de resultados (84,3% de remoção da cor aparente e 82,5% de remoção da turbidez), quando comparado ao cloreto férrico (66,25% de eficiência de remoção de cor aparente e 67,8% para a turbidez) e ao amido (73,7% de eficiência de remoção de cor aparente e 67,2% para turbidez). Os diagramas de coagulação indicaram que a melhor região para trabalhar com o tanino vegetal a 3% é com dosagens do coagulante variando de 15 mg/L até cerca de 37,5 mg/L e com pH de coagulação variando de 6,5 até 7,5. Os resultados indicaram que o coagulante natural a base de tanino é uma alternativa aos coagulantes convencionais para tratamento de água pluvial visando fins não potáveis.

ABSTRACT: This paper aimed to study the treatability of rainwater using natural coagulant tannin based. Assays were performed in laboratory scale and aimed to study the conditions most suitable for dosage and for pH of coagulation. Preliminary tests indicated that tannin concentration of 3% (m/m) prepared from the commercial solution presented the best set of results (84.3% of removal for apparent color and 82.51% for turbidity) compared to ferric chloride (66.25% of removal for apparent color and 67.82% for turbidity) and starch (73.68% of removal for apparent color and 67.19% for turbidity). The coagulation diagrams indicate that the best region for dosage ranges from 15 mg/L to about 37.5 mg/L and for pH ranging from about 6.5 to 7.5. The results indicate that the tannin based natural coagulant may be an alternative to conventional coagulants for rainwater treatment seeking non potable uses.

1 INTRODUÇÃO

A água pluvial tem se configurado como uma fonte alternativa de água, promissora para suprimento de usos não potáveis principalmente em regiões metropolitanas e do semiárido.

Os sistemas de captação hídrica para fins de aproveitamento existem desde muito antigamente e vem evoluído junto com a civilização ao longo da história. Basicamente, esses sistemas baseiam-se

na coleta das precipitações que escoam sobre uma superfície de captação impermeável, na maioria das vezes o telhado das residências, e são então direcionadas para os reservatórios onde são armazenadas para uso posterior.

Moruzzi e Nakada [8] apontam que a coleta de água pluvial pode contribuir para diminuir o consumo de água oriunda de mananciais superficiais e subterrâneos, o que, por sua vez, promove a conservação dos recursos hídricos, a

minimização dos gastos no tratamento da água e a economia de energia e insumos gastos com tratamento e distribuição.

Mancuso e Santos [6], e também a Agência Nacional de Águas (ANA [7]), apontam que sistemas de aproveitamento da água pluvial surgem como uma fonte de abastecimento alternativa e uma opção real para reduzir o consumo de águas de melhor qualidade, que podem ser direcionadas para usos mais nobres, aumentando a oferta de água para fins não potáveis.

No entanto, até mesmo as águas pluviais podem estar contaminadas por partículas presentes na atmosfera e na superfície de captação, principalmente em regiões densamente urbanizadas, exigindo uma análise de sua qualidade, previamente ao seu aproveitamento, verificando se há ou não necessidade de tratamento para a mesma, em função do uso preterido para o recurso, de forma que o mesmo não comprometa a saúde de seus usuários, nem a vida útil dos sistemas envolvidos (ANA [7]). A Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT) estabelece por meio da NBR 15527/07 [1] os padrões para aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis.

O descarte da primeira chuva (*first flush*) é uma prática comumente empregada para melhorar a qualidade da água pluvial coletada. Ela baseia-se no descarte dos primeiros milímetros de precipitação, que contém grande quantidade de contaminantes, visto que lavam a atmosfera e a superfície de captação, carregando consigo grande parte das partículas presentes nas mesmas. No entanto, essa prática provoca a perda de grandes volumes de água que deixam de ser captados. Ademais, existe muita indefinição quanto ao volume de descarte mais apropriado.

Buscando melhorar a qualidade das águas pluviais para que as mesmas atinjam os padrões exigidos para o uso preterido, podem ser aplicados tratamentos adicionais. Segundo Gonçalves [5] os tratamentos mais utilizados em águas pluviais que se destinam a fins não potáveis são compostos de unidades de sedimentação simples, filtração simples e desinfecção, com cloro e/ou radiação ultravioleta, e Di Bernardo & Dantas [4] apontam que a aplicação de polímeros sintéticos e naturais (amidos em geral) no tratamento da água para fins de abastecimento público é vantajosa por reduzir a dosagem de coagulante primário (sal de alumínio

ou ferro), aumentar a velocidade de sedimentação dos flocos.

Murakami e Moruzzi [9] estudaram amido natural de milho em dosagens de 1 a 12 mg/L, com pH de coagulação médio em torno de 6,0. Os residuais de cor aparente e turbidez obtidos foram analisados estatisticamente e os resultados indicaram que o tratamento empregado possibilitou reduções de cor aparente e turbidez em valores absolutos médios de 53 uH e 13 uT, equivalendo, em termos percentuais, a reduções médias de 70 e 80%, respectivamente

Outro exemplo de coagulante natural são os taninos, extraídos da casca de vegetais como a Acácia Negra, que atuam como coagulantes, floculantes e auxiliares de coagulação no tratamento de águas em geral, sendo de origem essencialmente vegetal. O tanino atua em sistemas coloidais, neutralizando cargas e formando pontes entre essas partículas, sendo este processo responsável pela formação dos flocos e consequente sedimentação (CORAL, *et al.*[3]).

Bongiovani [2] estudou o comportamento do coagulante *Tanfloc SS*, a base de tanino, para o tratamento de água para abastecimento, coletada do rio Pirapó no município de Maringá. O autor elaborou o diagrama de coagulação para o coagulante variando o pH de coagulação de 3,0 a 9,0 e a concentração do coagulante de 10 mg/L a 60 mg/L, sendo o tratamento composto por etapas de mistura rápida, coagulação, floculação e decantação. Como resultado encontrou que as melhores reduções para cor, turbidez e compostos com absorção de UV-254 nm ocorreram para a faixa de pH entre 6,0 e 9,0 para todas as concentrações, constatando assim que a utilização de agente coagulantes orgânicos biodegradáveis é, portanto, uma alternativa técnica aos coagulantes convencionais.

Zolett *et al.* [11] realizou em sua pesquisa uma comparação dos coagulantes sulfato de alumínio e *Tanfloc SG*, coagulante natural a base de tanino, com relação à suas eficiências para remoção de turbidez, visando usos potáveis no tratamento da água do rio Pato Branco. Como resultado o autor encontrou uma redução de 20,5 NTU da amostra bruta, para 1,13 NTU na amostra tratada com 0,8 mL/L de *Tanfloc SG*, e para 0,35 NTU utilizando-se 0,7 mL/L de sulfato de alumínio. Apesar da maior eficiência do sulfato de alumínio, o autor aponta que ambos os coagulantes permitiram resultados aptos para o consumo humano, sendo

que o coagulante natural apresenta vantagem em relação ao coagulante químico por não conter metais no lodo gerado pelo tratamento. O autor aponta ainda que menores quantidades do coagulante a base de tanino produziram os melhores resultados.

Pedroso *et al.* [10] também utilizou o coagulante *Tanfloc SG*, mas para o tratamento de lixiviado do aterro sanitário de Maringá e encontrou resultados satisfatórios, principalmente com relação à redução da cor (48,70%) e da turbidez (64%) do lixiviado. No entanto, o autor alerta que devido às características variáveis de composição do lixiviado e dos mecanismos de reação do pH e da dosagem de coagulante utilizado, é necessário determinar frequentemente as condições de tratamento quando na utilização de *Tanfloc SG*®.

Assim, este trabalho tem como objetivo principal investigar, em escala laboratorial, o comportamento do coagulante natural primário a base de tanino para o tratamento simplificado da água pluvial coletada no município de Rio Claro, SP, seguido de filtração direta em filtro de papel.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema de captação e tratamento da água pluvial foi montado em uma área de aproximadamente 30 m². A água coletada advinha do telhado do anfiteatro (aproximadamente 370 m²) e do piso externo que circundava o mesmo (aproximadamente 30 m²), totalizando cerca de 400 m² de área de coleta.

Após a coleta da água no telhado, a mesma era direcionada através de condutores até a estação experimental, passando por caixas de passagem, onde recebia alguma influência da água coletada pelo piso, e seguia para a caixa de desvio, onde uma comporta definia se a água seria direcionada para o sistema ou se iria ser descartada. Após a passagem pela caixa de desvio, a água seguia para um gradeamento para retirada de material grosseiro, como galhos e folhas.

Em seguida, a água era transportada por gravidade, de modo a passar pelos três pré-reservatórios consecutivos de acumulação com capacidade para 200L cada, que tinham a função de descarte da primeira chuva, que se apresentava mais contaminada (*first flush*). Desse modo, considerando a área de captação utilizada para a coleta seria possível obter descarte da primeira

chuva com valores equivalentes a 1,5; 1,0 e 0,5mm (600; 400 e 200L, respectivamente).

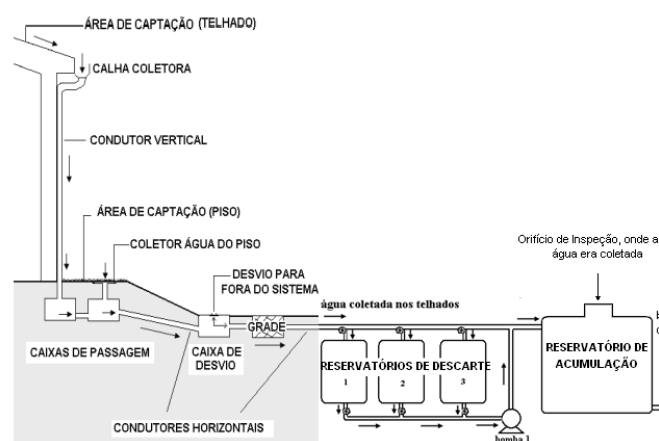


Figura 1: Esquema do sistema de captação de água pluvial. Sem escala. Extraído de Murakami e Moruzzi [9]

Os ensaios em escala laboratorial foram realizados de forma a simular as condições esperadas em escala plena (mistura rápida seguida por filtração direta) e visavam, em um primeiro momento (ensaios 1 a 6), a comparação dos coagulantes, cloreto férrico e *ACQUAPOL OF* e a obtenção das dosagens mais adequadas para os coagulantes, que posteriormente poderiam ser aplicadas na estação piloto.

Na sequência, foi realizado o ensaio 7 para verificação da eficiência da filtração cíclica como complemento a filtração única, e o ensaio 8 foi realizado para verificar como diferentes volumes de solução ácida ou básica afetavam o pH de coagulação, de forma a nortear os ensaios seguintes.

Os ensaios seguintes (ensaios 9 a 16) também repetiram em escala laboratorial as condições esperadas em escala plena, mas dessa vez foram adicionadas soluções ácidas ou alcalinas para variação do valor do pH de coagulação a fim de se construir o diagrama de coagulação.

As concentrações das soluções de coagulante (m/m), a saber, 2% para o cloreto férrico e 1% e 3% para o *ACQUAPOL OF*, foram determinadas com base em informações encontradas na literatura (ZOLETT *et al.* [11]).

Para preparação da solução de cloreto férrico, completou-se um balão volumétrico, contendo 20g de cloreto férrico pesado na balança analítica, com um litro de água destilada, obtendo-se assim uma solução com concentração de 2%. Como os testes foram realizados no Jarteste que possui uma

capacidade de 2L, cada 1 mL de solução de coagulante adicionada ao jarro corresponde a uma dosagem de 10 mg/L.

Já para o coagulante a base de tanino optou-se por testar concentrações diferentes a fim de se determinar a condição de melhor eficiência. Para tanto foram preparadas duas soluções, com concentrações de 1% e 3%, tendo sido diluídas, em 100 mL de água destilada, 1g e 3g de *ACQUAPOL OF*, respectivamente, sendo que a solução de 3% apresentou melhores resultados nos ensaios preliminares, tendo sido utilizada nos ensaios para construção do diagrama de coagulação.

Foram também preparadas, com o objetivo de promover mudanças no pH de coagulação: (i) uma solução de hidróxido de sódio 1M, através da diluição de 4g de NaOH (peso molecular = 40g/mol) em 100mL de água; (ii) uma solução de hidróxido de sódio 0,1M, a partir da diluição de 1 mL da solução de NaOH 1M em 100 mL de água destilada; (iii) e uma solução de ácido clorídrico na proporção de 1 mL de HCl para 49 mL de água destilada.

O Jarteste utilizado no presente estudo possuía 6 jarros, com capacidade para 2L cada, com suas respectivas paletas giratórias com ajuste de rotação a partir de um mostrador digital, capazes de imprimir gradientes de velocidade entre 10 e 2000 s^{-1} , possibilitando que a unidade fosse empregada nas etapas de mistura rápida, mistura lenta (floculação) e sedimentação. A Figura 2 apresenta o esquema do jarteste utilizado na presente pesquisa.

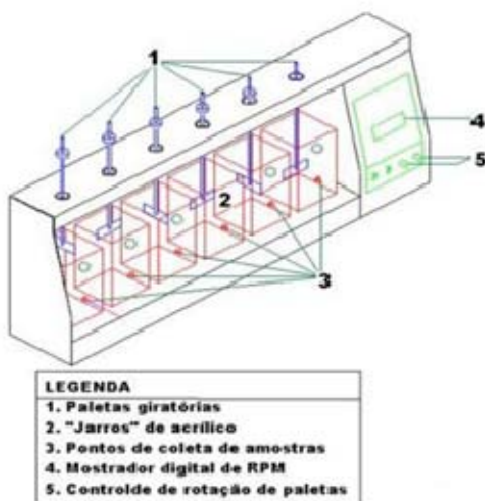


Figura 2: Esquema do jarteste utilizado.

Sendo assim, a realização dos ensaios em Jarteste seguiram os seguintes passos: (i) em cada jarro era acrescentada 2L da água de estudo,

coletada previamente do reservatório de armazenamento; (ii) em seguida os respectivos volumes das soluções de coagulante eram colocados nos frascos dosadores apropriados; (iii) nos ensaios em que o pH de coagulação deveria ser alterado adicionava-se aos jarros, com o auxílio de pipeta, os volumes desejados das soluções de ácido ou base; (iv) posicionavam-se as pás nos jarros e ligava-se o agitador até o mesmo atingir um gradiente de velocidade de 300 s^{-1} ; (v) por meio do dosador simultâneo, as soluções contidas nos frascos dosadores eram então adicionadas às amostras de água pluvial e o cronômetro acionado; (vi) após o tempo de 40 segundos para ocorrência da mistura rápida, eram então simultaneamente coletadas através do dispositivo de coleta, em um recipiente apropriado, 100 mL de amostra de cada jarro, que eram então submetidas imediatamente à etapa de filtração direta, a qual exclui as etapas de floculação e sedimentação, em filtro de papel, seguindo para as análises laboratoriais.

Após a agitação no Jarteste, as amostras foram submetidas à filtração em filtro de papel *Whatman 40* (porosidade média de 8 μm), visando avaliar indiretamente o efeito do filtro de pressão na qualidade da água, utilizado em escala real.

Em um dos ensaios foi empregada também a metodologia da filtração cíclica, na qual foram coletadas 500 mL de amostra que foram submetidas a 5 ciclos de filtração, sem que houvesse a troca do filtro de papel, a fim de avaliar o efeito de colmatação do filtro que ocorre em escala plena para areia fina com efeito de filtração de superfície, sendo que a cada ciclo de filtração 100 mL de amostra eram coletados, a fim de se verificar a eficiência de cada etapa desse procedimento na remoção da cor aparente e da turbidez. Tais ensaios constituíram a bateria de ensaios 7, apresentados nas Figuras 11 e 12.

As análises laboratoriais para caracterização físico-químicas foram todas realizadas nos laboratórios nas dependências da UNESP, Campus de Rio Claro, e seguiram os procedimentos descritos no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 21st*.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os ensaios nomeados de 1 a 6 foram realizados utilizando-se os seguintes coagulantes e suas respectivas concentrações (m/m):

Ensaio 1 e 2: cloreto férrico na concentração de 2%;

Ensaio 3 e 4: *ACQUAPOL OF* na concentração de 1%;

Ensaio 5 e 6: *ACQUAPOL OF* na concentração 3%;

Esses ensaios foram realizados de forma a verificar e comparar o efeito que diferentes dosagens dos coagulantes exerciam sobre a eficiência na remoção de cor aparente e turbidez da água pluvial, de forma a determinar a concentração mais apropriada do coagulante.

Para isso, em um primeiro momento foi investigada faixa ampla de dosagens a fim de se verificar em qual faixa de valores o coagulante apresentava os melhores resultados e, em função destes, era realizado um novo ensaio, utilizando, dessa vez, uma faixa mais estreita e próxima àquela obtida anteriormente, para que a dosagem mais apropriada fosse encontrada.

A fim de se facilitar a visualização dos resultados, foram plotados os diagramas de coagulação, para todos os coagulantes testados, utilizando o método de *Kriging* para interpolação dos pontos. No eixo das abscissas encontram-se os volumes de coagulante (mL) colocados em cada jarro, e abaixo as respectivas dosagens (mg/L), e no eixo das ordenadas encontram-se os valores de pH, sendo que as curvas indicam pontos de isoeficiências para remoção de turbidez (Figuras de 3 a 6) e cor aparente (Figuras 7 a 10). Foi utilizada uma escala de cores para facilitar a visualização, sendo que nas áreas mais claras estão os valores mais altos de eficiência de remoção de cor aparente e turbidez.

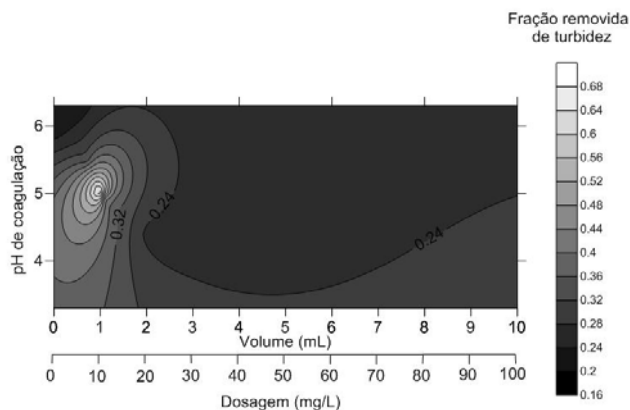


Figura 3: Diagrama de coagulação para remoção de turbidez para o coagulante cloreto férrico 2%.

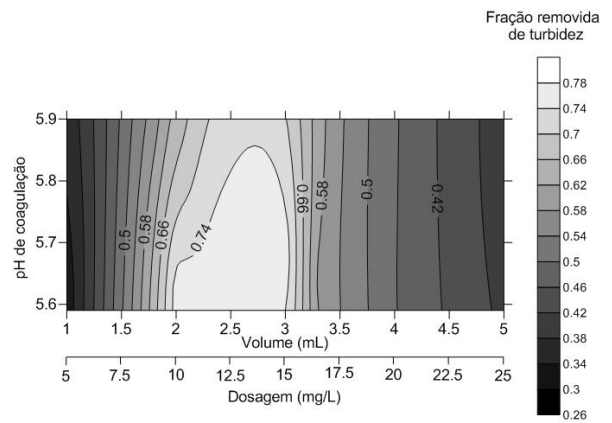


Figura 4: Diagrama de coagulação para remoção de turbidez para o coagulante *ACQUAPOL OF* 1%.

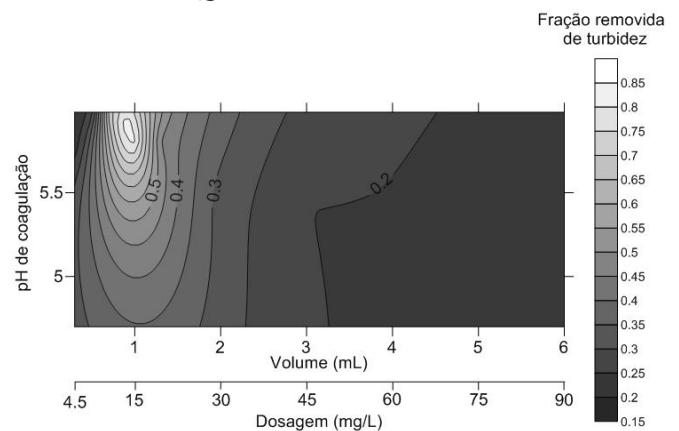


Figura 5: Diagrama de coagulação para remoção de turbidez para o coagulante *ACQUAPOL OF* 3%.

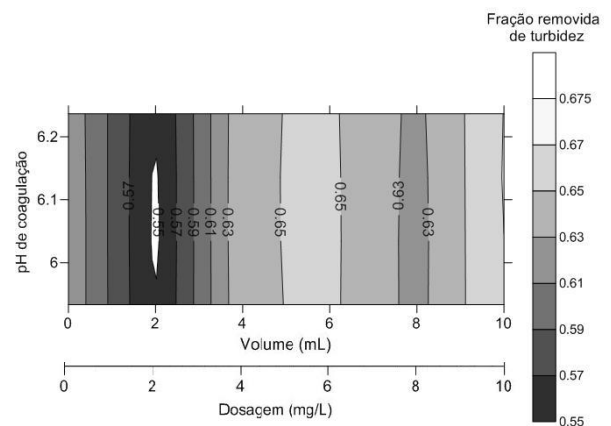


Figura 6: Diagrama de coagulação para remoção de turbidez para o coagulante amido.

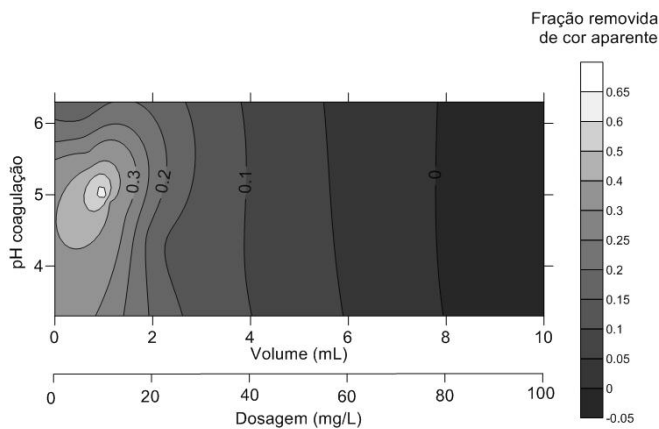


Figura 7: Diagrama de coagulação para remoção de cor aparente para o coagulante cloreto férrico 2%.

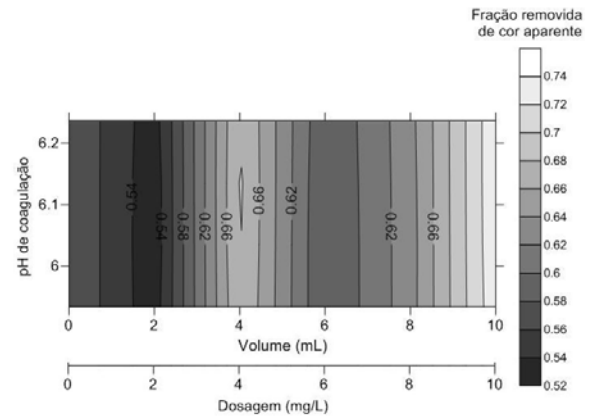


Figura 10: Diagrama de coagulação para remoção de cor aparente para o coagulante amido de milho.

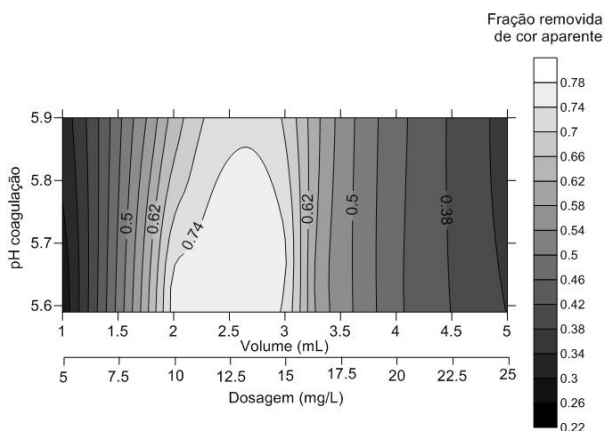


Figura 8: Diagrama de coagulação para remoção de cor aparente para o coagulante ACQUAPOL OF 1%.

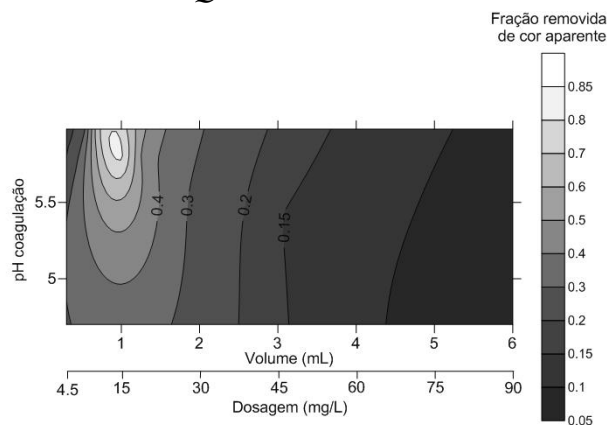


Figura 9: Diagrama de coagulação para remoção de cor aparente para o coagulante ACQUAPOL OF 3%.

Com base nos diagramas apresentados é possível inferir que:

- O volume de 1 mL, dosagem de 10 mg/L, de cloreto férrico 2% foi a que produziu os melhores resultados, tanto para remoção da cor aparente (66,25%), como para a turbidez (67,8%), sendo que o pH de coagulação ficou em 5,0. Em relação a reduções absolutas, o melhor resultado foi uma redução de 323 uH para 109 uH (cor aparente) e uma redução de 51,9 NTU para 16,7 NTU (turbidez) da água bruta para a água tratada, utilizando a dosagem supracitada. Além disso, pode-se notar que conforme se aumenta o volume de coagulante aplicado, o valor do pH diminui em relação a amostra bruta, de pH 6,4, tornando o meio mais ácido, sendo que para a superdosagem de cloreto o resultado foi um pH de 3,3. Vale ainda ressaltar que os valores de pH de coagulação encontrados para o cloreto férrico estão muito ácidos, o que provavelmente justifica as baixas eficiências apresentadas pelo coagulante que apresenta melhores resultados em faixas de pH mais próximas a neutralidade (PAVANELLI, 2001), sendo que a aplicação de solução de hidróxido de sódio, junto ao coagulante, seria uma alternativa para aumentar o pH de coagulação e as eficiências de remoção;

- O coagulante ACQUAPOL OF na concentração de 1% apresentou resultados praticamente constantes para uma faixa de volumes que vai de 2mL (10mg/L) a 3mL (15 mg/L), sendo que as eficiências de remoção são muito semelhantes, tanto para cor aparente como para turbidez, situando-se na casa dos 76%. O melhor resultado obtido com o coagulante foi uma remoção de 77,0% de cor aparente e 77,0% de

turbidez, para o volume de 2,7mL (13,5 mg/L) e pH de coagulação 5,63. Essa dosagem também foi responsável pela diminuição, em termos absolutos, da cor aparente de 278 uH para 64 uH, e da turbidez de 48,5 NTU para 11,2 NTU, sendo que o pH manteve-se estável e ficou na faixa de 5,59 a 5,9 para todas os volumes de coagulante, exceto o coagulante em sua forma pura que abaixou o pH da amostra bruta de 5,5 para 3,74;

•O coagulante *ACQUAPOL OF* na concentração de 3% foi o que apresentou os melhores resultados, superando os 80% de remoção de cor aparente e turbidez para duas dosagens. Os melhores resultados foram obtidos com um volumes de 0,9mL (13,5 mg/L) e pH de coagulação de 5,92, sendo eles: 84,3% para remoção da cor aparente e 82,5% de remoção da turbidez. Essa dosagem também foi a responsável, em termos absolutos, pela redução da cor aparente de 223 uH para 35 uH e da turbidez de 35,8 NTU para 6,26 NTU. É possível notar também que o valor do pH de coagulação das amostras manteve-se praticamente constantes para dosagens até 20 mg/L, variando de 5,76 a 5,98, ao passo que dosagens maiores provocaram comportamento decrescente no valor pH de coagulação, que chegou ao valor de 4,7 com a dosagem de 90 mg/L;

•Para o amido de milho os melhores resultados em termos de eficiência de remoção de cor aparente e turbidez foram de 73,7% e 67,2%, respectivamente, para uma dosagem de 10 mg/L e pH de coagulação de 6,15. O pH de coagulação das amostras tratadas com o amido de milho manteve-se praticamente constante, variando de 6,02 a 6,15, sendo que o pH da amostra bruta era de 6,41.

•Além disso, pode-se verificar que a filtração, sem a aplicação do coagulante, promoveu uma redução de 21,9% da cor aparente e de 18,09% na turbidez, e que a superdosagem, tanto do cloreto férrico (10 mL ou dosagem de 100 mg/L) como do *ACQUAPOL OF* produziu um aumento da cor aparente da água, haja visto que ambos os coagulantes apresentam coloração avermelhada, além de promover a completa perda da eficiência do produto.

O ensaio 7 foi realizado utilizando a filtração cíclica como complemento à filtração única. Nesse ensaio as amostras foram filtradas cinco vezes para verificar se havia aumento na eficiência da remoção da cor aparente e da turbidez, e o

coagulante utilizado foi o *ACQUAPOL OF* na concentração de 3% (m/m), nos volumes supracitados. Os resultados são apresentados nas Figuras 11 e 12.

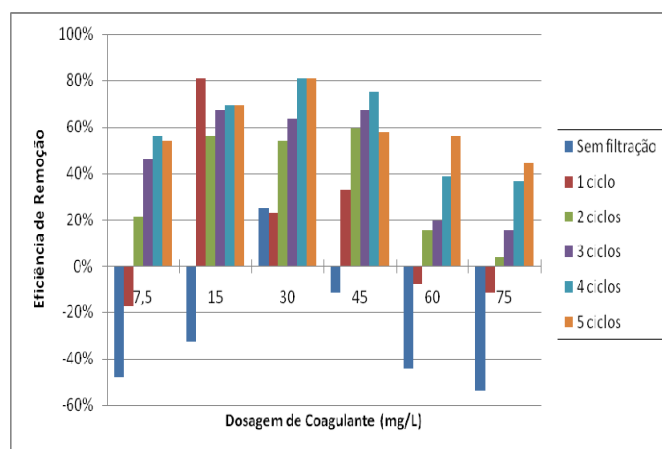


Figura 11: Eficiência de remoção da cor aparente em função do número de filtrações e da dosagem de coagulante utilizada (mg/L).

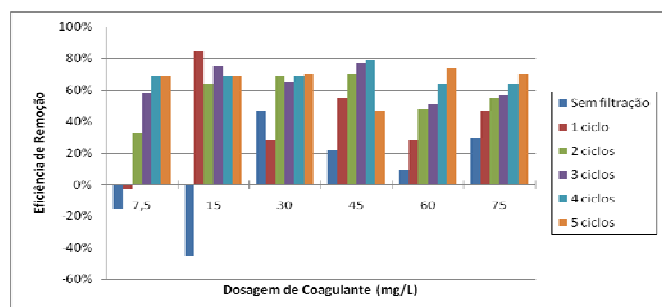


Figura 22: Eficiência da remoção da turbidez em função do número de filtrações e da dosagem de coagulante utilizada (mg/L).

De forma geral, os resultados apresentados Figuras 11 e 12 permitem observar que, tanto para a remoção da cor aparente como para a remoção da turbidez, a filtração cíclica mostrou-se eficiente, ao passo que promoveu, para a maior parte das amostras, uma maior remoção de partículas, conforme se incrementava o número de filtrações consecutivas.

Vale ressaltar que o efeito de colmatção do filtro pode ser observado em outros dois momentos ao longo do processo de filtração cíclica, sendo o primeiro, em escala laboratorial e evidenciado indiretamente pelo aumento progressivo no tempo de filtração e na quantidade de material retido no filtro, sendo que a amostra que mais demorou e que mais deixou resíduos no filtro foi a que foi tratada com 1mL do coagulante. A segunda evidência da colmatção aparece nos resultados propriamente ditos como a tendência da eficiência

atingir valor limite após alguns ciclos de filtração. Além disso, nesses gráficos é possível notar a presença de alguns valores de eficiência negativos. Isso provavelmente ocorreu pela introdução do coagulante.

Os ensaios 9 a 16 foram realizados a fim de se obter dados para construção dos diagramas de coagulação, que mostram as curvas de isoeffiência de remoção de cor aparente e turbidez em função de diferentes volumes de coagulante e diferentes valores de pH de coagulação, de forma a se obter as condições otimizadas de operação do coagulante (Figura 13).

A partir da observação da Figura 13 é possível notar que para ambos os diagramas existe uma área de maior eficiência indicada pela região mais clara. Nessas áreas encontram-se as maiores eficiências de remoção de cor aparente e de turbidez pelo coagulante (variando de aproximadamente 60% até 100% de remoção para cor aparente e de 60% até 80% de remoção de turbidez), sendo que os valores mais adequados situam-se em volumes de coagulante que variam de cerca de 1 mL (dosagem de 15 mg/L) até cerca de 2,5 mL (dosagem de 37,5 mg/L) e com pH de coagulação variando de aproximadamente 6,5 até 7,5;

Para a turbidez, percebe-se que boa parte das regiões que se encontram fora da área mais clara apresentam valores medianos de remoção que variam de aproximadamente 20% a 40%, sendo que as áreas onde ocorrem valores negativos, ou seja, que indicam aumento da turbidez, restringem-se a valores mais elevados de pH ou dosagens mais elevadas do coagulante.

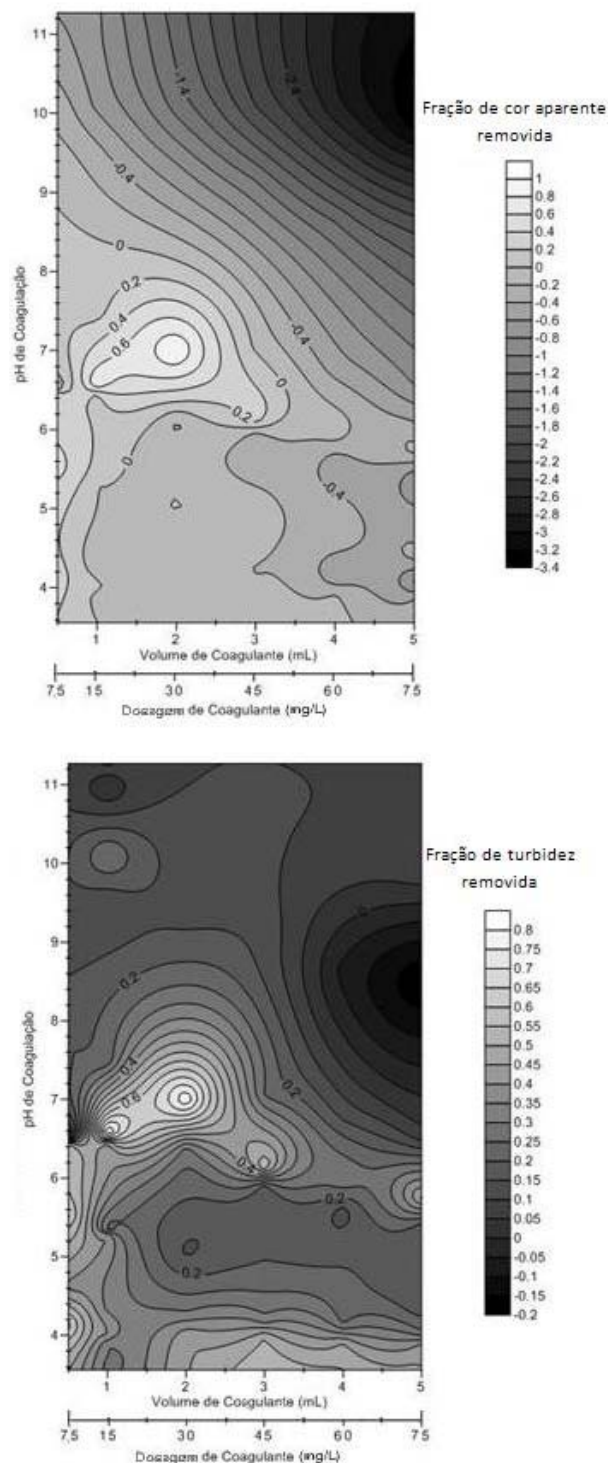


Figura 13: Diagramas de coagulação para remoção de cor aparente (esquerda) e para turbidez (direita).

4 CONCLUSÕES

A partir dos resultados apresentados nessa pesquisa é possível concluir que:

- O coagulante *ACQUAPOL OF*, na concentração 3% apresentou eficiências de

remoção de cor aparente (84,3%) e turbidez (82,5%) superiores às dos coagulantes cloreto férrico (66,2% e 67,8%, respectivamente) e amido de milho (73,7% e de 67,2%), apresentando-se como um possível substituto, principalmente para o coagulante sintético, haja visto que o coagulante a base de tanino, além de apresentar maior eficiência, é também biodegradável e não tóxico.

- Além disso, o ACQUAPOL 3% foi o coagulante que promoveu os melhores resultados em termos de melhoria da qualidade da água, permitindo que uma amostra de água pluvial com valores elevados de cor aparente e turbidez (223 uH e 35,8 NTU) atingisse valores para os mesmos (35 uH e 6,26 NTU, respectivamente) muito próximos aos estipulados pela NBR 15527 [1] (30 uH para cor aparente e 5 NTU para turbidez);

- A concentração de 3% para o ACQUAPOL OF promoveu resultados superiores aos da concentração de 1%, no entanto, percebe-se que o coagulante possui uma faixa estreita de dosagens que são realmente efetivas, que vai de 15 mg/L a 37,5 mg/L;

- Com relação ao pH de coagulação do coagulante ACQUAPOL OF, percebe-se que o mesmo trabalha melhor em valores de pH em torno de 6,5 a 7,5, sendo que para valores fora dessa faixa, recomenda-se a aplicação de soluções para correção do pH. Além disso, percebe-se que o coagulante a base de tanino não provoca alterações tão significativas no pH de coagulação como o cloreto férrico.

- Os ciclos de filtração apresentaram melhorias nas amostras para as dosagens diferentes daquela de maior desempenho e aparecem como uma alternativa para complementar o tratamento da água pluvial, quando o tratamento permitir a recirculação. No entanto, para a dosagem com maior eficiência a filtração cíclica promoveu piora na qualidade da água, provavelmente devido ao processo de colmatação do filtro.

5 REFERÊNCIAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR15527: Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.
2. BONGIOVANI, M. C. Os benefícios da utilização de coagulantes naturais para a obtenção de água potável. *Acta Scientiarum. Technology*, Maringá, v. 32, n. 2, p.167-170, 2010.
3. CORAL, L. A.; BERGAMASCO R.; BASSETTI F. J. Estudo da viabilidade de utilização do polímero natural (TANFLOC) em substituição ao sulfato de alumínio no tratamento de águas para consumo. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 20-22 mai. 2009, São Paulo.
4. DI BERNARDO, L; DANTAS, A. B. Métodos e técnicas de tratamento de água. São Carlos. Rima, 2005.
5. GONÇALVES, R. F. Uso racional de água em edificações. Rio de Janeiro. ABES, 2006.
6. MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. A escassez e o reuso de água em âmbito mundial. São Paulo: Manole, 2003, p 12.
7. MMA/ANA/SINDUSCON/COMASP/FIESP/ SESI/ SENAI/ IRS. Conservação E Reuso Da Água Em Edificações. Volume único. 2005. 152 p.
8. MORUZZI, R. B.; NAKADA, L. Y. K. Coleta e tratamento de água pluvial para fins não potáveis com emprego de amido de milho como coagulante primário em filtração cíclica em escala de laboratório. *Revista de Estudos Ambientais*, Blumenau, p.51-60, jan./jun. 2009.
9. MURAKAMI, M.F.; MORUZZI, R.B. Avaliação do amido natural como alternativa simples para tratamento de águas pluviais para fins de aproveitamento não potável. *Teoria e Prática na Engenharia Civil*, n.20, p.1-13, Novembro, 2012.
10. PEDROSO, K. Avaliação Do Tratamento Do Lixiviado Do Aterro Sanitário De Maringá, Paraná, Por Processo De Coagulação/Floculação com *Tanfloc SG*®. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, Maringá, n. , p.87-98, ago. 2012.
11. ZOLETT, E. R.; JABUR, A. S.; SILIPRANDI, E. M. Uso De Polímero Natural A Base De Tanino (Tanfloc) Para O Tratamento De Água Para o Consumo Humano. In: XVII SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UTFPB, 2012, Pato Branco.