

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

MARCOS VINICIUS PETRY DE MARTINI

ESTUDO DA TRATABILIDADE DE ÁGUA PLUVIAL
UTILIZANDO COAGULANTE NATURAL A BASE DE TANINO
VISANDO FINS NÃO POTÁVEIS

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

Rio Claro - SP
2013

MARCOS VINICIUS PETRY DE MARTINI

**ESTUDO DA TRATABILIDADE DE ÁGUA PLUVIAL
UTILIZANDO COAGULANTE NATURAL A BASE DE TANINO
VISANDO FINS NÃO POTÁVEIS**

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

Comissão Examinadora

Rodrigo Braga Moruzzi

Fabiano T. Da Conceição

Marcela Murakami

Rio Claro, 21 de junho de 2013.

Assinatura do(a) aluno(a)

Assinatura do(a) orientador(a)

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi o estudo da tratabilidade da água pluvial coletada no município de Rio Claro, SP, utilizando um coagulante natural a base de tanino. Para o estudo foram comparados três coagulantes primários, sendo eles o cloreto férrico, o tanino vegetal e o amido de milho. 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. Primeiramente foram realizados ensaios para comparação dos coagulantes e determinação das condições a serem utilizadas nos ensaios seguintes, adotando como critério a maior eficiência para o tratamento da água. Foram também realizados ensaios para construção do diagrama de coagulação para o coagulante a base de tanino vegetal, utilizando a melhor concentração encontrada na fase anterior, por meio da variação da dosagem de coagulante e do valor do pH de coagulação, de forma a se determinar as regiões de isoeffiência para cor aparente e turbidez. Por fim, foram realizados ensaios de filtração cíclica com papel de filtro. 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 aproximadamente 6,5 até 7,5. Os resultados da filtração cíclica como complemento à filtração única, não se mostraram eficientes para a melhor dosagem do coagulante, devido ao processo de colmatação do filtro de papel, mas mostrou-se eficiente para outras dosagens. Sendo assim, para as águas estudadas, os resultados indicaram que o coagulante natural a base de tanino é uma alternativa aos coagulantes convencionais, possuindo benefícios de ordem técnica e ambiental.

Palavras-chave: Tratabilidade, águas pluviais, taninos vegetais, diagramas de coagulação.

ABSTRACT

This paper aimed to study the treatability of rainwater collected in Rio Claro, SP, using natural coagulant tannin based. The tannin was compared with other too primary coagulants, namely ferric chloride and corn starch. Assays were performed in laboratory scale using equipment known as Jarteste and aimed to study the conditions most suitable dosage and coagulation pH. First tests were conducted to compare the coagulating and determination of the conditions to be used in the following tests, taking as a criterion the greatest efficiency for water treatment. Also performed were performed tests to construct the tannin coagulation diagram, using the optimal concentration found in the previous phase, by varying the dosage of coagulant and the pH of clotting in order to determine the isoefficiency regions for apparent color and turbidity. Finally, tests were performed cyclically filtration with filter paper. Preliminary tests indicated that the vegetable tannin concentration 3% (m/m) from the commercial solution was presented the best set of results (84.3% removal of apparent color and 82.51% removal of turbidity) compared to ferric chloride (66.25% removal efficiency and apparent color of turbidity 67.82%) and starch (73.68% removal efficiency apparent color and turbidity to 67.19%). The coagulation diagrams indicate that the best region to work with vegetable tannin 3% is where the coagulant dosage ranges from 15 mg/L to about 37.5 mg/L and coagulation pH ranging from about 6.5 to 7.5. The cyclic filtration showed to be not efficient for the best dosage of coagulant, due to the process of clogging of the filter paper, but proved to be efficient for other dosages. Thus, for the waters studied, the results indicate that the natural coagulant based tannin is an alternative to conventional coagulants, possessing benefits of technical and environmental.

Keywords: Treatability, storm water, vegetable tannins, coagulation diagrams.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	7
2. OBJETIVO.....	9
2.1. Objetivos Específicos.....	9
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
3.1. A Problemática Da Água.....	10
3.2. Sistemas de Aproveitamento das Águas Pluviais.....	11
3.3. Qualidade Da Água Pluvial.....	13
3.4. Tratamento Das Águas Pluviais.....	14
3.5. Coagulantes Naturais.....	16
4. METODOLOGIA.....	19
4.1. Sistema de Captação da Água Pluvial.....	19
4.2. Ensaio Em Escala De Laboratório.....	21
4.2.1. Preparação das soluções de coagulante e soluções ácido-base.....	22
4.2.2. Jarreste.....	22
4.2.3. Filtração.....	24
4.2.4. Caracterizações Físico-Químicas E Microbiológicas.....	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
5.1. Ensaio Iniciais.....	26
5.2. Filtração Cíclica.....	33
5.3. Ensaio para construção do diagrama de coagulação.....	36
6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40
APÊNDICES.....	43
APÊNDICE A.....	44
APÊNDICE B.....	48
APÊNDICE C.....	51

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural essencial para praticamente todas as formas de vida na Terra, inclusive o ser humano. No entanto, o uso indiscriminado do recurso está deteriorando sua qualidade e tornando sua obtenção cada vez mais complexa, agravando o já existente problema da escassez hídrica no mundo.

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 (2009) 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 (2003), e também a Agência Nacional de Águas (ANA, 2005), apontam que sistemas de reaproveitamento 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, 2005). A Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT) estabelece, por meio da NBR 15527/07, os padrões para aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis.

O descarte da primeira chuva (*first flush*) é uma maneira 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, carreando 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.

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 (2006) 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 (2005) 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 e por permitir taxas de filtração maiores. Nos sistemas de tratamento de água convencionais são geralmente empregados coagulantes inorgânicos como o sulfato de alumínio ou sulfato férrico. Apesar de apresentarem uma efetiva remoção de impurezas, esses coagulantes geram um lodo com concentrações elevadas, o que dificulta a disposição do mesmo no solo.

Buscando uma solução para esse problema, começou-se a estudar coagulantes poliméricos naturais, alternativos aos coagulantes químicos, sendo que os coagulantes derivados de taninos têm obtidos resultados satisfatórios (Moraes, 2004).

Sendo assim, o presente trabalho, que é um complemento à pesquisa de iniciação científica intitulada “Avaliação do desempenho de uma unidade em escala real para tratamento simplificado de água pluvial com emprego de amido de milho como coagulante em filtração em camada de areia” realizada pelo presente graduando, busca avaliar a eficiência da utilização de coagulante naturais frente ao coagulante inorgânico, cloreto férrico, comumente utilizado em estações de tratamento de água.

2. OBJETIVO

O objetivo geral da presente pesquisa é 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.

2.1. Objetivos Específicos

- Comparar os resultados da utilização do tanino vegetal frente ao cloreto férrico e ao amido de milho, em termos de eficiência de remoção de cor aparente e turbidez;
- Analisar o comportamento de diferentes dosagens do tanino, em diferentes valores de pH de coagulação, de forma a se obter as condições otimizadas para o coagulante;
- Verificar se há aumento da eficiência do tratamento utilizando a filtração cíclica como complemento à filtração única;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. A Problemática Da Água

A água exerce grande influência sobre a vida presente na Terra, estando presente no processo evolutivo de todas as formas de vida. O ser humano, além de precisar consumir a água para sobreviver, desde o momento em que passou a praticar a agricultura e se estabeleceu em comunidades, criou diversos outros usos para a água além do consumo, e foi em cima desses usos que a sociedade se desenvolveu, sendo, hoje em dia, a agricultura e as indústrias os maiores consumidores de água doce.

Porém, mesmo sendo 70% da superfície do planeta Terra recoberta de água, a maior parte dessa água é salgada e inviável para uso e consumo humanos, a não ser pelo processo de dessalinização, que apresenta elevado custo econômico, o que faz da água doce um recurso escasso (BARROS *et al.*, 2008).

O atual crescimento desordenado das metrópoles, a ocupação inadequada do solo e o aumento da produção industrial e agrícola são fatores que vêm aumentando a necessidade do ser humano por água (JAQUES, 2005; OLIVEIRA, 2008). Para piorar a situação, além do consumo de água doce estar aumentando, a qualidade da mesma está diminuindo na medida em que aumenta o número de esgotos sanitários e de efluentes industriais sendo despejados sem tratamento, bem como a disposição incorreta de resíduos sólidos (FERNANDEZ E GARRIDOS, 2002 apud MURAKAMI, 2011).

Essa combinação do aumento do consumo da água aliado a uma diminuição progressiva da qualidade, e conseqüentemente, da disponibilidade da mesma, cria uma grave situação de escassez hídrica, que se agrava ano após ano. Em alguns países, principalmente os de regiões áridas e semi-áridas, a disponibilidade de água per capita já não é suficiente para atender a demanda necessária para o cultivo de alimentos e para o abastecimento da população (MURAKAMI, 2011). Cerca de um terço da população mundial vive em países que sofrem de estresse hídrico entre moderado e alto, isto é, onde o consumo de água é superior a 10% dos recursos renováveis de água doce, e prevê-se que até 2020 o uso da água aumentará em 40% a fim de satisfazer as necessidades da população crescente (WORLD WATER COUNCIL, 2000a), sendo que projeções da Organização das Nações Unidas (ONU) estimam que em 2025 dois terços da população mundial enfrentará problemas relativos à falta de água.

Além do problema de escassez hídrica, a sociedade enfrenta outros problemas relativos à água como o aumento das inundações decorrentes da urbanização crescente e consequente impermeabilização do solo, e o aumento no número de doenças causadas pelo consumo, da cada vez mais presente, água contaminada, tais como a esquistossomose, a cólera e diarreias (PINTO & HERMES, 2006).

Diante desse quadro, torna-se evidente a necessidade de se encontrar soluções para o problema hídrico, a fim de garantir um equilíbrio entre a oferta e a demanda de água nos próximos anos (MANCUSO *et al.* 2003). É nesse cenário, que o aproveitamento das águas pluviais aparece como solução, já que é capaz de satisfazer demandas menos restritivas, substituindo águas de melhor qualidade que podem ter um uso mais nobre (abastecimento doméstico por exemplo), além de ser uma maneira de controlar picos de vazão, diminuindo o risco de enchentes.

3.2. Sistemas de Aproveitamento das Águas Pluviais

O funcionamento de um sistema tradicional de aproveitamento de águas pluviais compreende, basicamente, a captação da água que precipita sobre uma superfície impermeável, sendo esta então transferida a um reservatório por meio de calhas e tubos condutores, passando antes por mecanismos de limpeza e/ou descarte para remoção de impurezas, para então ser direcionada a sistemas de distribuição (OLIVEIRA, 2008). Após ser coletada, armazenada e tratada, a água pluvial pode ser utilizada para diversas finalidades, tais como uso na descarga do vaso sanitário, lavagem de pisos, rega de jardim, entre outros, o que diminui a demanda por água potável, conservando-a (HERRMANN e SCHMIDA, 1999).

Em 2005, a Agência Nacional de Águas (ANA) esquematizou a metodologia básica para projetos de reaproveitamento de águas pluviais, baseando-se a mesma na coleta, seguida pelo tratamento e armazenamento para posterior utilização da água, como pode-se verificar na Figura 1 (ANA, 2005).



Figura 1: Esquema para aproveitamento de água pluvial em edificações. Fonte: ANA, 2005.

Os principais componentes de um sistema de aproveitamento de água pluvial, independentemente da técnica utilizada, são: área de captação, telas ou filtros para remoção de materiais grosseiros (como galhos e folhas), tubulações para a condução da água, reservatório de descarte e reservatório para armazenamento (MURAKAMI, 2011). Um sistema para tratamento deve ser incluído dependendo do uso preterido para a água, podendo o mesmo ser realizado por meio de filtração e/ou desinfecção (GONÇALVES, 2006).

Diversos estudos mostraram que a chuva inicial é mais contaminada, uma vez que esta “lava” a atmosfera e a superfície de captação carregando consigo impurezas que interferem em sua qualidade e que, portanto, se separadas e descartadas melhoram a qualidade da água pluvial que vai para o armazenamento (LIMA e MACHADO, 2008).

Uma maneira simples de limpar a água da chuva (conhecida como auto-limpeza da água da chuva) é o descarte dos primeiros milímetros de chuva (*first flush*) através de um componente do sistema conhecido como reservatório de eliminação da primeira chuva (TOMAZ, 2003). A eliminação dos primeiros milímetros de chuva é uma maneira de amenizar a contaminação da água pelos poluentes dispersos na atmosfera (FENDRICH e OLIYNIK, 2002 apud. OLIVEIRA, 2008), no entanto, a água direcionada ao reservatório final e que tenha passado apenas por esse tratamento simplificado não necessariamente está apta para o uso (ANNECCHINI, 2005).

Tratamentos mais completos, como a filtração em filtros de areia ou carvão ativado, são recomendados em casos em que a água será utilizada para usos mais exigentes, e pode ainda ser acrescentado um sistema de desinfecção (fervura, cloração ou radiação ultravioleta) que garante que a água possa ser utilizada para fins potáveis. No entanto, esses sistemas de

tratamento agregam custos de implantação, tornando o sistema mais caro, e são recomendados somente quando extremamente necessários (FENDRICH & OLIYNIK, 2002 apud ANNECCHINI, 2005).

Anneccchini (2005) atenta para o fato de que o sistema de aproveitamento das águas pluviais, embora muito útil, não deve ser considerado como a única fonte de suprimento de água, sendo encarado com uma fonte alternativa que suplemente o sistema de água potável e diminua a demanda desta para fins não potáveis.

3.3. Qualidade Da Água Pluvial

Gonçalves (2006) explica que deve-se considerar a qualidade da água da chuva em três momentos distintos dentro de um sistema de aproveitamento de água pluvial, sendo eles, a qualidade da água logo após precipitar, ao escoar pela superfície de captação e no reservatório de armazenamento. Como a primeira chuva (*first flush*) lava a atmosfera e a superfície de captação ela carrega uma maior concentração de poluentes que interferem na qualidade da água, e por isso, recomenda-se um procedimento simples que contribui para melhorar a qualidade da água, o descarte dos primeiros milímetros da chuva (MAY, 2004; ANNECCHINI, 2005; GONÇALVES, 2006). No entanto, esse procedimento provoca o descarte de grande quantidade de água o que muitas vezes inviabiliza o processo de aproveitamento de águas pluviais. Nesses casos recomenda-se um tratamento, o que reduz o volume de água descartado e eleva a oferta da mesma (NAKADA, 2008).

O fato das características da água da chuva variarem de acordo com a região e com o tipo de superfície de captação é comprovado pela diversidade de resultados encontrados na literatura, visto que, enquanto alguns apontam a água da chuva coletada por telhados como poluída (GOOD, 1993 apud ANNECCHINI, 2005) outros obtiveram resultados positivos para a mesma, encontrando um baixo potencial de poluição associado à água pluvial (SHINODA, 1990 apud ANNECCHINI, 2005).

A NBR 15527/07 estabelece os padrões para aproveitamento de águas pluviais em fins não potáveis, como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros de qualidade de águas pluviais para usos não potáveis segundo a NBR 15527/07. Fonte: NBR 15527 (ABNT, 2007).

Parâmetro	Análise	Valor
Coliformes Totais	Semestral	Ausência em 100 mL
Coliformes Termotolerantes	Semestral	Ausência em 100 mL
Cloro Residual	Mensal	0,5 a 3,0 mg/L
Turbidez	Mensal	< 2,0 uT Para usos menos restritivos: < 5,0 uT
Cor aparente	Mensal	< 15 uH
pH	Mensal	Ajuste entre 6,0 e 8,0 no caso de tubulação de aço carbono ou galvanizado.

Nota: Para lavagem de roupas deve ser feita análise anual de *Cryptosporidium parvum*.

3.4. Tratamento Das Águas Pluviais

Como já visto, a água da chuva bruta pode conter uma variedade de impurezas, tais como partículas metálicas e microorganismos patogênicos, entre outros, que podem inviabilizar seu aproveitamento mesmo que este se enquadre como fim não potável, exigindo um tratamento adequado.

Segundo Gonçalves (2006) 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.

O manual de qualidade de água e tratamentos, da American Water Works Association (AWWA, 1990 apud MURAKAMI, 2011) atenta para o fato de que o esquema de tratamento a ser escolhido depende, entre outros fatores, da qualidade da água pluvial bruta e da qualidade da água a que se deseja chegar.

Sendo assim, caso tenha-se uma água bruta muito contaminada e deseje-se um uso com qualidade mais restritiva, ou até mesmo a potabilidade, o tratamento deverá ser mais elaborado, e, conseqüentemente, os custos elevam-se, podendo inviabilizar economicamente o aproveitamento daquela água bruta para aquele uso, devendo-se então utilizá-la para outra finalidade menos restritiva.

Anneccchini (2005), no entanto, atenta para o fato de que a instalação de um sistema de aproveitamento das águas pluviais não deve somente visar a economia de dinheiro, mas sim a sustentabilidade hídrica, conservando água e auxiliando no controle de enchentes.

Di Bernando & Dantas (2005) atentam para o fato de que águas brutas apresentam diversas impurezas de variados tamanhos, tais como: microorganismos, substâncias húmicas, colóides, entre outras, e que essas impurezas apresentam carga superficial negativa (ou polímeros, no caso dos colóides) adsorvidas em sua superfície e isso impede que elas se aproximem quando em meio aquoso, inibindo a formação de conglomerados de partículas, que sedimentariam devido ao seu elevado peso. Sendo assim, para remover essas partículas da água é necessário alterar as forças catiônicas do meio, o que é feito, principalmente, a partir da adição de íons de cargas contrárias às das partículas, fenômeno conhecido como coagulação. Considera-se a coagulação como sendo o resultado individual ou combinado da ação de quatro mecanismos diferentes, que são, a compressão da dupla camada elétrica, a adsorção seguida por neutralização, a varredura e a adsorção seguida da formação.

Os autores explicam ainda que o processo de coagulação, geralmente realizado por sais de alumínio e ferro, resulta de dois fenômenos, sendo um essencialmente químico (reação do coagulante com a água, seguido da formação de espécies hidrolisadas com carga positiva) e o outro essencialmente físico (transporte das espécies hidrolisadas para que haja contato entre as impurezas). Durante a fase física do processo, as impurezas que se chocam vão se aglomerando, formando partículas cada vez maiores, denominadas flocos, que podem ser removidas facilmente da água pela sedimentação, flotação ou filtração rápida.

A fim de se aumentar o tamanho e a densidade dos flocos, empregam-se produtos sintéticos ou naturais, conhecidos como floculantes e que possibilitam a obtenção de água tratada e com melhor qualidade, além da redução das dosagens de coagulantes (MURAKAMI, 2011). Na Figura 2 estão ilustrados os esquemas dos processos de coagulação e floculação.

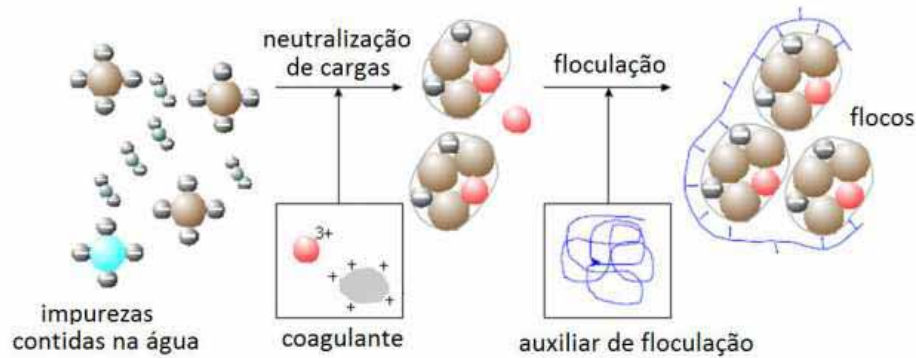


Figura 2: Esquema dos processos de coagulação e floculação. Fonte: MURAKAMI (2011).

Após a etapa de floculação, pode-se empregar um processo chamado de sedimentação, que é um fenômeno físico em que as partículas em suspensão apresentam movimento descendente em meio líquido de menor massa específica, devido à ação da gravidade (DI BERNARDO., 1993). O processo de filtração vem na sequência do tratamento e é explicado mesmo autor como sendo a remoção de partículas suspensas e coloidais contidas na água, passando a mesma por um material granular, o meio filtrante. Segundo Libânio (2005) apud Murakami (2011) a filtração é essencial para retirar as partículas responsáveis pela turbidez da água, que por sua vez, quando em excesso, diminuem a eficácia da desinfecção da água, impedindo a inativação do microrganismos patogênicos nela presentes.

A adição de cloro na forma de hipoclorito de sódio é o método mais usual para desinfetar as águas pluviais, além da utilização de raio UV ou ozônio no processo de desinfecção, que aparecem como alternativas para desinfecção segundo a NBR 15527/07.

3.5. Coagulantes Naturais

As vantagens da aplicação de polímeros sintéticos e naturais (amidos em geral) são, segundo Di Bernardo & Dantas (2005), no processo de coagulação, a redução da dosagem de coagulante primário (sal de alumínio ou ferro), no processo de floculação, o aumento da velocidade de sedimentação dos flocos, a redução das forças de cisalhamento nos flocos durante o escoamento da água floculada e a diminuição da dosagem de coagulante primário, e no processo de filtração, a redução da possibilidade de transpasse dos flocos pelo filtro, permitindo a utilização de taxas de filtração maiores.

Di Bernardo et al. (2005) citam que tanto polímeros sintéticos como polímeros naturais têm sido utilizados como auxiliares no tratamento de água nos processos de coagulação, floculação e filtração. Grossl *et al.* (2009) ressalta que os polímeros naturais são vantajosos, pois não apresentam nenhum risco à saúde da população, ao contrário de alguns polímeros sintéticos, como os à base de acrilamidas que podem eventualmente ser liberados na água no caso da ocorrência de falhas na operação da estação de tratamento.

Nos últimos anos, vários estudos têm sido realizados no sentido da utilização de coagulantes poliméricos alternativos aos coagulantes químicos para a produção de água potável, visando à melhoria do processo, permitindo a redução do lodo gerado e a ausência de metais no mesmo (MORAES, 2004). Além disso, os coagulantes naturais apresentam as vantagens em relação aos coagulantes químicos de serem biodegradáveis e não tóxicos (KAWAMURA, 1991 apud. BONGIOVANI, 2010).

Um exemplo de coagulante natural que pode ser empregado no tratamento de águas é o amido de milho. Nakada (2008) utilizou-o em sua pesquisa para o tratamento simplificado de água pluvial para fins não potáveis, no município de Rio Claro, SP. A autora simulou em escala de laboratório as condições de tratamento, empregando diferentes dosagens de solução de amido de milho e utilizando a filtração cíclica. Os resultados obtidos indicaram que para a precipitação analisada, a dosagem de 6,0 mg/L de amido de milho promoveu eficiências de remoção de 86% da turbidez e de 88% para a cor aparente, adequando os parâmetros às recomendações da NBR 15527. Além disso, a autora aponta que com o tratamento não é necessário realizar o descarte da primeira chuva, de forma a aumentar o volume aproveitável, e ressalta que os ciclos de filtração foram eficientes para remoção de coliformes totais, mas não para remoção da cor aparente e da turbidez.

Murakami (2011) também utilizou em seu estudo o amido de milho como coagulante primário para o tratamento de águas pluviais, sem descarte da primeira chuva, visando usos não potáveis, no município de Rio Claro. A autora utilizou uma estação em escala real para tratamento das águas pluviais, após ensaios prévios em escala de laboratório, e como resultados ela obteve reduções que variaram de 25% a 70,8% para turbidez e de 4,9% a 61% para cor aparente, além de reduções de até 41% para coliformes totais e de 55% para *E. coli*. Segundo a autora, apesar do tratamento não ter adequadamente a água pluvial aos padrões preconizados pela NBR 15527/07, o mesmo possibilitou a redução do valor do descarte da primeira chuva em 85% e permitiu a obtenção de águas que poderiam ser utilizadas em fins menos nobres, sem prejuízo algum.

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, L.A *et al.* 2009). No presente estudo foi utilizado o coagulante a base de tanino ACQUAPOL OF, produzido pela SETA S/A.

Bongiovani (2010) 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 (2012) 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. (2012) também utilizou o coagulante Tanfloc SG, mas para o tratamento de lixiviado do aterro sanitário de Maringá e encontrou resultado 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 ®.

4. METODOLOGIA

4.1. Sistema de Captação da Água Pluvial

A estação de coleta e tratamento de águas pluviais foi instalada no Centro de Estudos Ambientais (CEA), no município de Rio Claro (SP), tendo sido montada por Nakada (2008) e Vieira (2008) durante o desenvolvimento de seus trabalhos de conclusão do curso de graduação em Engenharia Ambiental, com financiamento do CNPq – processo 477881/2006-8, sob orientação do docente Prof. Dr. Rodrigo Braga Moruzzi, junto à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP. Vale ressaltar que a estação experimental contava com um sistema de captação de águas pluviais e um sistema de tratamento em escala real para a mesma, sendo que este último não foi utilizado no presente estudo.

O sistema de captação e tratamento da água pluvial foi montado em uma área de aproximadamente 30 m², localizada ao lado do anfiteatro do CEA. 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. O local da instalação da estação piloto foi escolhido de forma a aproveitar o sistema de captação e direcionamento de água já existente no anfiteatro, e também, porque a área encontrava-se em uma cota mais baixa do que o anfiteatro, o que dispensou o uso de bombas para o direcionamento das águas pluviais coletadas, permitindo que o direcionamento ficasse a cargo da força gravitacional.

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, para a área de telhado (400m²) utilizada para a coleta seria possível obter água com 1,5; 1,0 e 0,5mm (600; 400 e 200L, respectivamente) de descarte, no entanto, por não

contar com um sistema de fechamento automático, a água dos reservatórios de descarte acabava se misturando à chuva subsequente, fazendo com que o descarte perdesse sua principal função, que é separar os milímetros mais contaminados da chuva. Além disso, a presença dos reservatórios de descarte era responsável pela perda de um volume significativo de água (600L). Sendo assim, os tanques de descarte foram suprimidos do presente estudo, tendo sido seus registros de entrada fechados, permitindo que a água pluvial seguisse direto e sem perdas significativas para o reservatório de acumulação de 10 m³, de forma a maximizar o volume de água acumulado. O esquema do sistema de coleta aparece na Figura 3, e na Figura 4 é possível ver o reservatório de acumulação no primeiro plano.

A precipitação acumulada no reservatório ocorreu no dia 12 de janeiro de 2013 e ficou armazenada durante todo o período de estudo, sendo coletada a cada ensaio (e somente o volume necessário para o mesmo) por meio de um balde exclusivo para coleta e transporte da água até o laboratório, através de um orifício para inspeção do reservatório.

Por ter ficado por um longo período armazenada no tanque de acumulação, a água ficou sujeita ao processo de sedimentação pela gravidade, o que é confirmado pela redução que ocorre nos parâmetros cor aparente e turbidez da água bruta ao longo dos ensaios, como pode ser observado nos Apêndices, e com o intuito de se reduzir esse problema, antes da coleta da água era feita uma homogeneização da mesma, utilizando o balde de coleta e a própria água do tanque. Todavia, o fato do reservatório apresentar grande volume de água, quando comparado ao balde utilizado para homogeneização, fez com que a mesma ocorresse apenas de forma superficial, sendo que não foi possível trazer à superfície as partículas que já haviam sedimentado. Deve-se ressaltar, porém, que tal fato não prejudicou o andamento do estudo.

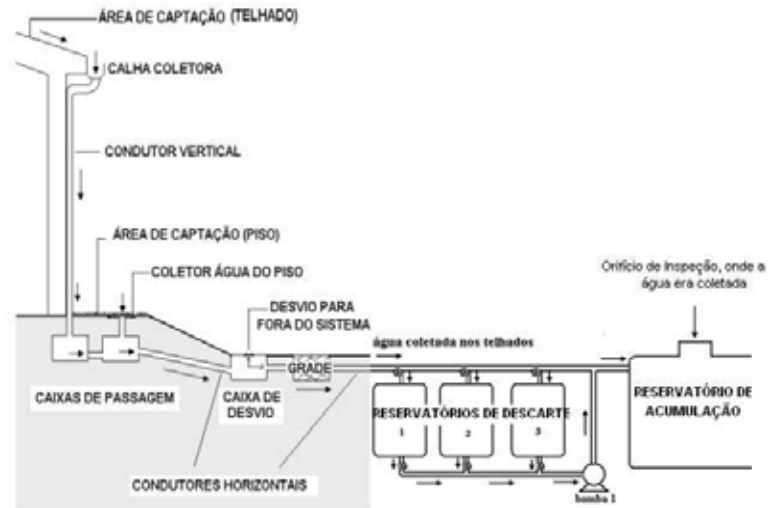


Figura 3: Esquema do sistema de captação de água pluvial. Sem escala. Modificado de Murakami (2011).



Figura 4: Visão geral da estação piloto, onde é possível ver o reservatório de acumulação no primeiro plano.

4.2. Ensaios Em Escala De Laboratório

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 dosagem 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.

4.2.1. *Preparação das soluções de coagulante e soluções ácido-base*

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.* 2012).

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 qual possuía 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.

4.2.2. *Jarteste*

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 5 apresenta o esquema do jarteste utilizado na presente pesquisa.

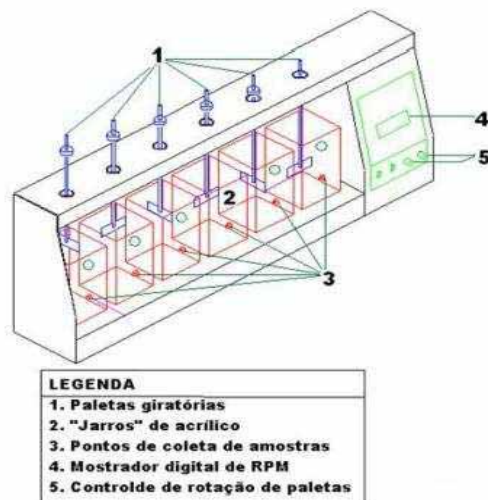


Figura 5: Esquema do jarteste utilizado. FONTE: MURAKAMI (2011).

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} (185 RPM) (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. Na Figura 6 é possível visualizar, à esquerda, a montagem do jarteste, e a direita, o mesmo em operação.



Figura 6: À esquerda, foto do jarteste antes do início da operação e, à direita, após o início da mesma.

4.2.3. Filtração

Após a agitação no Jarteste, as amostras foram submetidas à filtração em filtro de papel Whatman 40 (porosidade média de 8 μm), cujo objetivo era simular o filtro de pressão contendo areia, utilizado em escala real, conforme pode ser visualizado na Figura 7.

Em um dos ensaios, cujos resultados encontram-se no Apêndice C, também foi empregada também a metodologia da filtração cíclica (NAKADA, 2008), 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 simular o processo de colmatção do filtro que ocorre em escala plena, 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.



Figura 7: Foto da montagem dos filtros de papel.

4.2.4. Caracterizações Físico-Químicas E Microbiológicas

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

As análises realizadas para caracterização da água pluvial e avaliação da eficiência do tratamento foram aquelas recomendadas pela NBR 15527 (ABNT, 2007), a saber: cor aparente (uH), turbidez (NTU) e pH, sendo que as análises de Coliformes Totais (NMP/100mL) e *E. coli*. (NMP/100mL) foram suprimidas, haja visto que no estudo “Avaliação do desempenho de uma unidade em escala real para tratamento simplificado de água pluvial com emprego de amido de milho como coagulante em filtração em camada de areia”, realizada pelo presente graduando, verificou-se que todas as precipitações do local continham quantidades significativas de coliformes e que o processo de filtração por si só não era suficiente para reduzir o seu número, sendo necessária a aplicação de cloro para tal.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Ensaios Iniciais

Os ensaios de 1 a 6, cujos resultados aparecem no Apêndice A, foram realizados utilizando-se os seguintes coagulantes e as seguintes concentrações (m/m):

- Ensaios 1 e 2: cloreto férrico na concentração de 2%;
- Ensaios 3 e 4: ACQUAPOL OF na concentração de 1%;
- Ensaios 5 e 6: ACQUAPOL OF na concentração 3%;

Vale ressaltar que os resultados para o amido de milho utilizados no presente estudo foram encontrados na pesquisa de iniciação científica “Avaliação do desempenho de uma unidade em escala real para tratamento simplificado de água pluvial com emprego de amido de milho como coagulante em filtração em camada de areia”, realizada pelo presente graduando em 2012, com financiamento do CNPq.

Esses ensaios foram realizados de forma a verificar e comparar o comportamento que diferentes dosagens dos coagulantes exerciam sobre a eficiência dos mesmos na remoção de cor aparente e turbidez da água pluvial, de forma a determinar a concentração ideal do coagulante, que posteriormente seria aplicada em escala real.

Para isso, em um primeiro momento era testada uma 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 ótima fosse encontrada. Os volumes de coagulante utilizadas em cada ensaio, assim como os resultados dos mesmos, encontram-se na tabela do Apêndice A.

A fim de se facilitar a visualização dos resultados, foram plotados os diagramas de coagulação, para todos os coagulante testados, utilizado o *software* Surfer 9 e foi utilizado 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 8 a 11) e cor aparente (Figuras 12 a 15). 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.

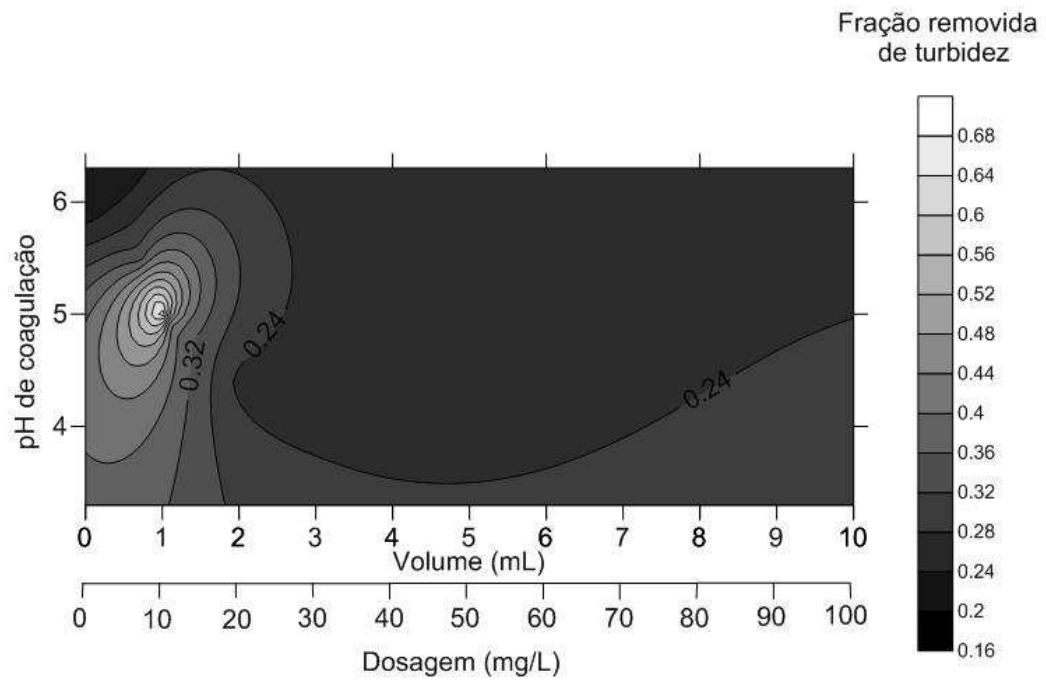


Figura 8: Diagrama de coagulação para remoção de turbidez para o coagulante cloreto férrico 2%.

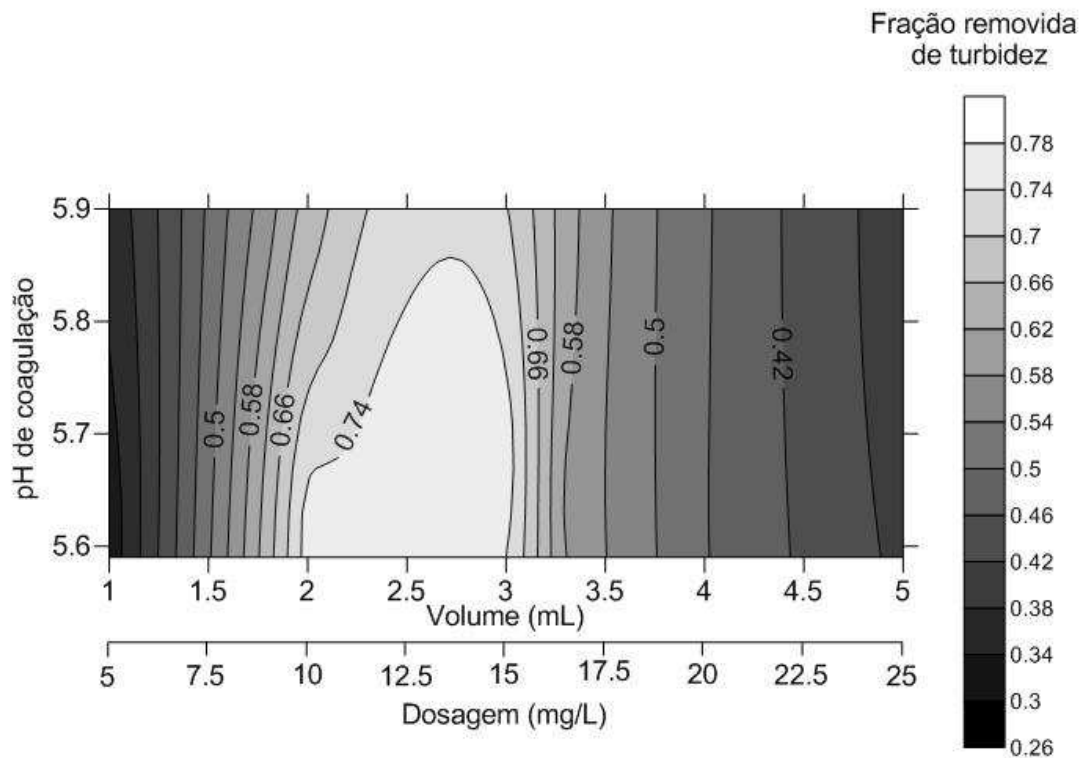


Figura 9: Diagrama de coagulação para remoção de turbidez para o coagulante ACQUAPOL OF 1%.

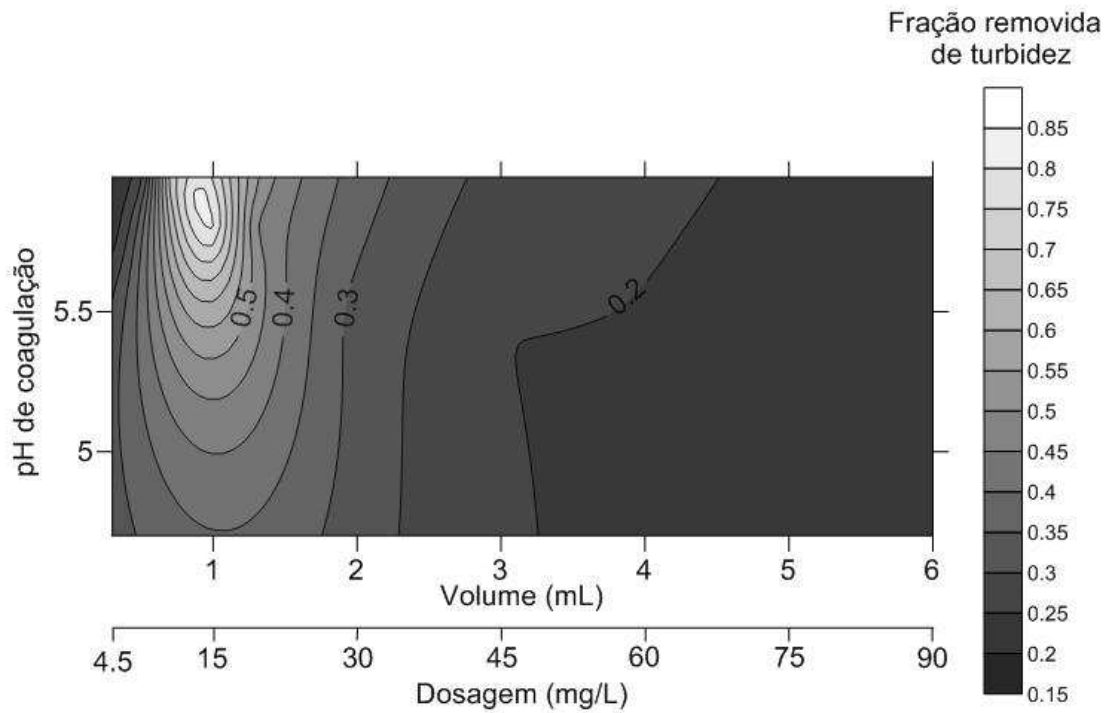


Figura 10: Diagrama de coagulação para remoção de turbidez para o coagulante ACQUAPOL OF 3%.

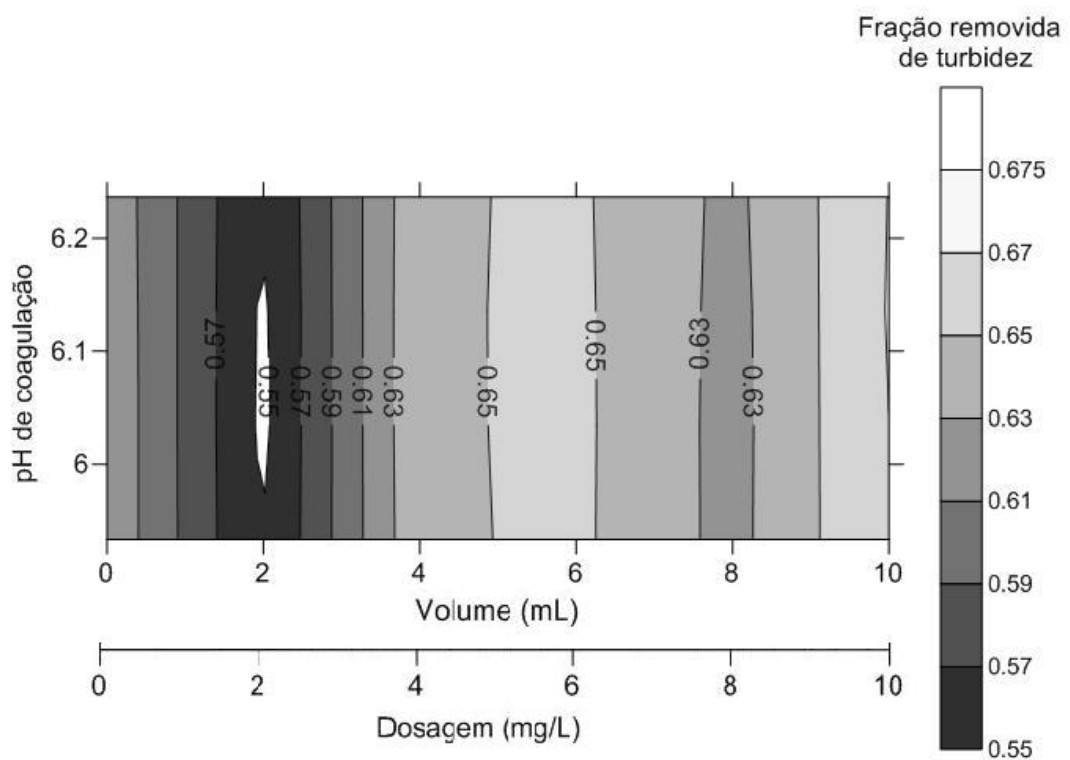


Figura 11: Diagrama de coagulação para remoção de turbidez para o coagulante amido.

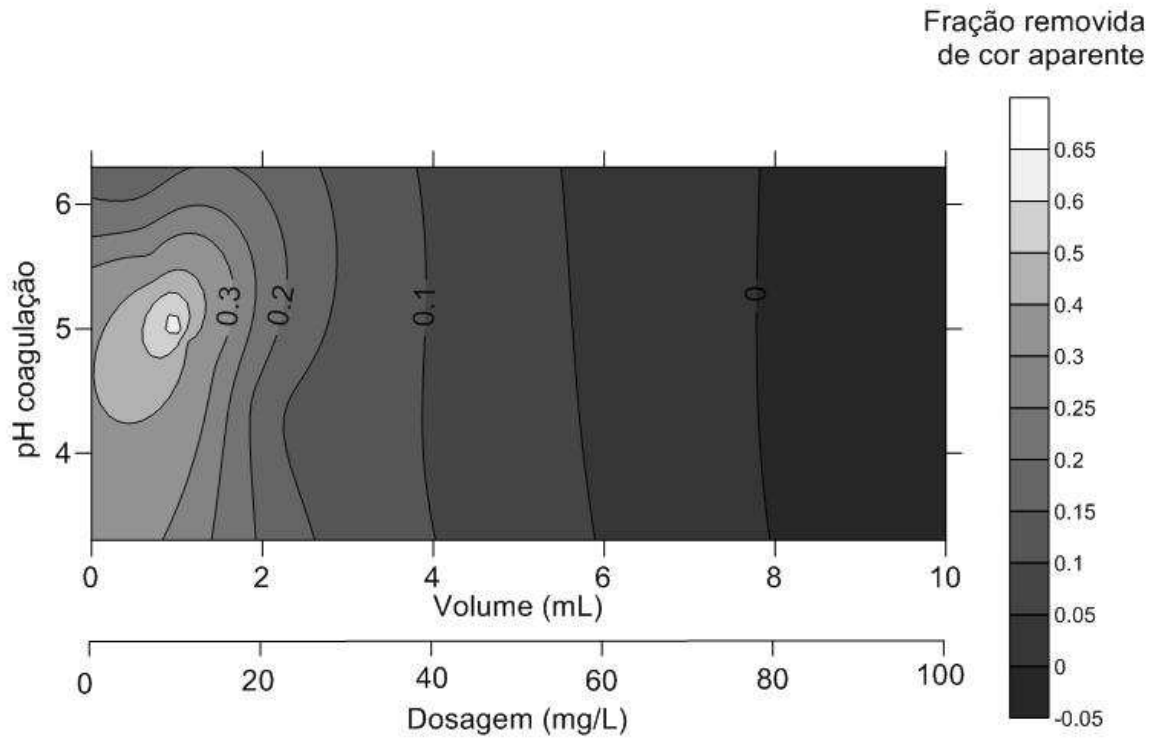


Figura 12: Diagrama de coagulação para remoção de cor aparente para o coagulante cloreto férrico 2%.

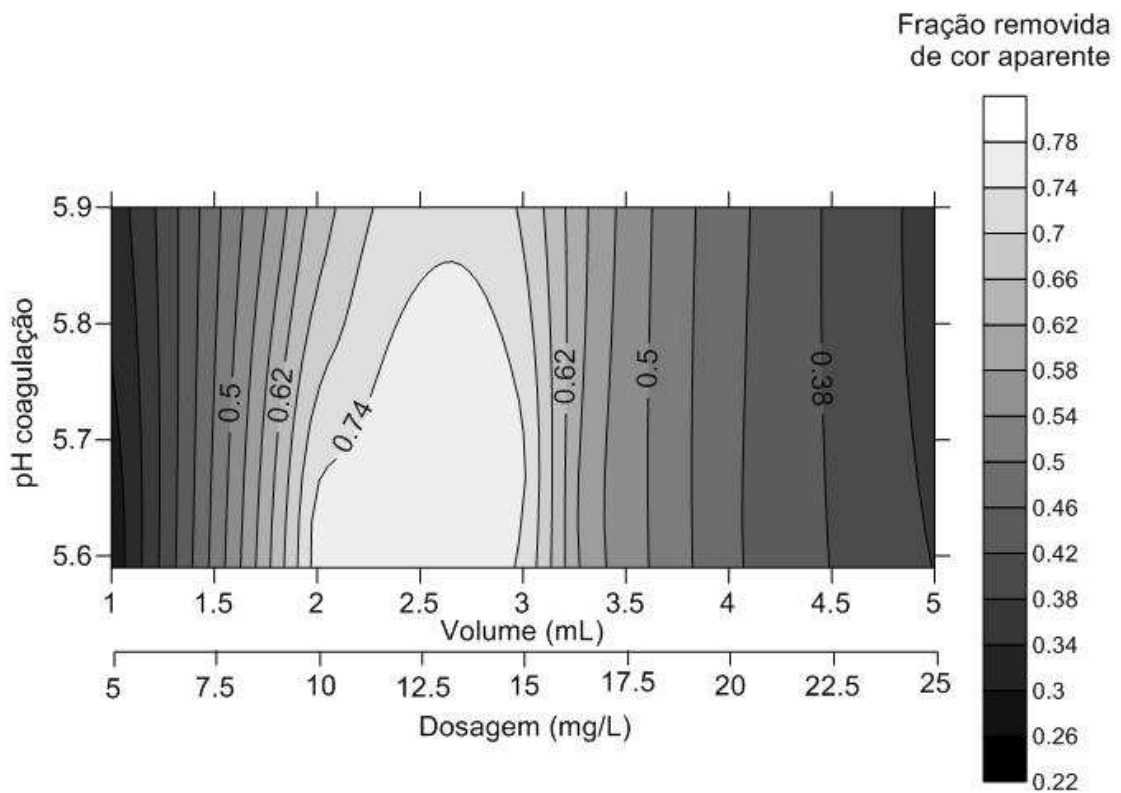


Figura 13: Diagrama de coagulação para remoção de cor aparente para o coagulante ACQUAPOL OF 1%.

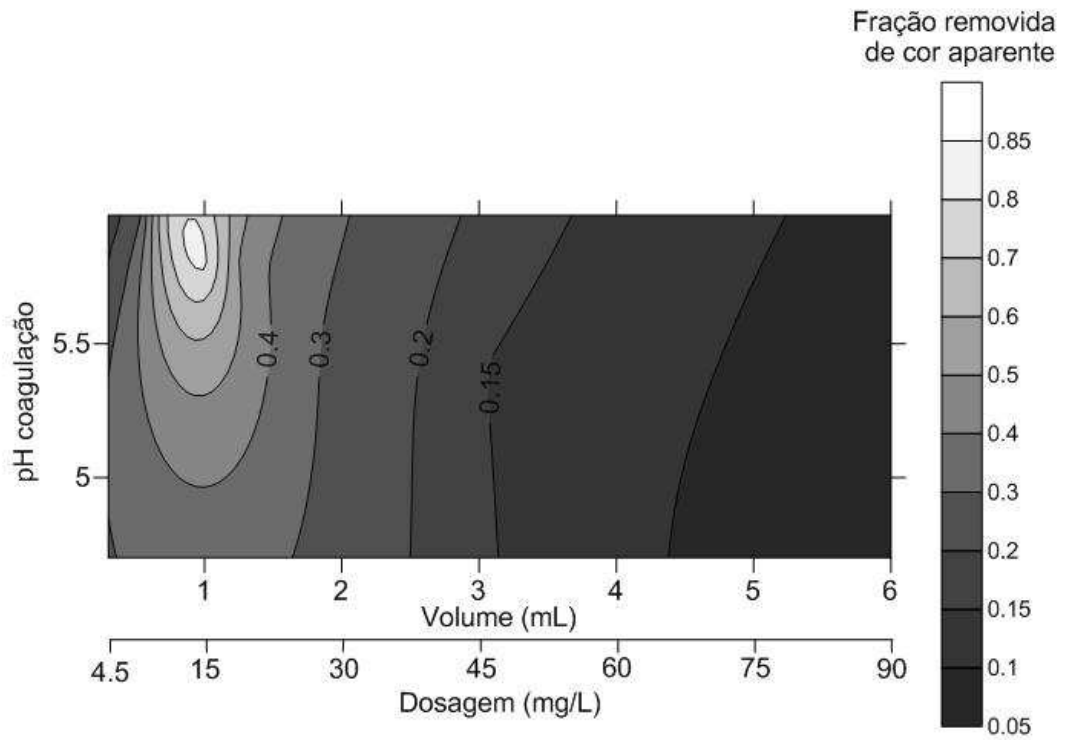


Figura 14: Diagrama de coagulação para remoção de cor aparente para o coagulante ACQUAPOL OF 3%.

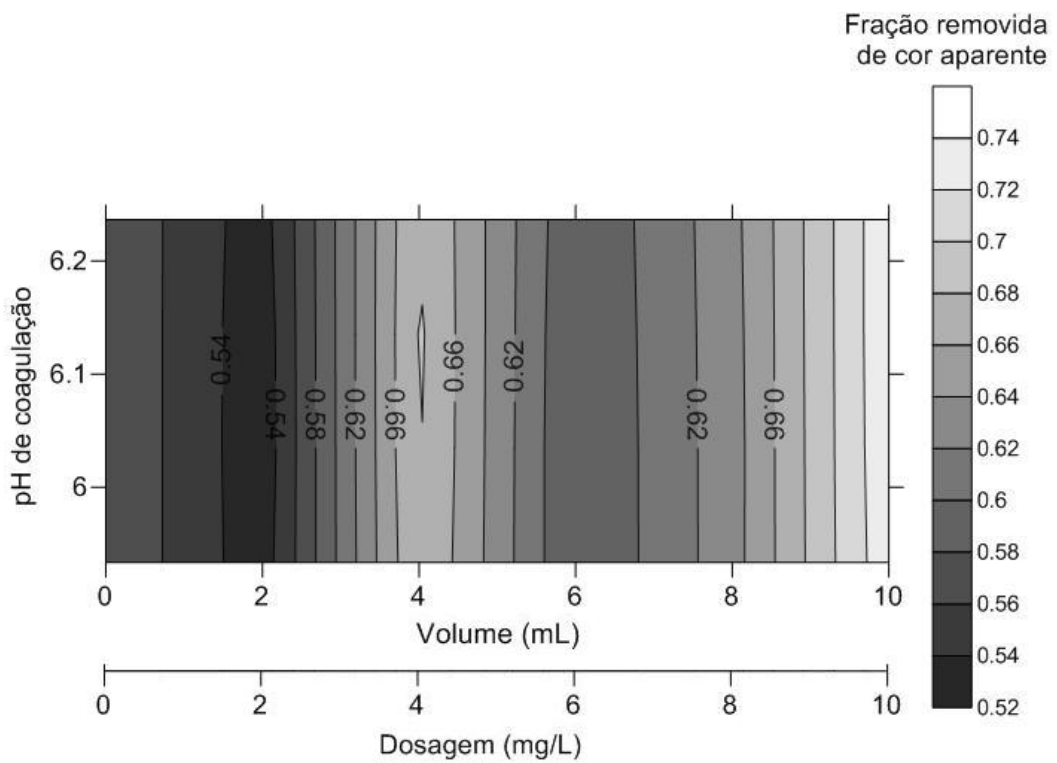


Figura 15: Diagrama de coagulação para remoção de cor aparente para o coagulante amido de milho.

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 resultados 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 (1mL do coagulante puro, cujos resultados encontram-se no Apêndice A) 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.

Com base nesses resultados, é possível inferir que nenhuma das amostras tratadas com o cloreto férrico e com o ACQUAPOL se enquadraram nos padrões de cor aparente e turbidez estabelecidos pela NBR 15527, mas vale ressaltar que a amostra de água pluvial bruta apresentava-se bastante contaminada, com valores que chegaram a 323 uH para cor aparente e 52,6 NTU para turbidez. No entanto, o ACQUAPOL OF 3% foi o coagulante que promoveu os melhores resultados chegando a valores bem próximos aos estabelecidos pela norma para usos não potáveis. Os valores de cor aparente e turbidez encontrados na água pluvial tratada com o amido de milho se enquadram nos valores estabelecidos pela NBR 15527, no entanto, a água bruta utilizada no ensaio apresentava-se menos contaminada, com cor aparente de 19 uH e turbidez de 3,84 NTU, de forma que as eficiências de remoção de cor aparente e turbidez do amido de milho foram menores do que as encontradas para o ACQUAPOL a 3%.

Com relação a variação do pH de coagulação é possível notar que o coagulante sintético, cloreto férrico, apresentou variação bem mais acentuada do que os coagulantes naturais, sendo que estes, em baixas dosagens promovem pouca variação no valor do pH da água tratada, em relação a amostra bruta.

O critério para definir qual coagulante seria utilizado para construção do diagrama de coagulação foram as eficiências de remoção de cor aparente e turbidez encontradas nos

ensaios preliminares, sendo que o ACQUAPOL OF na concentração de 3% (m/m) foi o que apresentou as maiores eficiências, tendo sido escolhido. De forma a abranger uma ampla faixa de concentrações, o que é interessante para a construção do diagrama de coagulação, para os ensaios seguintes foram utilizados os seguintes volumes de coagulante ACQUAPOL OF 3%: 0,5 mL/jarro; 1 mL/jarro; 2 mL/jarro; 3 mL/jarro; 4 mL/jarro e 5 mL/jarro que correspondem, respectivamente, às dosagens de: 7,5 mg/L; 15 mg/L; 30 mg/L; 45 mg/L; 60 mg/L; e 75 mg/L, tendo sido esses valores escolhidos com base nos resultados dos ensaios preliminares.

5.2. Filtração Cíclica

O ensaio 7, cujos resultados aparecem no Apêndice B, 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 graficados aparecem nas Figuras 16 e 17.

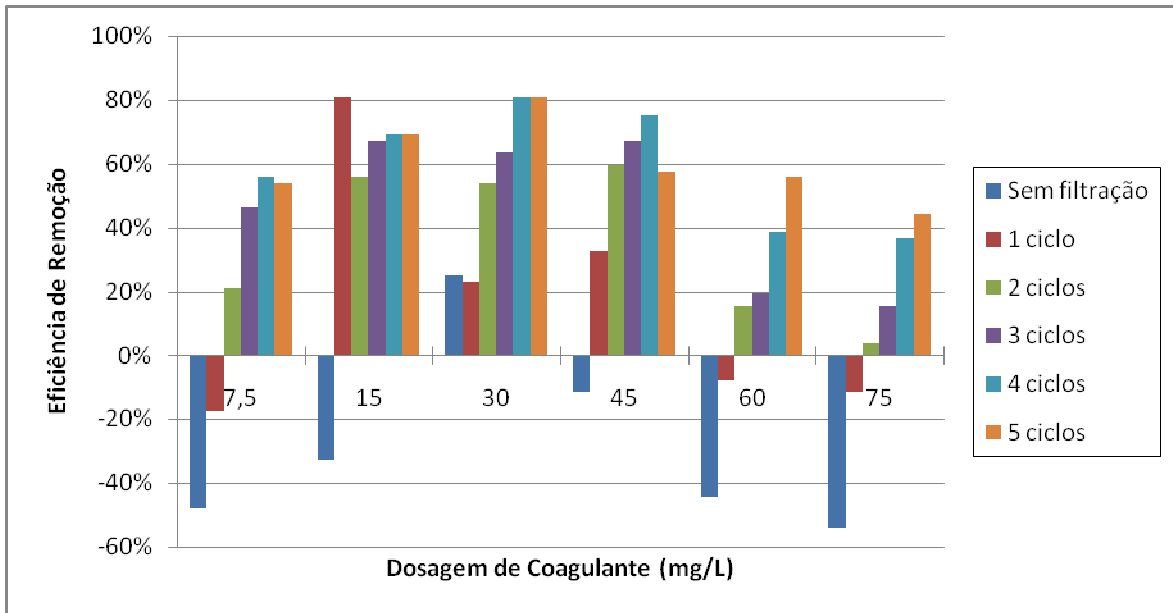


Figura 16: Eficiência de remoção da cor aparente em função do número de filtrações e da dosagem de coagulante utilizada (mg/L).

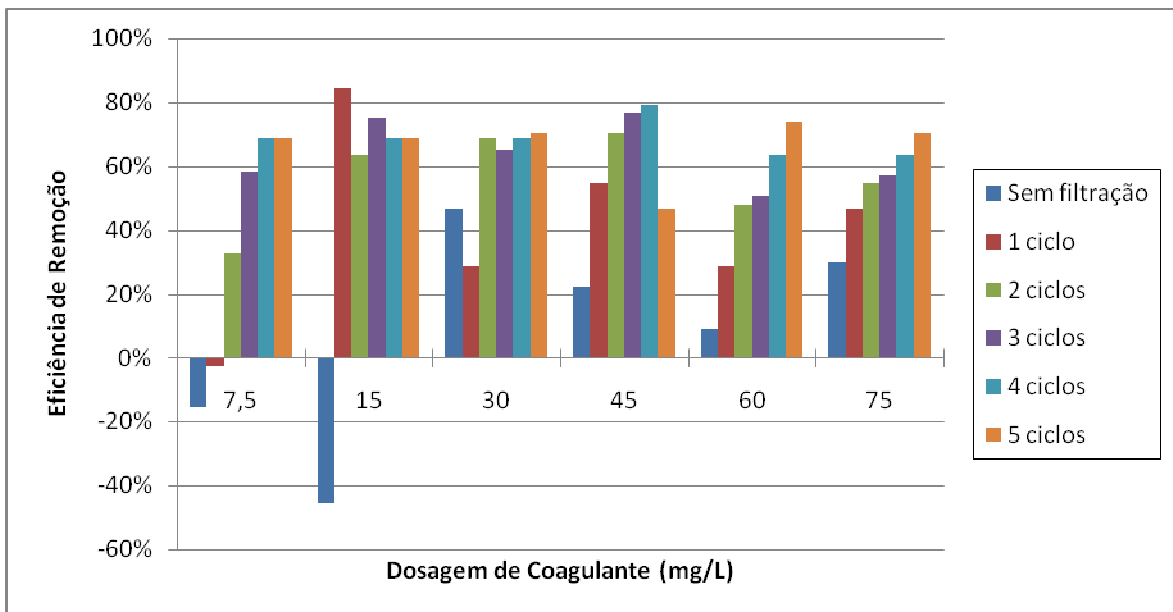


Figura 17: Eficiência da remoção da turbidez em função do número de filtrações e da dosagem de coagulante utilizada (mg/L).

De forma geral, os resultados que aparecem na Tabela do B e os gráficos apresentados nas Figuras 16 e 17 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 aumentava o número de filtrações.

Assim como nos ensaios preliminares, o volume de 1 mL (dosagem de 15 mg/L e pH de coagulação de 6,56) produziu os melhores resultados para remoção da cor aparente e da turbidez após o primeiro ciclo de filtração, superando os 80% de eficiência de remoção, sendo que para os outros volumes de coagulante a remoção não foi tão eficiente. Contudo, a partir da filtração cíclica foi possível obter resultados semelhantes a esses, para diferentes volumes de coagulantes (80,8% de remoção de cor aparente para 30 mg/L de ACQUAPOL OF 3%, pH de coagulação de 6,44 e 4 ciclos de filtração; e 79,2% de remoção de turbidez para uma dose de 45 mg/L de ACQUAPOL OF 3%, pH de coagulação de 6,28 e 4 ciclos de filtração), de forma que essa técnica pode ser utilizada a fim de se aumentar a eficiência do tratamento.

No entanto, para o volume de 1 mL, que corresponde a dosagem mais adequada (15mg/L), baseado nos resultados dos ensaios preliminares, a filtração cíclica foi responsável por uma redução na qualidade da água ao promover aumento da cor aparente e da turbidez ao longo dos ciclos de filtração. Esse fato provavelmente ocorreu porque ao se utilizar a dosagem mais adequada ocorreu a formação de mais agregados de partículas, que ficaram retidos no filtro após o primeiro ciclo de filtração e promoveram a colmatação do mesmo, fazendo com que nos ciclos seguintes de filtração ocorresse uma contaminação da água pela reintegração de partículas do filtro à mesma.

Vale ressaltar que o efeito de colmatação do filtro pode ser observado em outros dois momentos ao longo do processo de filtração cíclica, sendo o primeiro, em escala laboratorial e evidenciado pelo aumento progressivo no tempo dispendido para que as amostras fossem filtradas 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. O segundo momento que evidencia a colmatação, aparece nos resultados, e é a tendência da eficiência de remoção se estabilizar em um valor ou diminuir após alguns ciclos de filtração. Esse fenômeno fica claro nas amostras que utilizaram um menor volume de coagulante, e principalmente após o quarto ciclo de filtração, conforme pode ser verificado nos gráficos anteriormente apresentados nas Figuras 16 e 17.

Além disso, nesses gráficos é possível notar a presença de alguns valores de eficiência negativos. Isso provavelmente ocorreu pela introdução do coagulante, haja visto que o mesmo apresenta coloração avermelhada.

5.3. Ensaios para construção do diagrama de coagulação

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 18). Esses ensaios seguiram a metodologia descrita em 4.2.2 e os resultados dos mesmos encontram-se no C. A metodologia utilizada para construção dos diagramas de coagulação foi a mesma descrita anteriormente em 5.1.

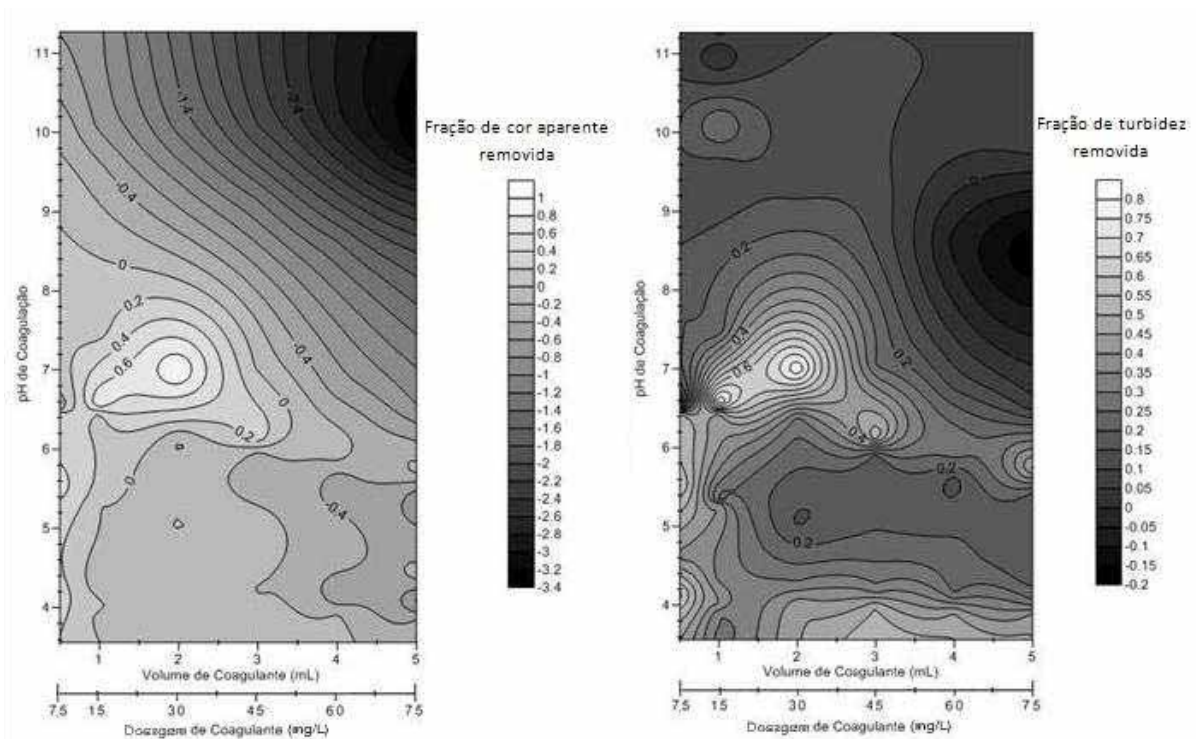


Figura 18: Diagramas de coagulação para remoção de cor aparente (esquerda) e para turbidez (direita).

A partir da observação da Figura 18 é possível notar que para ambos os diagramas existe uma “área ótima” indicada pela região mais clara. Nessas áreas encontram-se as maiores eficiências de remoção de cor aparente e de turbidez pelo coagulante (que vão 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;

Nota-se também que no diagrama para cor aparente praticamente todas as curvas que se encontram fora das faixas de valores de dosagens mais adequadas, supracitadas, apresentam valores negativos, indicando uma piora na qualidade da água pluvial. Isso se deve provavelmente ao fato do coagulante possuir uma cor avermelhada que, quando em grandes volumes, ou quando fora da faixa ótima de pH, provoca um aumento na cor aparente da água, que não é removida pela coagulação e nem pela filtração.

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. No entanto, a existência dessa faixa de eficiências medianas não indica que a remoção do particulado possa ser creditada ao coagulante, podendo ter ocorrido somente pela filtração direta das amostras.

6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

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 (66,25% 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 (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, e, portanto, trabalhar com concentrações mais baixas permite dosar melhor o coagulante. Sendo assim, em trabalhos futuros sugere-se a investigação de outras concentrações;
- 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 foras 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 que não receberam a “dosagem ótima” do coagulante e aparecem como uma alternativa para complementar o tratamento da água pluvial. No entanto, para a “dosagem ótima” a filtração cíclica promoveu pioras na qualidade da água, provavelmente devido ao processo de colmatação do filtro.

Com base nos resultados apresentados na presente pesquisa, recomenda-se para estudos futuros:

- Verificar se o coagulante ACQUAPOL OF repete em escala real o comportamento apresentado no laboratório;
- Investigar outras concentrações do ACQUAPOL OF para verificar se há mudança significativa na eficiência;
- Realizar ensaios utilizando águas pluviais de variadas precipitações e de características diversas para confirmar os resultados obtidos;
- Verificar se o comportamento do coagulante se repete com a utilização de diferentes tempos e velocidades para ocorrência de mistura rápida. Pode-se aplicar também tempos para ocorrência da coagulação e da floculação, visto que com isso espera-se obter melhores eficiências de remoção;
- Realizar um estudo da viabilidade econômica da aplicação do coagulante a base de tanino e a geração de lodo do mesmo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN WATER AND WASTEWATER ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21st. Denver. CP: AWWA, 2005.

ANNECCHINI, K. P. V. **Aproveitamento da água de chuva para fins não potáveis na região metropolitana de Vitória (ES)**. Vitória: ET/UFES, 2005. 124p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR15527: Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2007.

BARROS, F., AMIN, M. **Água: um bem econômico de valor para o Brasil e o mundo**. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, América do Norte, 4, fev. 2008. Disponível em: <<http://rbgdr.net/revista/index.php/rbgdr/article/view/116/106>>. Acesso em: 18 Ago. 2012.

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.

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.

DI BERNARDO, L., **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. Volumes 1 e 2, ABES, Rio de Janeiro, 1993.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. São Carlos. Rima, 2005.

GONÇALVES, R. F. **Uso racional de água em edificações**. Rio de Janeiro. ABES, 2006.

GROSSL, K.; TOMAZZONI, G.; SANTOS, H. R. **Amido de batata como auxiliar de floculação no tratamento de águas para abastecimento**. In: VII Semana de Engenharia Ambiental. Unicentro. Irati, 2009

HERRMANN, T.; SCHMIDA, U. **Rainwater utilization in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects.** Elsevier.1999.

JAQUES, R. C. **Qualidade da água de chuva no município de Florianópolis e sua potencialidade para aproveitamento em edificações.** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2005. 102f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental.

LIMA, R. P.; MACHADO, T. G. **Aproveitamento de Água Pluvial: análise do custo de implantação do sistema em edificações.** 2008. 46p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Civil Ênfase Ambiental, Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos, Barretos, 2008.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. **A escassez e o reuso de água em âmbito mundial.** São Paulo: Manole, 2003, p 12.

MAY, S. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para o uso não potável em edificações.** 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade da São Paulo, São Paulo, 2004.

MMA/ANA/SINDUSCON/COMASP/FIESP/ SESI/ SENAI/ IRS. **Conservação E Reuso Da Água Em Edificações.** Volume único. 2005. 152 p.

MORAES, L. C. K. **Estudo da coagulação e ultrafiltração para produção de água potável.** 2004. Dissertação de mestrado (Engenharia Química) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2004.

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.

MURAKAMI, M. F. **Avaliação do desempenho de uma unidade em escala real para tratamento de água pluvial empregando a filtração rápida por meio de filtro de pressão e amido natural de milho como coagulante primário.** 2011. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

NAKADA, L. Y. K. **Tratamento de água pluvial para fins não potáveis com utilização de amido de milho como coagulante em filtração cíclica em escala de laboratório.** Rio Claro: UNESP, 2008. 39p. Trabalho de conclusão de curso de graduação (Engenharia Ambiental).

OLIVEIRA, F. M. B. **Aproveitamento de águas de chuva para fins não potáveis no campus da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais.** 2008, 114p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008.

PAVANELLI, G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulante na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada.** 2001. 233 f. Dissertação (Mestrados) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

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.

PINTO, N. O.; HERMES, L. C. **Sistema simplificado para melhoria da qualidade da água consumida nas comunidades rurais do semiárido do Brasil.** Jaguariúna. Embrapa. 20p. 2006.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de Água de Chuva.** ed. 2°. São Paulo: Navegar. 2003.

VIEIRA, J. **Coleta e estratégia simplificada de tratamento de água de chuva para fins não potáveis com ênfase no uso industrial.** Rio Claro: UNESP, 2008. 39p. Trabalho de conclusão de curso de graduação (Engenharia Ambiental).

WORLD WATER COUNCIL. **World Water Vision Commission Report: A Water Secure World. Vision for Water, Life and the Environment.** World Water Council <http://w.worldwatercouncil.org/Vision/Documents/CommissionReport.pdf> [Geo-2-125]

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.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Resultados dos ensaios preliminares em Jarteste

Ensaio 1 – 15/01/2013 – Coagulante: Cloreto Férrico 20 mg/L

Jarro	Volume de Coagulante (ml)	Volume de NaOH 1M (ml)	Volume de HCL 0,65M (ml)	pH de coagulação	Cor Aparente (uH)	Turbidez (NTU)	Remoção Absoluta de cor aparente (uH)	Remoção absoluta de Turbidez (NTU)	Eficiência de remoção de cor (%)	Eficiência de remoção de turbidez (%)
1	0,5	-	-	6,3	274	43	49	8,9	15,17%	17,15%
2	1	-	-	5	109	16,7	214	35,2	66,25%	67,82%
3	1,5	-	-	4,6	231	36	92	15,9	28,48%	30,64%
4	2	-	-	4,4	267	40	56	11,9	17,34%	22,93%
5	2,5	-	-	4,2	282	39,8	41	12,1	12,69%	23,31%
6	3	-	-	4,3	282	39,8	41	12,1	12,69%	23,31%
Bruta	-	-	-	6,4	323	51,9	-	-	-	-

Ensaio 2 - 16/01/2013 – Coagulante: Cloreto Férrico 20 mg/L

Jarro	Volume de Coagulante (ml)	Volume de NaOH 1M (ml)	Volume de HCL 0,65M (ml)	pH de coagulação	Cor Aparente (uH)	Turbidez (NTU)	Remoção Absoluta de cor aparente (uH)	Remoção absoluta de Turbidez (NTU)	Eficiência de remoção de cor (%)	Eficiência de remoção de turbidez (%)
1	0	-	-	5,9	246	42,1	69	9,3	21,90%	18,09%
2	0,7	-	-	5,5	214	36	101	15,4	32,06%	29,96%
3	0,9	-	-	5,2	138	23,2	177	28,2	56,19%	54,86%
4	1,1	-	-	4,9	187	30,5	128	20,9	40,63%	40,66%
5	1,3	-	-	4,8	210	34,4	105	17	33,33%	33,07%
6	10	-	-	3,3	330	38,2	-15	13,2	-4,76%	25,68%
Bruta	-	-	-	6,3	315	51,4	-	-	-	-

Ensaio 3 – 16/01/2013 – Coagulante: ACQUAPOL OF 1%

Jarro	Volume de Coagulante (ml)	Volume de NaOH 1M (ml)	Volume de HCL 0,65M (ml)	pH de coagulação	Cor Aparente (uH)	Turbidez (NTU)	Remoção Absoluta de cor aparente (uH)	Remoção absoluta de Turbidez (NTU)	Eficiência de remoção de cor (%)	Eficiência de remoção de turbidez (%)
1	1	-	-	5,59	226	38,3	67	14,3	22,87%	27,19%
2	2	-	-	5,62	70	12,6	223	40	76,11%	76,05%
3	3	-	-	5,68	73	12,4	220	40,2	75,09%	76,43%
4	4	-	-	5,6	168	28,3	125	24,3	42,66%	46,20%
5	5	-	-	5,86	198	33,8	95	18,8	32,42%	35,74%
6	*	-	-	3,74	330	41	-37	11,6	-12,63%	22,05%
Bruta	-	-	-	5,5	293	52,6	-	-	-	-

Ensaio 4 – 17/01/2013 – Coagulante: ACQUAPOL OF 1%

Jarro	Volume de Coagulante (ml)	Volume de NaOH 1M (ml)	Volume de HCL 0,65M (ml)	pH de coagulação	Cor Aparente (uH)	Turbidez (NTU)	Remoção Absoluta de cor aparente (uH)	Remoção absoluta de Turbidez (NTU)	Eficiência de remoção de cor (%)	Eficiência de remoção de turbidez (%)
1	1,8	-	-	5,9	124	21,3	154	27,2	55,40%	56,08%
2	2,1	-	-	5,82	88	15,6	190	32,9	68,35%	67,84%
3	2,4	-	-	5,67	65	11,7	213	36,8	76,62%	75,88%
4	2,7	-	-	5,63	64	11,2	214	37,3	76,98%	76,91%
5	3	-	-	5,65	100	16,9	178	31,6	64,03%	65,15%
6	3,3	-	-	5,64	123	20,8	155	27,7	55,76%	57,11%
Bruta	-	-	-	7	278	48,5	-	-	-	-

*Foi utilizado 1 mL do coagulante puro.

Ensaio 5 – 22/01/2013 – Coagulante: ACQUAPOL OF 3%

Jarro	Volume de Coagulante (ml)	Volume de NaOH 1M (ml)	Volume de HCL 0,65M (ml)	pH de coagulação	Cor Aparente (uH)	Turbidez (NTU)	Remoção Absoluta de cor aparente (uH)	Remoção absoluta de Turbidez (NTU)	Eficiência de remoção de cor (%)	Eficiência de remoção de turbidez (%)
1	1	-	-	5,8	38	6,78	178	28,52	82,41%	80,79%
2	2	-	-	5,48	159	25,4	57	9,9	26,39%	28,05%
3	3	-	-	5,44	183	28,2	33	7,1	15,28%	20,11%
4	4	-	-	5,25	191	28,4	25	6,9	11,57%	19,55%
5	5	-	-	5,12	197	29,1	19	6,2	8,80%	17,56%
6	6	-	-	4,7	205	29,5	11	5,8	5,09%	16,43%
Bruta	-	-	-	6,12	216	35,3	-	-	-	-

Ensaio 6 – 22/01/2013 – Coagulante: ACQUAPOL OF 3%

Jarro	Volume de Coagulante (ml)	Volume de NaOH 1M (ml)	Volume de HCL 0,65M (ml)	pH de coagulação	Cor Aparente (uH)	Turbidez (NTU)	Remoção Absoluta de cor aparente (uH)	Remoção absoluta de Turbidez (NTU)	Eficiência de remoção de cor (%)	Eficiência de remoção de turbidez (%)
1	0,3	-	-	5,76	177	29,4	46	6,4	20,63%	17,88%
2	0,5	-	-	5,98	173	28	50	7,8	22,42%	21,79%
3	0,7	-	-	5,97	71	11,8	152	24	68,16%	67,04%
4	0,9	-	-	5,92	35	6,26	188	29,54	84,30%	82,51%
5	1,1	-	-	5,95	72	11,9	151	23,9	67,71%	66,76%
6	1,3	-	-	5,81	125	19,8	98	16	43,95%	44,69%
Bruta	-	-	-	6,05	223	35,8	-	-	-	-

APÊNDICE B

Resultados dos ensaios após a filtração cíclica

Ensaio 7 – 25/02/2013 Coagulante: ACQUAPOL OF 3%

Jarro	Volume de Coagulante (ml)	Número de filtrações	pH de coagulação	Cor Aparente (uH)	Turbidez (NTU)	Remoção Absoluta de cor aparente (uH)	Remoção absoluta de Turbidez (NTU)	Eficiência de remoção de cor (%)	Eficiência de remoção de turbidez (%)
1	0,5	0	6,48	77	8,9	-25	-1,2	-48,08%	-15,58%
2	1	0	6,48	69	11,2	-17	-3,5	-32,69%	-45,45%
3	2	0	6,39	39	4,1	13	3,6	25,00%	46,75%
4	3	0	6,15	58	6	-6	1,7	-11,54%	22,08%
5	4	0	6,09	75	7	-23	0,7	-44,23%	9,09%
6	5	0	5,81	80	5,4	-28	2,3	-53,85%	29,87%
1	0,5	1	6,53	61	7,9	-9	-0,2	-17,31%	-2,60%
2	1	1	6,56	10	1,2	42	6,5	80,77%	84,42%
3	2	1	6,37	40	5,5	12	2,2	23,08%	28,57%
4	3	1	6,14	35	3,5	17	4,2	32,69%	54,55%
5	4	1	5,97	56	5,5	-4	2,2	-7,69%	28,57%
6	5	1	5,75	58	4,1	-6	3,6	-11,54%	46,75%
Bruta	-	1	6,45	56	7,1	-4	0,6	-7,69%	7,79%
1	0,5	2	6,61	41	5,2	11	2,5	21,15%	32,47%
2	1	2	6,6	23	2,8	29	4,9	55,77%	63,64%
3	2	2	6,41	24	2,4	28	5,3	53,85%	68,83%
4	3	2	6,23	21	2,3	31	5,4	59,62%	70,13%
5	4	2	5,93	44	4	8	3,7	15,38%	48,05%
6	5	2	5,98	50	3,5	2	4,2	3,85%	54,55%
Bruta	-	2	6,56	40	5,4	12	2,3	23,08%	29,87%
1	0,5	3	6,64	28	3,2	24	4,5	46,15%	58,44%
2	1	3	6,53	17	1,9	35	5,8	67,31%	75,32%
3	2	3	6,48	19	2,7	33	5	63,46%	64,94%
4	3	3	6,18	17	1,8	35	5,9	67,31%	76,62%
5	4	3	5,98	42	3,8	10	3,9	19,23%	50,65%
6	5	3	5,86	44	3,3	8	4,4	15,38%	57,14%
Bruta	-	3	6,57	28	3,8	24	3,9	46,15%	50,65%

1	0,5	4	6,7	23	2,4	29	5,3	55,77%	68,83%
2	1	4	6,53	16	2,4	36	5,3	69,23%	68,83%
3	2	4	6,44	10	2,4	42	5,3	80,77%	68,83%
4	3	4	6,28	13	1,6	39	6,1	75,00%	79,22%
5	4	4	6,07	32	2,8	20	4,9	38,46%	63,64%
6	5	4	5,8	33	2,8	19	4,9	36,54%	63,64%
Bruta	-	4	6,63	41	5,8	11	1,9	21,15%	24,68%
1	0,5	5	6,74	24	2,4	28	5,3	53,85%	68,83%
2	1	5	6,69	16	2,4	36	5,3	69,23%	68,83%
3	2	5	6,48	10	2,3	42	5,4	80,77%	70,13%
4	3	5	6,3	22	4,1	30	3,6	57,69%	46,75%
5	4	5	6,12	23	2	29	5,7	55,77%	74,03%
6	5	5	5,79	29	2,3	23	5,4	44,23%	70,13%
Bruta	-	5	6,63	37	4,6	15	3,1	28,85%	40,26%

APÊNDICE C

Resultados dos ensaios em Jarteste para obtenção de dados para construção do diagrama de coagulação.

Ensaio 7 – 25/02/2013 – Coagulante: ACQUAPOL OF 3%

Jarro	Volume de Coagulante (ml)	Volume de NaOH 1M (ml)	Volume de HCL 0,65M (ml)	pH de coagulação	Cor aparente (uH)	Turbidez (NTU)	Remoção Absoluta de cor aparente (uH)	Remoção absoluta de Turbidez (NTU)	Eficiência de remoção de cor (%)	Eficiência de remoção de turbidez (%)
1	0,5	-	-	6,53	61	7,9	-9	-0,2	-17,31%	-2,60%
2	1	-	-	6,56	10	1,2	42	6,5	80,77%	84,42%
3	2	-	-	6,37	40	5,5	12	2,2	23,08%	28,57%
4	3	-	-	6,14	35	3,5	17	4,2	32,69%	54,55%
5	4	-	-	5,97	56	5,5	-4	2,2	-7,69%	28,57%
6	5	-	-	5,75	58	4,1	-6	3,6	-11,54%	46,75%
Bruta	-	-	-	6,57	52	7,7	-	-	-	-

Ensaio 8 – 26/02/2013 – Coagulante: ACQUAPOL OF 3%

Jarro	Volume de Coagulante (ml)	Volume de NaOH 1M (ml)	Volume de HCL 0,65M (ml)	pH de coagulação	Cor aparente (uH)	Turbidez (NTU)	Remoção Absoluta de cor aparente (uH)	Remoção absoluta de Turbidez (NTU)	Eficiência de remoção de cor (%)	Eficiência de remoção de turbidez (%)
1	1	-	-	10,1	56	3,6	-22	1,26	-64,71%	25,93%
2	1	5	-	11	60	4,9	-26	-0,04	-76,47%	-0,82%
3	1	10	-	11,27	60	4,3	-26	0,56	-76,47%	11,52%
4	1	-	1	5,3	34	2,9	0	1,96	0,00%	40,33%
5	1	-	3	3,89	36	3,4	-2	1,46	-5,88%	30,04%
6	1	-	5	3,56	34	3,5	0	1,36	0,00%	27,98%
Bruta	-	-	-	6,52	34	4,86	-	-	-	-

Ensaio 9 – 27/02/2013 – Coagulante: ACQUAPOL OF 3%

Jarro	Volume de Coagulante (ml)	Volume de NaOH 1M (ml)	Volume de HCL 0,65M (ml)	pH de coagulação	Cor aparente (uH)	Turbidez (NTU)	Remoção Absoluta de cor aparente (uH)	Remoção absoluta de Turbidez (NTU)	Remoção de cor (%)	Remoção de turbidez (%)
1	0,5	-	3	4,14	29	2,4	13	4	30,95%	62,50%
2	1	-	3	4,01	40	3,8	2	2,6	4,76%	40,63%
3	2	-	3	4	44	3,6	-2	2,8	-4,76%	43,75%
4	3	-	3	3,97	46	3,2	-4	3,2	-9,52%	50,00%
5	4	-	3	3,9	49	3,5	-7	2,9	-16,67%	45,31%
6	5	-	3	3,86	58	3,7	-16	2,7	-38,10%	42,19%
Bruta	-	-	-	6,41	42	6,4	-	-	-	-

Ensaio 10 – 28/02/2013 – Coagulante: ACQUAPOL OF 3%

Jarro	Volume de Coagulante (ml)	Volume de NaOH 1M (ml)	Volume de HCL 0,65M (ml)	pH de coagulação	Cor aparente (uH)	Turbidez (NTU)	Remoção Absoluta de cor aparente (uH)	Remoção absoluta de Turbidez (NTU)	Remoção de cor (%)	Remoção de turbidez (%)
1	0,5	-	2	4,61	26	3,5	7	2,2	21,21%	38,60%
2	1	-	2	4,35	38	3,8	-5	1,9	-15,15%	33,33%
3	2	-	2	4,3	39	4	-6	1,7	-18,18%	29,82%
4	3	-	2	4,2	40	3,9	-7	1,8	-21,21%	31,58%
5	4	-	2	4,15	52	4,3	-19	1,4	-57,58%	24,56%
6	5	-	2	4,06	62	4,3	-29	1,4	-87,88%	24,56%
Bruta	-	-	-	6,44	33	5,7	-	-	-	-

Ensaio 11 – 28/02/2013 – Coagulante: ACQUAPOL OF 3%

Jarro	Volume de Coagulante (ml)	Volume de NaOH 1M (ml)	Volume de HCL 0,65M (ml)	pH de coagulação	Cor Aparente (uH)	Turbidez (NTU)	Remoção Absoluta de cor aparente (uH)	Remoção absoluta de Turbidez (NTU)	Eficiência de remoção de cor (%)	Eficiência de remoção de turbidez (%)
1	0,5	-	1	5,53	25	1,9	24	3	48,98%	61,22%
2	1	-	1	5,32	45	3,9	4	1	8,16%	20,41%
3	2	-	1	5,06	48	4,2	1	0,7	2,04%	14,29%
4	3	-	1	4,93	52	3,9	-3	1	-6,12%	20,41%
5	4	-	1	4,7	61	3,8	-12	1,1	-24,49%	22,45%
6	5	-	1	4,4	65	4,1	-16	0,8	-32,65%	16,33%
Bruta	-	-	-	6,44	49	4,9	-	-	-	-

Ensaio 12 – 04/03/2013 – Coagulante: ACQUAPOL OF 3%**

Jarro	Volume de Coagulante (ml)	Volume de NaOH 0,1M (ml)	Volume de HCL 0,65M (ml)	pH de coagulação	Cor Aparente (uH)	Turbidez (NTU)	Remoção Absoluta de cor aparente (uH)	Remoção absoluta de Turbidez (NTU)	Eficiência de remoção de cor (%)	Eficiência de remoção de turbidez (%)
1	0,5	0,5	-	6,46	18	2,1	9	2,4	33,33%	53,33%
2	1	0,5	-	6,45	23	2,6	4	1,9	14,81%	42,22%
3	2	0,5	-	6,1	33	3,4	-6	1,1	-22,22%	24,44%
4	3	0,5	-	5,9	37	3,7	-10	0,8	-37,04%	17,78%
5	4	0,5	-	5,6	41	3,9	-14	0,6	-51,85%	13,33%
6	5	0,5	-	5,4	47	3,7	-20	0,8	-74,07%	17,78%
Bruta	-	-	-	6,52	27	4,5	-	-	-	-

**Solução de NaOH utilizada possuía concentração de 0,1M

Ensaio 13 – 05/03/2013 – Coagulante: ACQUAPOL OF 3%**

Jarro	Volume de Coagulante (ml)	Volume de NaOH 0,1M (ml)	Volume de HCL 0,65M (ml)	pH de coagulação	Cor Aparente (uH)	Turbidez (NTU)	Remoção Absoluta de cor aparente (uH)	Remoção absoluta de Turbidez (NTU)	Eficiência de remoção de cor (%)	Eficiência de remoção de turbidez (%)
1	0,5	2	-	6,46	23	1,8	12	2,7	34,29%	60,00%
2	1	2	-	6,45	32	2,3	3	2,2	8,57%	48,89%
3	2	2	-	6,1	43	3,3	-8	1,2	-22,86%	26,67%
4	3	2	-	5,9	48	3,4	-13	1,1	-37,14%	24,44%
5	4	2	-	5,6	55	3,5	-20	1	-57,14%	22,22%
6	5	2	-	5,4	65	3,5	-30	1	-85,71%	22,22%
Bruta	-	-	-	6,52	35	4,5	-	-	-	-

Ensaio 14 -- 06/03/2013 – Coagulante: ACQUAPOL OF 3%

Jarro	Volume de Coagulante (ml)	Volume de NaOH 1M (ml)	Volume de HCL 0,65M (ml)	pH de coagulação	Cor Aparente (uH)	Turbidez (NTU)	Remoção Absoluta de cor aparente (uH)	Remoção absoluta de Turbidez (NTU)	Eficiência de remoção de cor (%)	Eficiência de remoção de turbidez (%)
1	0,5	1	-	10,1	32	4	-7	0,7	-28,00%	14,89%
2	1	1	-	10,1	43	3,9	-18	0,8	-72,00%	17,02%
3	2	1	-	10,1	57	4,1	-32	0,6	-128,00%	12,77%
4	3	1	-	10,09	75	4,2	-50	0,5	-200,00%	10,64%
5	4	1	-	10,08	93	4,3	-68	0,4	-272,00%	8,51%
6	5	1	-	9,91	108	4,3	-83	0,4	-332,00%	8,51%
Bruta	-	-	-	6,61	25	4,7	-	-	-	-

**Solução de NaOH utilizada possuía concentração de 0,1M

Ensaio 15 – 07/03/2013 – Coagulante: ACQUAPOL OF 3%

Jarro	Volume de Coagulante (ml)	Volume de NaOH 1M (ml)	Volume de HCL 0,65M (ml)	pH de coagulação	Cor aparente (uH)	Turbidez (NTU)	Remoção Absoluta de cor aparente (uH)	Remoção absoluta de Turbidez (NTU)	Eficiência de remoção de cor (%)	Eficiência de remoção de turbidez (%)
1	0,5	0,5	-	9,44	33	4	-3	0,6	-10,00%	13,04%
2	1	0,5	-	9,5	40	4,1	-10	0,5	-33,33%	10,87%
3	2	0,5	-	9,37	54	4	-24	0,6	-80,00%	13,04%
4	3	0,5	-	9,15	66	4	-36	0,6	-120,00%	13,04%
5	4	0,5	-	8,63	72	4,9	-42	-0,3	-140,00%	-6,52%
6	5	0,5	-	8,53	85	5,5	-55	-0,9	-183,33%	-19,57%
Bruta	-	-	-	6,53	30	4,6	-	-	-	-

Ensaio 16 – 07/03/2013 – Coagulante: ACQUAPOL OF 3%

Jarro	Volume de Coagulante (ml)	Volume de NaOH 1M (ml)	Volume de HCL 0,65M (ml)	pH de coagulação	Cor aparente (uH)	Turbidez (NTU)	Remoção Absoluta de cor aparente (uH)	Remoção absoluta de Turbidez (NTU)	Eficiência de remoção de cor (%)	Eficiência de remoção de turbidez (%)
1	0,5	0,2	-	7,61	20	3,6	4	0,9	16,67%	20,00%
2	1	0,2	-	7,48	21	3,5	3	1	12,50%	22,22%
3	2	0,2	-	7	0	0,9	24	3,6	100,00%	80,00%
4	3	0,2	-	7,05	25	3,4	-1	1,1	-4,17%	24,44%
5	4	0,2	-	6,8	36	3,9	-12	0,6	-50,00%	13,33%
6	5	0,2	-	6,54	43	4,2	-19	0,3	-79,17%	6,67%
Bruta	-	-	-	6,52	24	4,5	-	-	-	-