

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Faculdade de Farmácia

Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso de Farmácia

**Avaliação da capacidade de remoção de matéria orgânica e inorgânica
presente em água bruta utilizando sistema convencional de tratamento de
água, mimetizado em escala de bancada – *Jar test***

Karen Josiane Haetinger

Porto Alegre, julho de 2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Faculdade de Farmácia

Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso de Farmácia

**Avaliação da capacidade de remoção de matéria orgânica e inorgânica
presente em água bruta utilizando sistema convencional de tratamento de
água, mimetizado em escala de bancada – *Jar test***

Karen Josiane Haetinger

Trabalho final da Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso em Farmácia

Orientadora: Prof^ª. Dr. Tânia Mara Pizzolato

Porto Alegre, julho de 2017

**“Nenhum projeto é viável se não começa a construir-se desde já:
o futuro será o que começamos a fazer dele no presente.”**

Içami Tiba

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por todas as bênçãos recebidas até hoje.

Aos meus pais, por todo amor, exemplo de vida e dedicação para comigo.

À Professora Dra. Tânia Mara Pizzolato, por todas as orientações e suporte.

À CORSAN, pelo apoio dado para a concretização deste projeto.

Aos meus colegas de trabalho por toda compreensão e ajuda em boa parte desta jornada.

Ao Nicolas, pelas atitudes e palavras de amor e carinho, tão importantes para mim.

APRESENTAÇÃO

Este trabalho está apresentado sob a forma de artigo científico, dividido nos seguintes tópicos: Introdução, Materiais e Métodos, Resultados e Discussão, Conclusão, Referências e Material Suplementar. Os experimentos foram realizados no Laboratório de Química Analítica e Ambiental (LQAA) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Rio Grande do Sul e no laboratório físico-químico da Estação de Tratamento de Água (ETA) da Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), Esteio, Rio Grande do Sul.

SUMÁRIO

I. ARTIGO CIENTÍFICO	
Resumo	7
1. Introdução	13
2. Materiais e Métodos	16
2.1. Materiais.....	16
2.1.1 Solventes.....	16
2.1.2 Reagentes.....	16
2.1.3 Soluções.....	16
2.1.4 Equipamentos.....	17
2.2. Métodos.....	17
2.2.1 Coleta das Amostras.....	17
2.2.2 Testes de Floculação – <i>Jar test</i>	18
2.2.3 Fármacos e Pesticidas.....	19
2.2.4 Oxigênio Consumido (OC).....	19
2.2.5 Ânions.....	19
2.2.6 <i>Jar test</i>	19
2.2.7 Alcalinidade.....	20
2.2.8 Matéria Orgânica (MO).....	20
2.2.9 Dureza.....	21
2.2.10 Ferro.....	21
2.2.11 Manganês.....	21
2.2.12 Alumínio.....	21
2.2.13 Cloro residual livre e Cloro total.....	22
2.2.14 Determinação de fluoretos.....	22
2.2.15 Turbidez.....	22
2.2.16 Cor.....	22
2.2.17 pH.....	23
2.3. Amostragem.....	23
3. Resultados e Discussão	24
3.1. Caracterização de água bruta e tratada no sistema de produção da ETA.....	24
3.2. Experimentos de clarificação realizados em <i>Jar test</i>	26
3.3. Avaliação da influência do carvão ativado na redução de Alumínio.....	28
3.4. Presença de fármacos e pesticidas na amostra de água superficial.....	29
3.5. Oxigênio Consumido (OC).....	29
3.6. Determinação de íons por Cromatografia Iônica.....	29
4. Conclusão	33
5. Referências	34
II. MATERIAL SUPLEMENTAR	35

**AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA E
INORGÂNICA PRESENTE EM ÁGUA BRUTA UTILIZANDO SISTEMA
CONVENCIONAL DE TRATAMENTO DE ÁGUA, MIMETIZADO EM ESCALA DE
BANCADA – *JAR TEST***

Karen Josiane Haetinger, Tânia Mara Pizzolato*

Faculdade de Farmácia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Av. Ipiranga, 2752, 90610-000, Porto Alegre, RS, Brasil.

*Autor para quem a correspondência deverá ser endereçada. E-mail: tania.pizzolato@ufrgs.br

RESUMO. O acesso à água de qualidade constitui um dos grandes direitos do ser humano em termos de políticas públicas na área sanitária, apesar de esse acesso estar longe de ser universal. Neste aspecto, as Estações de Tratamento de Água (ETAs) contabilizam processos, pessoal técnico capacitado e infraestrutura, que têm por finalidade atender à demanda da produção de água potável de qualidade às regiões abastecidas por esses sistemas. Dentre as etapas do tratamento, existe a possibilidade de permanência de alumínio, como resíduo, na água de abastecimento, devido ao uso de sulfato de alumínio, no processo de floculação. O uso de cloro na etapa de desinfecção também é um parâmetro que deve ser controlado em termos de residual, bem como a presença de outros íons e o consumo de oxigênio. Visando a melhor qualidade do produto final (água potável), foram realizados diversos ensaios de floculação, variando a dosagem do produto coagulante e do sistema de remoção de compostos residuais (carvão ativado), para obter-se um panorama dos parâmetros citados da água produzida. Para tal, foram realizados ensaios em escala de bancada, através do teste de clarificação – *Jar test*, em três diferentes pontos de captação. No total, 36 dosagens de clarificação de água bruta foram realizadas, em duas etapas. Na ETA, foi analisada uma amostra de água bruta (na entrada do processo) e de água tratada (no ponto de início da distribuição para a rede), com relação aos parâmetros de controle convencionais. Nos testes de mimetização, confirmou-se que as dosagens dos produtos químicos utilizados no tratamento de água são dependentes da qualidade da água do manancial captada, onde a dosagem de sulfato de alumínio no momento da coleta de água superficial serve de parâmetro para a realização do mesmo. No presente estudo, as variações de sulfato de alumínio se encontram na faixa de 15 a 40 mg/L. Mesmo após a utilização de carvão ativado em batelada, com concentrações que variaram entre 15 e 60 mg/L, verificou-se a presença de residual de

alumínio, na faixa de 0,04 a 0,09 mg/L que, apesar de estarem abaixo do valor preconizado pela legislação podem, a longo prazo, significarem danos à saúde pública, uma vez que o alumínio é um metal cumulativo.

Highlights: ► Avaliação de remoção de matéria orgânica e inorgânica em água bruta por Jar test foi proposta. ► O método foi baseado na variação das dosagens dos produtos coagulante e adsorvente. ► O sistema é eficaz na remoção de apenas alguns compostos analisados.

Palavras-chave: Água superficial, Turbidez, Cor, Matéria Orgânica, *Jar test*.

ABSTRACT. The access to quality water is one of the great rights of the human being in terms of public policies in the health area, although this access is far from to be universal. In this regard, Water Treatment Stations (WTSs) account for processes, trained technical folks and infrastructure, whose purpose is to meet the demand for the production of quality wastewater to the regions supplied by these systems. Among the stages of treatment, there is the possibility of the presence of aluminium, as a residue due to the use of aluminium sulfate, in the process flocculation. In addition: the use of chlorine in the disinfection step is also a parameter that must be controlled in terms of residual, as well as the presence of other ions and the consumption of oxygen. In order to obtain the best quality of the final product (wastewater), several flocculation tests were performed, varying the dosage of the coagulant product and the residuals removal system (activated carbon), to obtain an overview of the cited parameters of the produced water. For this, stand scale tests were performed through the clarification test – Jar test, at three different capture points. In total, 36 clarification dosages of crude water were performed, in two stages. At WTS, a sample of raw water (at the entrance of the process) and treated water (at the point of beginning of the distribution to the network) was analyzed, in relation to the conventional control parameters. In the tests of mimicry, it was confirmed that the dosages of the chemicals used in the treatment of water are dependent of the water quality of the source stock, where the dosage of aluminium sulfate at the moment of the collection of surface water serves as parameter for the accomplishment of the same. In the present study, the variations of aluminium sulfate are in the range of 15 to 40 mg/L. Even after the application of batch activated carbon, with concentrations varying between 15 and 60 mg/L, the presence of residual aluminium was observed, where the variation was 0.04 to 0.09 mg/L Al wich, although lower than the value advocated by the legislation may, in the long term mean damage to the public health, since aluminium is a cumulative metal.

Key-words: Surface water, Turbidity, Color, Organic Matter, Jar test.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Relação entre os períodos, pontos de captação e tipos de amostras coletadas.....	22
TABELA 2 - Análises realizadas no início e no final do sistema convencional de tratamento de água.....	25
TABELA 3 - Dados de concentração de íons nos Pontos A e B.....	25
TABELA 4 - Resultados dos testes de clarificação realizados nos meses de Maio e Junho de 2017. Os resultados da água floculada e floco são referentes à escolha da melhor dosagem de sulfato de alumínio para cada teste.....	27
TABELA 5 - Avaliação da ação de diferentes dosagens de carvão ativado em relação a uma mesma concentração de sulfato de alumínio, em excesso.....	28
TABELA 6 – Resultados obtidos da análise de oxigênio consumido das amostras oriundas dos testes de clarificação realizados.....	29
TABELA 7 - Resultados obtidos para os íons cloreto, nitrato, fosfato e sulfato das amostras oriundas dos ensaios de clarificação.....	31

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Mapa da bacia hidrográfica do Rio dos Sinos.....	23
FIGURA 2 - Esquema do sistema de teste de clarificação de água bruta, na ausência e presença de carvão ativado.....	23
FIGURA 3 - Gráfico comparativo das concentrações de íons nos Pontos A e B.....	25
FIGURA 4 - Fotos dos experimentos de bancada realizados no <i>Jar test</i>	28
FIGURA 5 - Fotos dos experimentos. Da esquerda para a direita: Copos contendo apenas carvão ativado; Copos com carvão ativado após a adição de sulfato de alumínio, proporcionando a floculação; Copos com água clarificada.....	28
FIGURA 6 - Gráfico demonstrando concentrações de OC, em mg/L, nos diferentes pontos de captação, nos meses de maio e junho de 2017, na ausência e presença de carvão ativado em diferentes concentrações.....	30
FIGURA 7 – Gráfico comparativo das concentrações iônicas, em mg/L, nos diferentes pontos de captação, nos meses de maio e junho de 2017, na ausência e presença de carvão ativado.....	32

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

Cons.: consumido	N. Sta. Rita: Nova Santa Rita
CORSAN: Companhia Riograndense de Saneamento	OC: oxigênio consumido
DA: doença de Alzheimer	OD: oxigênio dissolvido
DPD: N,N-dietil-p-fenilenediamina	pH: potencial hidrogeniônico
DQO: demanda química de oxigênio	ppm: partes por milhão (mg L^{-1})
EDTA: ácido etilendiamino tetra-acético	rpm: rotações por minuto
ETA: Estação de Tratamento de Água	RS: Rio Grande do Sul
IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística	UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul
L s^{-1} : litros por segundo	UT: unidade de turbidez
LD: limite de detecção	Vt: volume total
LQ: limite de quantificação	V:V: volume/volume
LQAA: Laboratório de Química Analítica e Ambiental	
Ltda: Limitada	
M: mol L^{-1}	
mg L^{-1} : miligramas por litro	
mm: milímetro	
mL: mililitro	
mL min^{-1} : mililitro por minuto	
mmol: milimol	
MO: matéria orgânica	
mol L^{-1} : mol por litro	
MS: Ministério da Saúde	
N: normalidade	
Nº: número	
nm: nanômetro	

1. INTRODUÇÃO

Manancial de abastecimento público é a fonte de água doce superficial ou subterrânea utilizada para consumo humano ou desenvolvimento de atividades econômicas. O aumento da demanda por água é consequência direta do crescimento populacional e da ampliação dos níveis de consumo per capita [1].

O Rio dos Sinos nasce nos morros do município de Caraá, no litoral norte gaúcho – distante 130 quilômetros de Porto Alegre, em altitudes superiores a 800 metros do nível do mar e percorre cerca de 190 km, desembocando no delta do Jacuí, no município de Canoas, numa altitude de apenas 5 metros [2]. Dados de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) indicam o Rio dos Sinos como o mais poluído do Rio Grande do Sul e o quarto do Brasil [3]. Rios poluídos são aqueles mananciais que recebem em suas águas todo tipo de resíduos poluentes como agentes químicos, físicos e biológicos. Eles são prejudiciais ao solo, à fauna, à flora e às atividades humanas. O lançamento de resíduos orgânicos, acima da capacidade de absorção pelos organismos decompositores e o de resíduos inorgânicos não biodegradáveis, muitos inclusive tóxicos e cumulativos, nos rios, córregos, lagos e mares, ameaçam a sobrevivência de todos que dependem da água para sobrevivência. São as cidades que concentram os maiores contingentes populacionais e a maioria das indústrias, reunindo uma infinidade de fontes poluidoras, tanto na forma de lixo, esgoto doméstico, como de efluentes industriais. A atividade agrícola com o uso indiscriminado de agrotóxicos (pesticidas, herbicidas e inseticidas) e de fertilizantes utilizados pela agricultura moderna é a grande vilã da poluição. Seus resíduos são levados pela água da chuva ou da irrigação, para os rios e os mananciais ou penetram no solo atingindo os lençóis freáticos [4].

A presença de micro-poluentes, como pesticidas, produtos farmacêuticos e de higiene pessoal - contaminantes onipresentes em águas residuais municipais - é hoje considerado um sério problema, que pode gerar efeitos prejudiciais a organismos aquáticos e possivelmente também à saúde humana, apesar de serem detectadas em baixas concentrações [5].

A Portaria Nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade [6].

O oxigênio consumido (OC) em meio ácido é um método utilizado para estimar a demanda química de oxigênio (DQO) em amostras com baixo valor deste parâmetro (valores menores que 50 mg L⁻¹ O₂). A DQO mede a quantidade de O₂ equivalente ao conteúdo de matéria orgânica (MO) que é susceptível à oxidação por um agente forte [7].

O nitrogênio é um dos contaminantes mais importantes presentes nas águas residuais. Ele ocorre numa multiplicidade de formas e estados de oxidação e parte importante desse nitrogênio chega aos diferentes corpos d'água na forma de amônio, nitrito e nitrato, criando problemas de toxicidade à flora e fauna aquática, diminuição da concentração de oxigênio dissolvido (OD), eutrofização e outros problemas que também afetam a saúde humana, como a meta-hemoglobinemia [8].

O fósforo é um elemento essencial para o crescimento das bactérias responsáveis pela estabilização da matéria orgânica. Pode ser encontrado na água em forma de ortofosfatos, polifosfato e fósforo orgânico [9]. As principais fontes de fósforo são dissolução de compostos do solo, decomposição de matéria orgânica, esgotos domésticos e industriais, fertilizantes, detergentes e excrementos de animais [10].

O sulfato, em concentrações superiores a 250 mg L⁻¹, atua como laxante e associado a íons de cálcio e magnésio promove dureza permanente na água, podendo ser um indicativo de poluição em fase de decomposição de matéria orgânica [11].

Os cloretos geralmente provêm da dissolução de minerais ou da intrusão de águas do mar. São encontrados em águas naturais em níveis baixos; altas concentrações, além de conferir sabor salino e propriedades laxativas, caracterizam a presença de esgotos domésticos, aumentando a corrosividade da água [9].

O tratamento convencional de água em ETAs é constituído basicamente das seguintes operações unitárias: coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, correção química e fluoretação [12].

Em relação aos resíduos de produtos químicos utilizados no tratamento de água, o alumínio (Al) tem sua relevância. A maior parte da ingestão do Al provém da alimentação, através de diferentes formas: alimentos contaminados por Al, água e alimentos industrializados que possuem o Al como conservante e/ou corante. Considera-se que, mesmo a alimentação sendo importante fonte de ingestão de Al, é na água onde se apresenta a forma mais biodisponível para ser absorvido pelo intestino [13].

A presença de alumínio em água potável e em alimentos é relacionada como um dos agentes etiológicos de doenças mentais, havendo a hipótese de que a exposição a esse

elemento represente risco para a Doença de Alzheimer (DA). A DA é provavelmente o resultado de um processo multifatorial, no qual estão inclusos componentes genéticos e ambientais. Dentre os fatores de risco ambientais, relacionados com o desenvolvimento da DA, encontra-se a exposição ao Al, um dos potenciais fatores de risco ambientais mais estudados. A DA está associada à diminuição geral do tecido cerebral, com perda localizada de neurônios, principalmente no hipocampo e cérebro anterior basal. Estudo experimental, feito com ratos tratados com Al, demonstrou redução estatisticamente significativa no peso dos cérebros dos ratos [13].

Logo, os objetivos deste estudo foram: verificar a presença de fármacos e pesticidas na amostra considerada como a de maior impacto em relação ao recebimento de esgoto sanitário, realizar diversos testes de clarificação, com o intuito de obter-se a concentração ideal do produto coagulante em cada coleta; realizar análises que servem de parâmetro para a determinação da presença de compostos orgânicos e inorgânicos e avaliar a eficácia da ação de carvão ativado em remover e / ou reduzir tal material orgânico e inorgânico, além de verificar sua influência no residual de alumínio gerado pelo tratamento de água.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

2.1.1. Solventes

Os solventes utilizados foram: Ácido Sulfúrico; Solução de Ácido Sulfúrico 0,2 N; Solução de Permanganato de Potássio 0,125 N; Solução de Ácido Oxálico 0,125 N; Ácido Acético Glacial e Ácido Clorídrico 37 %. Os solventes utilizados foram de grau analítico ou equivalente. Marcas: Neon e Qhemis.

2.1.2. Reagentes

Os reagentes utilizados foram: Metilorange; Alizarina Sódica; Bicarbonato de Amônio; Persulfato de Amônio; Negro de Eriocromo-T; Spadns (ácido clorídrico, spadns, oxicloreto de zircônio e arsenito de sódio); Reagente especial para determinação de manganês (sulfato de mercúrio, ácido nítrico, ácido fosfórico, nitrato de prata e água destilada/deionizada). Os reagentes utilizados foram de grau analítico ou equivalente. Marcas: Dinâmica, Synth e Neon.

2.1.3. Soluções

As soluções para as determinações de Alcalinidade, OC, Matéria Orgânica, Dureza, Alumínio, Ferro e Manganês foram: Ácido Sulfúrico 0,02 N; Metilorange 0,1%; Tiosulfato de Sódio 0,25 N; Ácido Sulfúrico 25%, Permanganato de Potássio 0,002 mol L⁻¹, Oxalato de Sódio 0,002 mol L⁻¹; Ácido Sulfúrico 1:3 (V/V); Permanganato de Potássio 0,0125 N, Ácido Oxálico 0,0125 N, Tampão de Cloreto de Amônia-Hidróxido de Amônia; EDTA 0,005 M; Bicarbonato de Amônio 8,2%; Alizarina Sódica 0,1%; Ácido Acético Glacial 30%; Tiocianato de Amônio 7,83%; Ácido Clorídrico 1:1 (V/V).

Para a determinação de Cloro livre e Cloro total foram utilizadas pastilhas efervescentes DPD 1 e DPD 4 (N,N-dietil-p-fenilenediamina), respectivamente. Marca: LaMotte.

Para o *Jar test* foram utilizadas: Solução de Sulfato de Alumínio (produzido pela CORSAN) 1% e Suspensão de Carvão Ativado (Marca Alphacarbo Industrial Ltda., tipo Alpha WU) 5%.

Água destilada foi utilizada no preparo de algumas soluções, suspensão e nas provas em branco.

Água ultrapura (Milli-Q®) foi utilizada nas análises de oxigênio consumido e na análise de íons.

2.1.4. Equipamentos

Os equipamentos utilizados foram: Sistema de bancada *Jar Test* Ethik Technology, modelo 218-6 LDB; Cromatógrafo iônico Dionex, modelo DX-120 (contendo detector de condutividade com supressão eletrolítica). Coluna e pré-coluna, também da mesma marca, modelos IonPac AS14A (4 × 250 mm) e IonPac AG14 (4 × 50 mm), respectivamente; pHmetro Digimed, modelo DM-2p; Turbidímetro Hach, modelo 2100Q; Espectrofotômetro Spectroquant, modelo NOVA 60A; Balança semi-analítica Shimadzu, modelo DM-2p; Chapa elétrica Velp Científica, modelo F20700081; Destilador de água DeLeo, modelo DL-DA.

2.2. Métodos

2.2.1. Coleta das Amostras

A Tabela 1 apresenta o cronograma das coletas de amostras e a Figura 1 apresenta o mapa com os municípios banhados pelo Rio dos Sinos, inclusive os do presente estudo.

Tabela 1 - Relação entre os períodos, pontos de captação e tipos de amostras coletadas.

MÊS DE COLETA	MUNICÍPIO	AMOSTRA
Maio e Junho/2017	Esteio/RS	Bruta
Junho/2017	Esteio/RS	Bruta e Tratada, pontos denominados “A” e “B”
Maio e Junho/2017	Campo Bom/RS	Bruta
Maio e Junho/2017	Nova Santa Rita/RS	Bruta

Fonte: Autor



Figura 1. Mapa da bacia hidrográfica do Rio dos Sinos. Fonte:

<https://projetogisa.files.wordpress.com/2012/10/hjssshyh.jpg>

2.2.2. Testes de Floculação – *Jar test*

Os testes de floculação realizados com as amostras de água bruta coletadas junto aos pontos de captação são representados no esquema da Figura 2.

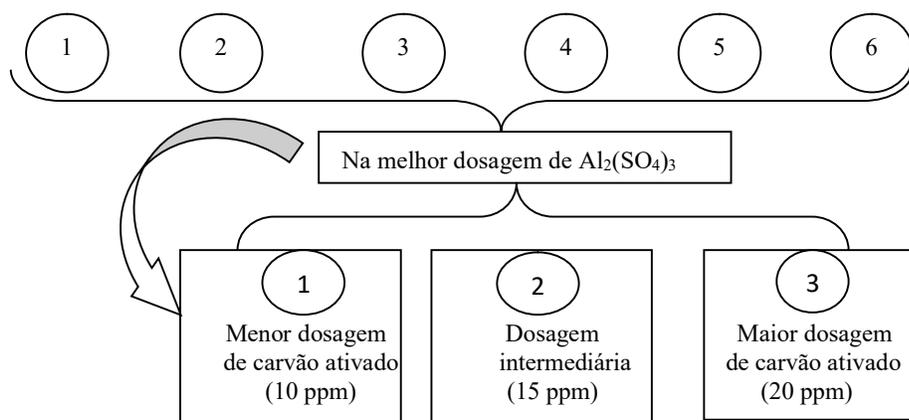


Figura 2. Esquema do sistema de teste de clarificação de água bruta, na ausência e presença de carvão ativado. Fonte: Autor.

Os experimentos realizados com diferentes dosagens de sulfato de alumínio, como descrito no esquema da Figura 2, foram executados a fim de avaliar o processo de clarificação em sistema de bancada.

Para caracterizar as amostras geradas, os seguintes parâmetros foram avaliados:

- a) Em água superficial, pré-teste de clarificação: alcalinidade (mg/L CaCO_3); matéria orgânica (mg/L O_2 consumido); pH; cor (mg/L Pt-Co); turbidez pré e pós-filtração (UT) e temperatura ($^{\circ}\text{C}$);
- b) Pós-teste de clarificação da água superficial: pH; alcalinidade (mg/L CaCO_3); cor (mg/L Pt-Co); turbidez (UT) e alumínio (mg/L Al).

2.2.3. Fármacos e Pesticidas

Foram analisados de acordo com método multirresidual desenvolvido no Laboratório de Química Analítica e Ambiental, considerando uma varredura de 250 compostos entre fármacos e pesticidas. Para essa análise foram utilizados 250 mL de amostra, em triplicata.

2.2.4. Oxigênio Consumido (OC)

Para o método de OC foi utilizada titulação de retorno com permanganato de potássio. Nesta análise, a oxidação da MO presente na amostra foi realizada com permanganato de potássio (KMnO_4) a quente, adicionado em excesso. O KMnO_4 que sobrou da oxidação da MO, reagiu com oxalato de sódio ($\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$) adicionado em excesso. O oxalato de sódio remanescente foi titulado com KMnO_4 . (Norma/Procedimento: ASTM D6238/98).

2.2.5. Ânions

As análises referentes às concentrações iônicas das amostras em estudo foram realizadas por método de cromatografia iônica, utilizando como eluentes: bicarbonato de sódio (NaHCO_3) e carbonato de sódio (Na_2CO_3). Fluxo de fase móvel: 1 mL min^{-1} . Foram analisados os ânions cloreto, nitrato, fosfato e sulfato. Modo isocrático.

2.2.6. Jar test

Os testes de clarificação foram realizados a partir de um mesmo volume de água bruta (1000 mL em cada copo de floculação, medidos em proveta, numerados de 1 a 6) - a coleta da amostra foi realizada utilizando-se um recipiente adequado e com capacidade para armazenar um volume de água suficiente para o teste. Colocou-se os copos nos suportes do

agitador. Regulou-se e fixou-se as hastes do agitador. Para as análises contendo carvão ativado, mediu-se as diferentes dosagens de suspensão de carvão ativado nos copos contendo a água bruta *in natura*. Para estes e demais exames (sem carvão ativado), mediu-se a solução de sulfato de alumínio com pipeta adequada, transferiu-se para os tubos dosadores afixados no suporte e dosou-se ao mesmo tempo, em todos os copos, com o agitador em movimento rápido. Aumentou-se as dosagens da esquerda para a direita, onde as dosagens foram determinadas em função das características da água bruta e da dosagem na estação de tratamento no momento da coleta. A configuração das rampas do equipamento foi a seguinte: 150 rpm durante 1 minuto, 80 rpm por 4 minutos e 60 rpm por 10 minutos, totalizando 15 minutos de duração do teste – tempo necessário para a formação do floco (as rotações por minuto – rpm - se referem ao movimento das pás rotacionais do equipamento). Desligou-se o agitador e levantou-se as hastes do mesmo. Aguardou-se 10 minutos (período que se destina à sedimentação dos flocos). Observou-se visualmente o comportamento dos flocos (aspecto e sedimentação). Para as análises subseqüentes, à exceção do pH, filtrou-se cada uma das amostras obtidas antes da realização das mesmas, em quantidade suficiente. (Norma/Procedimento: AWWA M37).

2.2.7. Alcalinidade

Foi determinada por método titulométrico, utilizando ácido sulfúrico 0,02 N como agente titulante, solução de metilorange 0,1% como indicador e solução de tiosulfato de sódio 0,25 N (no caso de água clorada). O método baseia-se na determinação dos componentes da água que elevam o pH para um valor acima de 4,6. O fim da titulação ocorre quando há a viragem de uma cor amarela para uma levemente alaranjada. O volume total gasto da solução de ácido sulfúrico 0,02 N é usado no cálculo da alcalinidade total ($Alc. = V_t \times 10$). O resultado é expresso em $mg\ L^{-1}$ de $CaCO_3$ e o limite de quantificação (LQ) é de $1,0\ mg\ L^{-1}$ de $CaCO_3$. (Norma/Procedimento: AWWA, SMEWW 22ª edição/2012; Método 2320 B).

2.2.8. Matéria Orgânica (MO)

Foi determinada por método titulométrico de retorno com permanganato de potássio, similar à determinação de OC. Nesta análise, a oxidação da MO presente na amostra foi realizada com permanganato de potássio ($KMnO_4$) 0,0125 N a quente (em torno de $80\ ^\circ C$), adicionado em excesso. O $KMnO_4$ que sobrou da oxidação da MO, reagiu com o ácido

oxálico 0,0125 N adicionado em excesso. O ácido oxálico remanescente foi titulado com KMnO_4 até o aparecimento de uma coloração rósea persistente. O volume gasto da solução de KMnO_4 na titulação nada mais é do que o volume necessário para que a matéria orgânica presente na amostra seja oxidada por este agente químico oxidante. O resultado é expresso em mg L^{-1} de O_2 . (Norma/Procedimento: ABNT NBR 10739/89).

2.2.9. Dureza

Foi determinada através de método titulométrico com EDTA – Complexometria (este se aplica a amostras de água com valores de dureza na faixa de 2 a 250 mg L^{-1} de CaCO_3). Como indicador, utilizou-se uma pequena quantidade de negro de eriocromo T e como agente titulante utilizou-se uma solução padrão de EDTA 0,005 M. A viragem ocorre quando há mudança da cor rosa para azul. O cálculo da dureza total se dá pela multiplicação do volume gasto na titulação por 10. O resultado é expresso em mg L^{-1} de CaCO_3 e o LQ é de 3 mg L^{-1} de CaCO_3 . (Norma/Procedimento: AWWA, SMEWW 22ª edição/2012; Método 2340 C).

2.2.10. Ferro

Foi determinado ferro total a partir de método colorimétrico do tiocianato de potássio em espectrofotômetro. O ferro na forma ferrosa (Fe^{2+}) reage com tiocianato de potássio, formando um complexo de coloração vermelho-alaranjada a um pH 3,2 – 3,3. O resultado é expresso em mg L^{-1} de Fe e o LQ é de 0,5 mg L^{-1} de Fe. (Norma/Procedimento: AWWA, SMEWW 22ª edição/2012; Método 3500 B).

2.2.11. Manganês

Foi determinado a partir de método colorimétrico do persulfato de amônio em espectrofotômetro. Compostos manganosos solúveis são oxidados pelo persulfato, formando permanganato, em presença de nitrato de prata. A cor resultante é estável durante 24h, em presença de excesso de persulfato e ausência de matéria orgânica. O resultado é expresso em mg L^{-1} de Mn e o LQ é de 0,1 mg L^{-1} de Mn. (Norma/Procedimento: AWWA, SMEWW 22ª edição/2012; Método 3500).

2.2.12. Alumínio

Este método baseia-se na determinação de alumínio residual a partir de método colorimétrico da alizarina sódica em espectrofotômetro. A adição de solução saturada de

bicarbonato de amônio provoca a precipitação de hidróxido de alumínio, que na presença do corante alizarina sódica, forma um complexo de coloração amarela. A presença do íon amônio provoca a formação de um complexo avermelhado, o qual é substituído pelo complexo formado pelo alumínio e o ácido acético, que é mais estável. O resultado é expresso em mg L^{-1} de Al e o LQ é de $0,01 \text{ mg L}^{-1}$. (Norma/Procedimento: AWWA, SMEWW 22ª edição/2012; Método 3120 B).

2.2.13. Cloro residual livre e Cloro total

Foram determinados através de método colorimétrico. O DPD reage com o cloro na amostra, por oxidação, formando um complexo de coloração rosa. Através do colorímetro, o resultado pode ser obtido. O mesmo é expresso em mg L^{-1} de cloreto e o LQ é de $0,01 \text{ mg L}^{-1}$. (Norma/Procedimento: AWWA, SMEWW 22ª edição/2012; Método 4500 Cl- G).

2.2.14. Determinação de fluoretos

Foi realizada através do método de Spadns. O íon zircônio e o Spadns formam um complexo de cor vermelha; ao serem adicionados na amostra, o fluoreto presente na mesma reage com o zircônio, formando um composto incolor, diminuindo a intensidade da cor vermelha original. Quanto maior for a concentração de fluoreto na amostra, maior será o descoramento causado pela reação e menor a absorbância da solução quando um feixe luminoso de 590 nm atravessa a mesma, propriedade esta que pode ser medida por um espectrofotômetro. O resultado é expresso em mg L^{-1} de F^- e o LQ é de $0,2 \text{ mg F}^- \text{ L}^{-1}$. (Norma/Procedimento: SMEWW 22ª edição/2012; Método 4500 F- D).

2.2.15. Turbidez

O método utilizado baseia-se no método da comparação da luz transmitida pela suspensão, com a luz dispersa pela mesma, quando se faz incidir um feixe luminoso sobre a amostra. Foi determinada em turbidímetro. (Norma/Procedimento: AWWA, SMEWW 22ª edição/2012; Método 2130 B).

2.2.16. Cor

Foi determinada a partir de método colorimétrico em espectrofotômetro. (Norma/Procedimento: AWWA, SMEWW 22ª edição/2012; Método 2120 B).

2.2.17. pH

Foi determinado por método potenciométrico. Faixa: 2 - 12. (Norma/Procedimento: AWWA, SMEWW 22ª edição/2012; Método 4500 H+ B).

2.3. Amostragem

As coletas de água superficial foram realizadas no Rio dos Sinos nos municípios de Esteio, Campo Bom e Nova Santa Rita/RS, nos meses de maio e junho de 2017. Estas amostras foram utilizadas para os testes de floculação de acordo com o esquema da Figura 2, já mencionada, a fim de estabelecer a dosagem econômica do produto coagulante (aquela que com menor quantidade de agente floculante se obtém valores de acordo com os padrões adotados nas estações de tratamento de água).

Além dos seis testes de clarificação realizados durante os meses de maio e junho de 2017, em junho foram coletadas amostras de água bruta e tratada, denominadas Pontos “A” e “B”, respectivamente, na Estação de Tratamento de Água (ETA) do município de Esteio/RS, a fim de avaliar as características inicial e final de um tratamento de água convencional. As condições do tratamento neste dia e horários foram: Vazão: 740 L s^{-1} ; dosagem de sulfato de alumínio: 22 ppm; dosagem de cloro: 9,97 ppm.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização da água bruta e tratada no sistema de produção da ETA

Para a caracterização de água bruta e tratada no sistema de produção da ETA, foram coletadas ambas as amostras considerando o tempo de residência entre as mesmas. O espaço temporal entre uma coleta e outra foi de 3 h, pois é o tempo necessário para que a água de superfície (Ponto A) passe por todos os processos do tratamento até chegar na saída do reservatório da ETA, como água de abastecimento (Ponto B). As Tabelas 2 e 3 apresentam as análises realizadas dos referidos pontos. A Tabela 2 também traz os valores máximos permitidos (VMP) pela Portaria 2.914/11, do Ministério da Saúde (MS). A Figura 3 representa graficamente os dados referentes à Tabela 3. As análises realizadas referem-se aos parâmetros convencionais avaliados nos laboratórios da ETA, além da determinação da concentração dos íons cloreto, nitrato, sulfato e fosfato.

A partir dos dados obtidos, verifica-se que o tratamento de água é efetivo na redução da turbidez natural da água, causada pela presença de partículas, orgânicas ou inorgânicas, em suspensão ou em estado coloidal. Vírus e bactérias podem se alojar nas partículas em suspensão coloidal e, desta maneira, proteger-se da ação do agente desinfetante. A cor da água de superfície também é minimizada pelo tratamento. A remoção da cor tem por finalidade tornar a água adequada para aplicações gerais e industriais. Assim sendo, estes dois parâmetros, turbidez e cor, ao serem reduzidos, proporcionam a chamada clarificação da água. Matéria orgânica, ferro e manganês, componentes naturais da água, também são efetivamente reduzidos durante as etapas do tratamento. Pode-se observar também que os dados de pH e alcalinidade da água de abastecimento são menores que os do ponto inicial de captação, uma vez que os produtos químicos adicionados durante o processo no período de coleta (sulfato de alumínio, cloro e ácido fluossilícico) possuem caráter ácido, reduzindo, portanto, estes valores. O tratamento pouco influencia na dureza total da água. Segundo, Sawyer *et. al.*, a dureza total é composta de duas partes, a dureza temporária e a dureza permanente. A dureza temporária é gerada pela presença de carbonatos e bicarbonatos. A dureza permanente é devida à presença de cloretos, nitratos e sulfatos. Como será explanado posteriormente neste estudo, o tratamento de água convencional não é capaz de remover estes compostos, ocasionando a permanência da dureza em águas de abastecimento. As frações de cloro livre e total possuem valores residuais, sendo necessários para a garantia de desinfecção da água, inclusive nos pontos finais das redes de abastecimento. Por fim, mas não menos importante, pode-se notar o residual de alumínio pós-tratamento. Através das diferentes análises

realizadas ao longo deste estudo, pode-se notar que a aplicação de carvão ativado em batelada não é eficaz na remoção do alumínio remanescente, um problema de saúde pública atual.

Tabela 2 - Análises realizadas no início e no final do sistema convencional de tratamento de água.

ANÁLISE	PONTO A (água superficial)	PONTO B (água de abastecimento)	VMP Portaria 2.914/11
Turbidez (UT)	41	0,5	5
Cor (mg L ⁻¹ Pt-Co)	88	3	15
pH	6,7	6,3	9,5
Dureza (mg L ⁻¹ CaCO ₃)	29	27	500
Alcalinidade (mg L ⁻¹ CaCO ₃)	32	11	-
Matéria Orgânica (mg L ⁻¹ O ₂ cons.)	5,3	2,3	-
Ferro (mg L ⁻¹ Fe ²⁺)	0,50	0,01	0,3
Manganês (mg L ⁻¹ Mn ²⁺)	0,23	0,01	0,1
Cloro livre (mg L ⁻¹ Cl ₂)	NA*	0,20	5,00
Cloro total (mg L ⁻¹ Cl ₂)	NA*	9,60	-
Alumínio (mg L ⁻¹ Al ³⁺)	NA*	0,03	0,2
Flúor (mg L ⁻¹ F ⁻)	NA*	0,9	1,5

*Não se Aplica: Análises não realizadas, pois neste ponto de coleta não é aplicado nenhum tipo de produto químico. Fonte: Autor.

Tabela 3 – Dados da concentração de íons nos Pontos A e B.

ANÁLISE DA CONCENTRAÇÃO IÔNICA (mg/L)				
AMOSTRA	ÍONS			
	Cloreto	Nitrato	Fosfato	Sulfato
Ponto A	14,78	7,53	*	8,12
Ponto B	29,51	7,79	*	26,60

* Íon fosfato não detectado na amostra. Fonte: Autor.

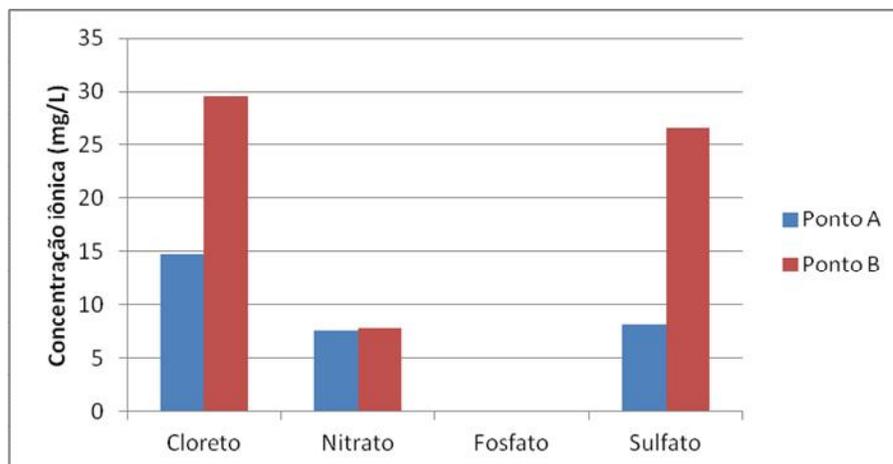


Figura 3. Gráfico comparativo das concentrações de íons nos Pontos A e B. Fonte: Autor.

Considerando-se os resultados obtidos em relação à concentração iônica, o cloreto e o sulfato apresentaram um aumento na concentração do Ponto A para o Ponto B, possivelmente devido à adição de cloro e sulfato de alumínio respectivamente, no processo do tratamento de água. Não houve variação do íon nitrato. O íon fosfato está ausente em ambos os pontos.

3.2. Experimentos de clarificação realizados em *Jar test*

Os resultados obtidos para a dosagem econômica de sulfato de alumínio de cada teste de clarificação são apresentados na Tabela 4. Os resultados completos dos testes seguem em anexo, na seção Material Suplementar. As Figuras 4 e 5 são representam um teste de clarificação.

Tabela 4 - Resultados dos testes de clarificação realizados nos meses de Maio e Junho de 2017. Os resultados da água floculada e floco são referentes à escolha da melhor dosagem de sulfato de alumínio para cada teste.

TESTES DE CLARIFICAÇÃO																
MÊS	CIDADE	CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA BRUTA <i>IN NATURA</i>							DOSAGEM (ppm)	ÁGUA FLOCULADA					FLOCO	
		pH	Cor (mg L ⁻¹ Pt-Co)	MO (mg L ⁻¹ O ₂ cons.)	Alcalinidade (mg L ⁻¹ CaCO ₃)	Turbidez (UT)	Turbidez após filtração (UT)	Temperatura (°C)		Sulfato Al	pH	Alcalinidade (mg L ⁻¹ CaCO ₃)	Cor (mg L ⁻¹ Pt-Co)	Turbidez (UT)	Alumínio (mg L ⁻¹)	Aspecto*
MAIO	Esteio	7,0	114	5,0	31	60	32	19	23	6,2	21	4	0,4	0,06	Bom	Boa
	Nova Sta. Rita	6,6	99	5,6	25	50	31	20	32	6,2	14	4	0,4	0,04	Ótimo	Ótima
	Campo Bom	6,6	103	7,8	13	42	37	16	24	6,0	2	2	0,3	0,10	Bom	Boa
JUNHO	Esteio	6,7	95	7,7	18	38	32	18	26	5,8	5	3	0,4	0,01	Bom	Boa
	Nova Sta. Rita	6,7	99	6,5	23	43	25	19	24	6,1	15	5	0,4	0,01	Ótimo	Ótima
	Campo Bom	6,9	45	5,9	22	15	11	21	21	6,7	16	4	0,4	0,04	Bom	Boa

* Análises visuais. Fonte: Autor.

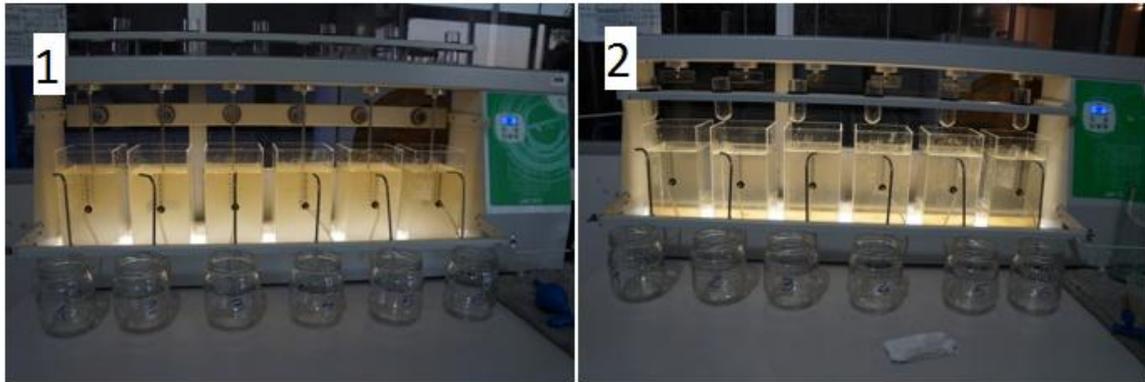


Figura 4. Fotos dos experimentos de bancada realizados no *Jar test*. (1) Amostras de água bruta pré-teste; (2) Amostras clarificadas, pós-teste. Fonte: Autor.

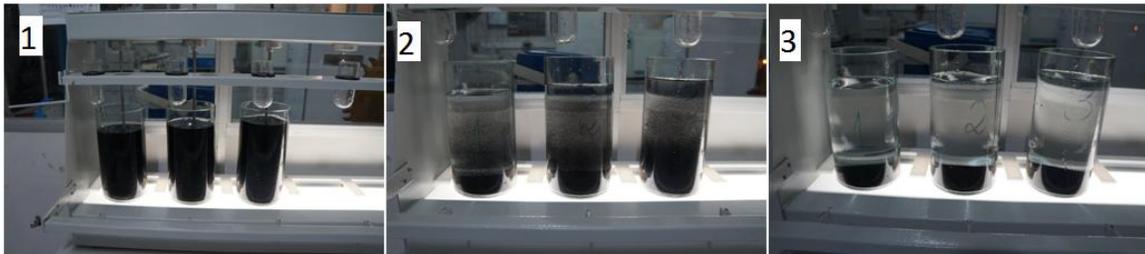


Figura 5. Fotos dos experimentos. (1) Copos contendo apenas carvão ativado; (2) Copos com carvão ativado após a adição de sulfato de alumínio, proporcionando a floculação; (3) Copos com água clarificada. Fonte: Autor.

3.3. Avaliação da influência do carvão ativado na remoção de Alumínio

A fim de avaliar o efeito do carvão ativado em termos de remoção do residual de alumínio, foi realizado um teste adicional com excesso de sulfato de alumínio (acima da dosagem ideal), variando as concentrações do produto adsorvente. A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos. A partir dos dados de concentração de Al nas diferentes amostras, a utilização do carvão ativado em batelada não foi capaz de retirar o alumínio remanescente da floculação.

Tabela 5 - Avaliação da ação de diferentes dosagens de carvão ativado em relação a uma mesma concentração de sulfato de alumínio, em excesso.

	Controle	Dosagem de carvão ativado (mg L ⁻¹)			
		15	30	45	60
Dosagem de sulfato de alumínio (excesso)	30 mg L ⁻¹	30 mg L ⁻¹	30 mg L ⁻¹	30 mg L ⁻¹	30 mg L ⁻¹
Residual de Al	0,05 mg L ⁻¹	0,08 mg L ⁻¹	0,04 mg L ⁻¹	0,07 mg L ⁻¹	0,09 mg L ⁻¹

Fonte: Autor.

3.4. Presença de fármacos e pesticidas na amostra de água superficial

A amostra no ponto de captação de Esteio, considerado como o de maior impacto em relação ao recebimento de esgoto doméstico, foi analisada pelo método de multirresiduais para determinação de resíduos de fármacos e pesticidas (varredura de 250 compostos, com LD entre 1,0 e 0,01 µg L⁻¹). Apenas a cafeína foi detectada na amostra. Portanto, as demais amostras não foram analisadas com relação a presença e/ou remoção destes compostos.

3.5. Oxigênio Consumido (OC)

A Tabela 6 indica os resultados obtidos das análises de oxigênio consumido, comparando as amostras obtidas nos diferentes pontos de captação, na ausência e presença de carvão ativado, em concentrações específicas.

Tabela 6 - Resultados obtidos da análise de oxigênio consumido das amostras oriundas dos testes de clarificação realizados.

ANÁLISE DE OXIGÊNIO CONSUMIDO (mg/L)					
MÊS	CIDADE	Sem adição de carvão*	10 ppm de carvão	15 ppm de carvão	20 ppm de carvão
	Esteio	3,20	2,13	2,50	3,26
Maio	N. Santa Rita	2,56	3,20	3,23	3,04
	Campo Bom	2,56	2,49	2,08	2,20
	Esteio	2,40	2,24	2,72	2,56
Junho	N. Santa Rita	3,20	2,40	1,92	2,40
	Campo Bom	1,76	2,40	2,24	2,40

Fonte: Autor.

A Figura 6 compara graficamente os dados da Tabela 6. A partir destes resultados, observa-se que a utilização de carvão ativado, mesmo em diferentes concentrações, não influencia na quantidade de matéria orgânica oxidável (OC), sendo dispensável o uso do produto adsorvente para este fim, nestas condições analisadas.

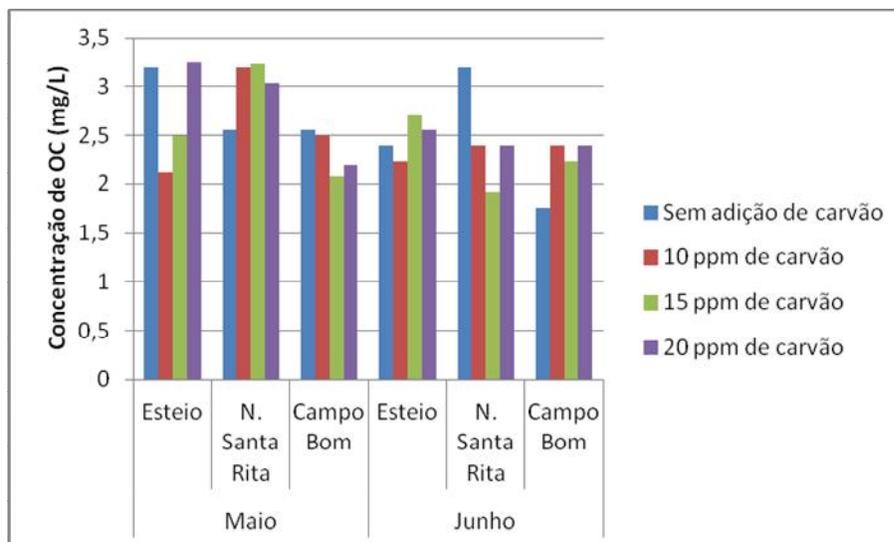


Figura 6 - Gráfico demonstrando concentrações de OC, em mg/L, nos diferentes pontos de captação, nos meses de maio e junho de 2017, na ausência e presença de carvão ativado em diferentes concentrações. Fonte: Autor.

3.6. Determinação de íons por Cromatografia Iônica

Todas as amostras, dos testes de clarificação, foram analisadas por cromatografia de íons para determinação de cloreto, nitrato, sulfato e fosfato, conforme Tabela 7 e Figura 7.

Comparando-se os valores do Ponto A (água bruta) da Tabela 3, que serve de parâmetro para avaliação da concentração iônica inicial da água *in natura*, com os da Tabela 7, observa-se que a presença de carvão ativado, mesmo com diferentes dosagens, não influenciou na redução dos compostos iônicos. O aumento da concentração do íon sulfato pode ser atribuída à utilização do sulfato de alumínio como coagulante nos testes de clarificação.

Tabela 7 - Resultados obtidos para os íons cloreto, nitrato, fosfato e sulfato das amostras oriundas dos ensaios de clarificação.

ANÁLISE DA CONCENTRAÇÃO IÔNICA (mg L ⁻¹)																	
MÊS	CIDADE	Sem adição de carvão				10 ppm de carvão				15 ppm de carvão				20 ppm de carvão			
		Cloreto	Nitrato	Fosfato	Sulfato	Cloreto	Nitrato	Fosfato	Sulfato	Cloreto	Nitrato	Fosfato	Sulfato	Cloreto	Nitrato	Fosfato	Sulfato
MAIO	Esteio	14,08	8,22	*	24,94	13,05	7,33	1,66	37,30	13,76	7,92	*	40,07	13,14	7,24	2,06	38,08
	N. Sta. Rita	10,65	7,52	1,33	22,62	10,06	7,66	*	24,04	9,63	6,94	*	20,28	12,99	8,98	*	30,42
	Campo Bom	5,48	4,14	*	31,21	5,52	4,19	*	28,41	5,53	4,18	*	25,38	4,01	3,49	*	13,87
JUNHO	Esteio	6,32	4,64	*	21,23	5,75	4,75	*	22,20	6,48	4,81	*	20,41	4,51	3,78	*	15,52
	N. Sta. Rita	10,78	5,82	*	21,58	10,52	6,57	*	20,69	10,06	6,29	*	19,93	9,54	5,72	*	20,20
	Campo Bom	9,06	5,77	*	21,00	9,29	5,82	*	21,30	9,72	5,97	*	22,51	9,32	5,88	*	22,13

* Íon fosfato não detectado na amostra. Fonte: Autor.

A Figura 7 representa graficamente os dados da Tabela 7.

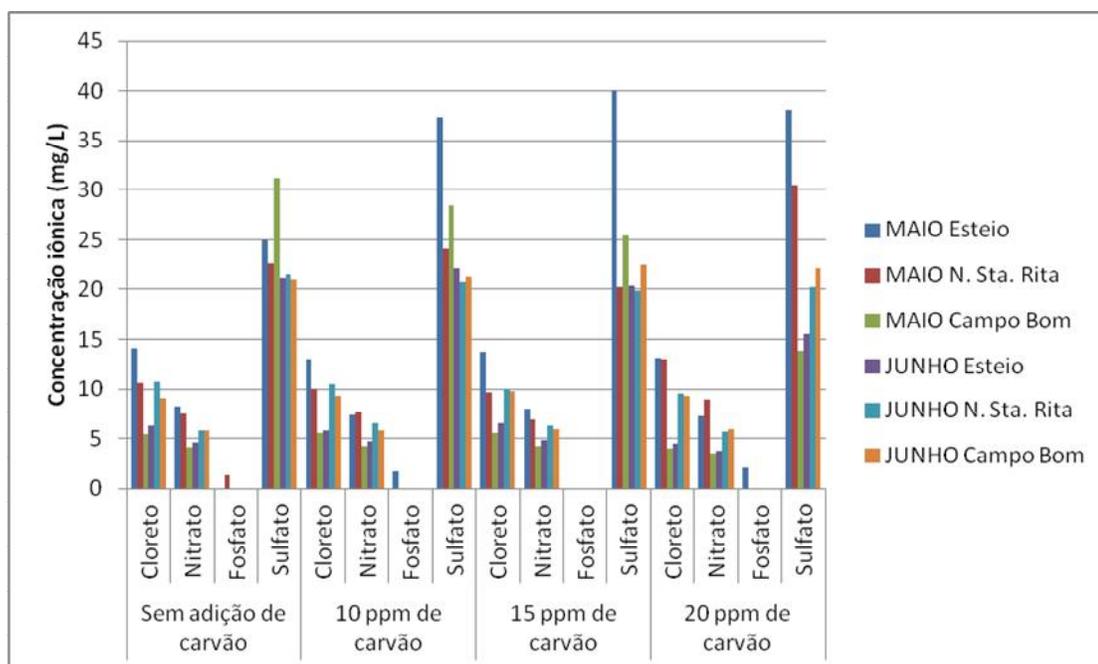


Figura 7. Gráfico comparativo das concentrações iônicas, em mg/L, nos diferentes pontos de captação, nos meses de maio e junho de 2017, na ausência e presença de carvão ativado. Fonte: Autor.

Nota-se que, tanto na ausência quanto na presença do produto adsorvente, aplicado em batelada, não houve variação entre as concentrações iônicas das amostras analisadas. Portanto, o carvão ativado, nestas condições, foi ineficaz na remoção destes compostos.

4. CONCLUSÃO

A presença de fármacos e pesticidas no ponto de maior impacto ambiental não foi relevante, contrariando-se a hipótese primária deste estudo, possivelmente devido à diluição natural do manancial, à concentração destes compostos estar abaixo do limite de detecção do método utilizado ou ainda à ausência dos mesmos.

Os testes de clarificação de bancada confirmaram que as dosagens dos produtos químicos utilizados no tratamento de água são dependentes da qualidade da água do manancial captada, onde a dosagem de sulfato de alumínio utilizada na estação de tratamento no momento da coleta de água superficial serviu de parâmetro para a realização do mesmo, onde a partir desta referência, escolheu-se as demais dosagens.

O carvão ativado, dosado em batelada, não foi eficaz na redução do residual de alumínio nem de íons, mesmo em diferentes dosagens. Uma alternativa à essa forma de dosagem, seria a aplicação de carvão ativado em leito fixo.

Com relação ao alumínio residual após o tratamento de água, há várias implicações à saúde humana, uma vez que este metal é cumulativo e está relacionado a doenças mentais, como a Doença de Alzheimer. Uma alternativa ao uso de sulfato de alumínio, poderia ser o uso de coagulantes de origem vegetal, como os taninos, extraídos da planta acácia. Os taninos apresentam inúmeras vantagens, dentre elas a inexistência de alumínio residual, à exceção da elevação de cor e matéria orgânica do produto final, sendo estas consideradas desvantagens destes compostos.

5. REFERÊNCIAS

- MMA. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/aguas-urbanas/mananciais> >Acesso em: 06 jun. 2017.
2. COMITESINOS. Projeto Verde Sinos, 2009.
 3. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/ids/default_2010.shtm >Acesso em: 13 maio 2017.
 4. HELLER, L.; PÁDUA, V. L.. Abastecimento de água para consumo humano. 2006. Cap 4, p. 189-195. Editora UFMG.
 5. SIPMA, J.; OSUNA, B.; COLLADO, N.; MONCLÚS, H.; FERRERO, G.; COMAS, J.; RODRIGUEZ-RODA, I.. Comparison of removal of pharmaceuticals in MBR and activated sludge systems. Publicado em Rev. Elsevier - Desalination 250, 2010. pg. 653-659.
 6. MINISTÉRIO DA SAÚDE – MS. Portaria Nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, Diário Oficial da União, Brasília.
 7. BARCELLA, R. A.; PIZZOLATO, T. M.. Estudo comparativo entre diferentes técnicas analíticas para determinação da demanda química de oxigênio (DQO) de rios que recebem efluentes. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS - Brasil, 2016.
 8. ZOPPAS, F. M.; BERNARDES, A. M.; MENEGUZZI, A.. Artigo de revisão: Parâmetros operacionais na remoção biológica de nitrogênio de águas por nitrificação e desnitrificação simultânea. Publicado em Rev. Eng. Sanit. Ambient. vol. 21 n.1 – jan/mar 2016, pg. 29-42.
 9. MACÊDO, J. A. B.. Águas & Águas. Belo Horizonte. 2007. 3 ed.
 10. MOTA, S.. Introdução à engenharia ambiental. Rio de Janeiro: ABES, 2010. 4 ed.
 11. RICHTER, C. A. Água: métodos e tecnologia de tratamento. São Paulo. 2009. 1 ed.
 12. POHLMANN, P. H. M.; FRANCISO, A. A.; FERREIRA, M. A.; JABBOUR, C. J. C.. Tratamento de água para abastecimento humano: contribuições da metodologia Seis Sigma. Publicado em Rev. Eng. Sanit. Ambient. vol. 20 n.3 – jul/set 2015, pg. 485-492.
 13. FERREIRA, P. C.; PIAI, K. A.; TAKAYANAGUI, A. M. M.; SEGURA-MUÑOZ, S. I.. Artigo de revisão: Alumínio como fator de risco para a doença de Alzheimer. Publicado em Rev. Latino-Am. Enfermagem vol.16 n.1 Ribeirão Preto – jan/fev 2008.

MATERIAL SUPLEMENTAR

Tabela 1 - Dados obtidos através do *Jar test* no ponto de captação da cidade de Esteio/RS, no mês de Maio/2017, para escolha da melhor dosagem do produto coagulante Sulfato de Alumínio.

TESTE DE CLARIFICAÇÃO											
DATA: 17/05/2017 HORA: 17h 00 min											
CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA BRUTA											
IN NATURA											
pH: 7,0						Turbidez: 60 UT					
Cor: 114 mg L ⁻¹ Pt-Co						Turbidez após Filtração: 32 UT					
Matéria Orgânica: 5,0 mg L ⁻¹ O ₂ cons.						Temperatura: 19 °C					
Alcalinidade: 31 mg L ⁻¹ CaCO ₃											
Nº do copo	Dosagem ppm				Água floculada					Floco	
	Al ₂ (SO ₄) ₃	Cloro	Cal	Carvão	pH	Alcalin.	Cor	Turbidez	Al	Aspecto	Sedimentação
1	17 ppm	-	-	-	6,7	25	9	1,5	0,23	Miúdo	Lenta
2	20 ppm	-	-	-	6,2	22	5	0,6	0,09	Bom	Boa
3	23 ppm	-	-	-	6,2	21	4	0,4	0,06	Bom	Boa
4	26 ppm	-	-	-	6,2	21	4	0,4	0,06	Ótimo	Ótima
5	29 ppm	-	-	-	6,2	20	3	0,4	0,04	Ótimo	Ótima
6	32 ppm	-	-	-	6,2	18	3	0,3	0,05	Ótimo	Ótima
Dosagem Econômica: 23 mg L ⁻¹ Matéria Orgânica 3,0 mg L ⁻¹ O ₂ cons. Meio ácido											

Tabela 2 - Dados obtidos através do *Jar test* no ponto de captação da cidade de Nova Santa Rita/RS, no mês de Maio/2017, para escolha da melhor dosagem do produto coagulante Sulfato de Alumínio.

TESTE DE CLARIFICAÇÃO											
DATA: 24/05/2017 HORA: 15h 00 min											
CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA BRUTA											
IN NATURA											
pH: 6,6						Turbidez: 50 UT					
Cor: 114 mg L ⁻¹ Pt-Co						Turbidez após Filtração: 31 UT					
Matéria Orgânica: 5,6 mg L ⁻¹ O ₂ cons.						Temperatura: 20 °C					
Alcalinidade: 25 mg L ⁻¹ CaCO ₃											
Nº do copo	Dosagem ppm				Água floculada					Floco	
	Al ₂ (SO ₄) ₃	Cloro	Cal	Carvão	pH	Alcalin.	Cor	Turbidez	Al	Aspecto	Sedimentação
1	20 ppm	-	-	-	6,8	21	10	3,2	0,26	Miúdo	Lenta
2	24 ppm	-	-	-	6,3	17	5	0,9	0,09	Bom	Boa
3	28 ppm	-	-	-	6,2	15	4	0,5	0,03	Ótimo	Ótima
4	32 ppm	-	-	-	6,2	14	4	0,4	0,04	Ótimo	Ótima
5	36 ppm	-	-	-	6,1	13	3	0,4	0,04	Ótimo	Ótima
6	40 ppm	-	-	-	6,0	11	3	0,4	0,05	Ótimo	Ótima
Dosagem Econômica: 32 mg L ⁻¹ Matéria Orgânica 3,0 mg L ⁻¹ O ₂ cons. Meio ácido											

Tabela 3 - Dados obtidos através do *Jar test* no ponto de captação da cidade de Campo Bom/RS, no mês de Maio/2017, para escolha da melhor dosagem do produto coagulante Sulfato de Alumínio.

TESTE DE CLARIFICAÇÃO											
DATA: 31/05/2017 HORA: 08h 00 min											
CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA BRUTA											
IN NATURA											
pH: 6,6					Turbidez: 42 UT						
Cor: 103 mg L ⁻¹ Pt-Co					Turbidez após Filtração: 37 UT						
Matéria Orgânica: 7,8 mg L ⁻¹ O ₂ cons.					Temperatura: 16 °C						
Alcalinidade: 13 mg L ⁻¹ CaCO ₃											
Nº do copo	Dosagem ppm				Água floculada					Floco	
	Al ₂ (SO ₄) ₃	Cloro	Cal	Carvão	pH	Alcalin.	Cor	Turbidez	Al	Aspecto	Sedimentação
1	18 ppm	-	-	-	6,2	8	39	16	0,15	Miúdo	Lenta
2	21 ppm	-	-	-	6,2	3	3	0,6	0,12	Bom	Boa
3	24 ppm	-	-	-	6,0	2	2	0,3	0,10	Bom	Boa
4	27 ppm	-	-	-	5,5	2	2	0,4	0,09	Ótimo	Ótima
5	30 ppm	-	-	-	5,4	2	2	0,3	0,09	Ótimo	Ótima
6	33 ppm	-	-	-	5,3	2	2	0,3	0,06	Ótimo	Ótima
Dosagem Econômica: <u>24</u> mg L ⁻¹ Matéria Orgânica <u>3,7</u> mg L ⁻¹ O ₂ cons. Meio ácido											

Tabela 4 - Dados obtidos através do *Jar test* no ponto de captação da cidade de Esteio/RS, no mês de Junho/2017, para escolha da melhor dosagem do produto coagulante Sulfato de Alumínio.

TESTE DE CLARIFICAÇÃO											
DATA: 07/06/2017 HORA: 10h 30 min											
CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA BRUTA											
IN NATURA											
pH: 6,7					Turbidez: 38 UT						
Cor: 95 mg L ⁻¹ Pt-Co					Turbidez após Filtração: 32 UT						
Matéria Orgânica: 7,7 mg L ⁻¹ O ₂ cons.					Temperatura: 18 °C						
Alcalinidade: 18 mg L ⁻¹ CaCO ₃											
Nº do copo	Dosagem ppm				Água floculada					Floco	
	Al ₂ (SO ₄) ₃	Cloro	Cal	Carvão	pH	Alcalin.	Cor	Turbidez	Al	Aspecto	Sedimentação
1	20 ppm	-	-	-	5,9	8	4	0,7	0,03	Bom	Boa
2	22 ppm	-	-	-	5,8	8	3	0,5	0,01	Bom	Boa
3	24 ppm	-	-	-	5,8	6	5	0,4	0,02	Bom	Boa
4	26 ppm	-	-	-	5,8	5	3	0,4	0,01	Bom	Boa
5	28 ppm	-	-	-	5,8	5	3	0,4	0,02	Bom	Boa
6	30 ppm	-	-	-	5,9	4	2	0,4	0,02	Bom	Boa
Dosagem Econômica: <u>26</u> mg L ⁻¹ Matéria Orgânica <u>2,7</u> mg L ⁻¹ O ₂ cons. Meio ácido											

Tabela 5 - Dados obtidos através do *Jar test* no ponto de captação da cidade de Nova Santa Rita/RS, no mês de Junho/2017, para escolha da melhor dosagem do produto coagulante Sulfato de Alumínio.

TESTE DE CLARIFICAÇÃO											
DATA: 22/06/2017 HORA: 17h 00 min											
CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA BRUTA											
IN NATURA											
pH: 6,7					Turbidez: 43 UT						
Cor: 99 mg L ⁻¹ Pt-Co					Turbidez após Filtração: 25 UT						
Matéria Orgânica: 6,5 mg L ⁻¹ O ₂ cons.					Temperatura: 19 °C						
Alcalinidade: 23 mg L ⁻¹ CaCO ₃											
N° do copo	Dosagem ppm				Água floculada					Floco	
	Al ₂ (SO ₄) ₃	Cloro	Cal	Carvão	pH	Alcalin.	Cor	Turbidez	Al	Aspecto	Sedimentação
1	15 ppm	-	-	-	-	-	-	-	-	NF*	NF*
2	18 ppm	-	-	-	6,5	19	12	2,2	0,25	Bom	Boa
3	21 ppm	-	-	-	6,4	17	6	0,6	0,00	Bom	Boa
4	24 ppm	-	-	-	6,1	15	5	0,4	0,01	Ótimo	Ótima
5	27 ppm	-	-	-	6,1	14	3	0,4	0,01	Ótimo	Ótima
6	30 ppm	-	-	-	6,1	12	5	0,4	0,01	Ótimo	Ótima
Dosagem Econômica: 26 mg L ⁻¹ Matéria Orgânica 2,7 mg L ⁻¹ O ₂ cons. Meio ácido											

* Não Floculou: A dosagem de sulfato de alumínio (15 ppm) não foi suficiente para promover a floculação da amostra de água bruta. Portanto, os ensaios subsequentes não foram analisados.

Tabela 6 - Dados obtidos através do *Jar test* no ponto de captação da cidade de Campo Bom/RS, no mês de Junho/2017, para escolha da melhor dosagem do produto coagulante Sulfato de Alumínio.

TESTE DE CLARIFICAÇÃO											
DATA: 29/06/2017 HORA: 17h 00 min											
CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA BRUTA											
IN NATURA											
pH: 6,9					Turbidez: 15 UT						
Cor: 45 mg L ⁻¹ Pt-Co					Turbidez após Filtração: 11 UT						
Matéria Orgânica: 5,9 mg L ⁻¹ O ₂ cons.					Temperatura: 21 °C						
Alcalinidade: 22 mg L ⁻¹ CaCO ₃											
N° do copo	Dosagem ppm				Água floculada					Floco	
	Al ₂ (SO ₄) ₃	Cloro	Cal	Carvão	pH	Alcalin.	Cor	Turbidez	Al	Aspecto	Sedimentação
1	17 ppm	-	-	-	6,8	17	6	0,6	0,10	Bom	Boa
2	19 ppm	-	-	-	6,8	17	4	0,4	0,05	Bom	Boa
3	21 ppm	-	-	-	6,7	16	4	0,4	0,04	Bom	Boa
4	23 ppm	-	-	-	6,6	12	3	0,3	0,03	Bom	Boa
5	25 ppm	-	-	-	6,5	9	3	0,3	0,02	Bom	Boa
6	27 ppm	-	-	-	6,4	8	3	0,3	0,01	Bom	Boa
Dosagem Econômica: 21 mg L ⁻¹ Matéria Orgânica 1,9 mg L ⁻¹ O ₂ cons. Meio ácido											