

Tratabilidade de água de ambiente lântico, visando a remoção de carbono orgânico total

Treatability of water from a lentic environment, aiming at the removal of total organic carbon

Tratabilidad del agua de un ambiente lântico, con el objetivo de eliminar el carbono orgânico total

DOI: 10.54033/cadpedv21n3-181

Originals received: 02/23/2024

Acceptance for publication: 03/15/2024

Wilma Gomes da Silva Carmo

Mestre em Engenharia do Meio Ambiente

Instituição: Saneamento de Goiás

Endereço: R. Joaquina P. J. Veiga. Q. 29, Parque Veiga Jardim, Aparecida de Goiânia - GO, CEP: 74605-220

E-mail: wilma@saneago.com.br

Nora Katia Saavedra del Aguila Hoffmann

Pós-Doutor em Hidráulica e Saneamento

Instituição: Universidade Federal de Goiás

Endereço: Av. Universitária 1488. Qd. 86. Setor Universitário, Goiânia – GO, CEP: 74605-220

E-mail: kasaavedra@ufg.br

RESUMO

O Carbono Orgânico Total (COT) é a medida indireta da concentração de compostos orgânicos naturais presentes na água. A matéria orgânica, como COT, é um dos principais responsáveis pela demanda de cloro nos processos de desinfecção com utilização desse desinfetante, na água. Essa matéria orgânica possui em sua composição substâncias precursoras de subprodutos da desinfecção, os compostos orgânicos clorados (ácidos haloacéticos e trihalometanos), gerados pela reação com cloro. Nesse sentido, a pesquisa foi realizada utilizando água do Reservatório da Barragem do Ribeirão João Leite situado à montante da cidade de Goiânia, Estado de Goiás, Região Centro-Oeste do Brasil. O objetivo foi otimizar a tratabilidade da água do Reservatório da Barragem do Ribeirão João Leite, de uso exclusivo para abastecimento público, com qualidade de água muito variável, devido à ocupação da bacia hidrográfica e pela decomposição da matéria orgânica previamente inundada. Na Primeira Fase realizou-se ensaios de bancada (jarteste) nas diferentes condições de pH (5,0, 5,5, 6,0, 6,5, 7,0 e pH natural) para avaliação do coagulante policloreto de

alumínio na remoção de turbidez e cor aparente. Na Segunda Fase, ocorreu a otimização das dosagens, associando-as aos pré-oxidantes cloro e permanganato de potássio e ao adsorvente carvão ativado em pó, em água com pH natural e pH 5,00. Verificou-se a remoção dos compostos orgânicos naturais medidos através do carbono orgânico total (COT), carbono orgânico dissolvido (COD) e cor verdadeira e a formação de trihalometanos. As dosagens ótimas de policloreto de alumínio foram: 1,0, 2,5 e 5,0 mg.L-1 para a água da TDA1 e 1,5 e 1,8 mg.L-1 para a água da TDA3. As máximas eficiências de remoção obtidas foram: turbidez (96,8%), cor verdadeira (98,6%), COT (92,4%) e COD (84,9%).

Palavras-chave: Ribeirão João Leite. Tratabilidade de Água. Eficiência de Remoção. Carbono Orgânico Total.

ABSTRACT

Total Organic Carbon (TOC) is an indirect measure of the concentration of natural organic compounds present in water. Organic matter, such as TOC, is one of the main factors responsible for the demand for chlorine in disinfection processes using this disinfectant in water. This organic matter has in its composition precursor substances of disinfection by-products, chlorinated organic compounds (haloacetic acids and trihalomethanes), generated by the reaction with chlorine. The research was carried out using water from the Ribeirão João Leite Dam Reservoir located upstream of the city of Goiânia, State of Goiás, Central-West Region of Brazil. The objective was to optimize the treatability of water from the Ribeirão João Leite Dam Reservoir, for exclusive use for public supply, with very variable water quality, due to the occupation of the river basin and the decomposition of previously flooded organic matter. In the First Phase, bench tests (jarteste) were carried out under different pH conditions (5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 and natural pH) to evaluate the aluminum polychloride coagulant in the removal turbidity and apparent color. In the Second Phase, the dosages were optimized, combining them with the pre-oxidants chlorine and potassium permanganate and the powdered activated carbon adsorbent, in water with a natural pH and pH 5.00. The removal of natural organic compounds measured through total organic carbon (TOC), dissolved organic carbon (COD) and true color and the formation of trihalomethanes was verified. The optimal dosages of aluminum polychloride were: 1.0, 2.5 and 5.0 mg.L-1 for the water in TDA1 and 1.5 and 1.8 mg.L-1 for the water in TDA3. The maximum removal efficiencies obtained were: turbidity (96.8%), true color (98.6%), TOC (92.4%) and COD (84.9%).

Keywords: Supply Source. Conservation. Physical Chemistry. Coliforms.

RESUMEN

El carbono orgánico total (TOC) es una medida indirecta de la concentración de compuestos orgánicos naturales presentes en el agua. La materia orgánica, como el TOC, es uno de los principales responsables de la demanda de cloro en los procesos de desinfección que utilizan este desinfectante en el agua. Esta materia orgánica tiene en su composición sustancias precursoras de subproductos de la desinfección, compuestos orgánicos clorados (ácidos

haloacéticos y trihalometanos), generados por la reacción con el cloro. En ese sentido, la investigación se realizó utilizando agua del Embalse Ribeirão João Leite, ubicado aguas arriba de la ciudad de Goiânia, Estado de Goiás, Región Centro-Oeste de Brasil. El objetivo era optimizar la tratabilidad del agua del embalse de Ribeirão João Leite, de uso exclusivo para abastecimiento público, con calidad de agua muy variable, debido a la ocupación de la cuenca del río y a la descomposición de materia orgánica previamente inundada. En la Primera Fase se realizaron pruebas de banco (jarteste) en diferentes condiciones de pH (5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y pH natural) para evaluar el coagulante policloruro de aluminio en la remoción de turbiedad y color aparente. En la Segunda Fase se optimizaron las dosis, combinándolas con los preoxidantes cloro y permanganato de potasio y el adsorbente de carbón activado en polvo, en agua con pH natural y pH 5,00. Se verificó la remoción de compuestos orgánicos naturales medida a través de carbono orgánico total (TOC), carbono orgánico disuelto (DQO) y color verdadero y la formación de trihalometanos. Las dosis óptimas de policloruro de aluminio fueron: 1,0, 2,5 y 5,0 mg.L-1 para el agua en TDA1 y 1,5 y 1,8 mg.L-1 para el agua en TDA3. Las máximas eficiencias de eliminación obtenidas fueron: turbidez (96,8%), color verdadero (98,6%), TOC (92,4%) y DQO (84,9%).

Palabras clave: Ribeirão João Leite. Tratabilidad del Agua. Eficiencia de Eliminación. Carbono Orgánico Total.

1 INTRODUÇÃO

Água, elemento precioso e indispensável à vida. Em razão da grande quantidade de substâncias que se encontram dissolvidas como os íons, matéria orgânica, poluição ou contaminação de origem natural ou antrópica, se torna imprópria para consumo em seu estado natural.

A exploração dos recursos hídricos para expansão do desenvolvimento econômico (agrícola e industrial) e as mudanças climáticas contribuem para a deterioração da água dos rios, lagos e reservatórios, que eutrofizados, inviabiliza o consumo de água sem tratamento prévio (DI BERNARDO, MINILLO e DANTAS, 2010).

Na potabilização da água para consumo humano, os processos devem ser otimizados a fim de contemplar a remoção da matéria orgânica natural, geralmente encontrada nos cursos d'água, minimizando a formação de subprodutos da pré-oxidação ou da desinfecção (FERREIRA FILHO, 2001).

A maximização da remoção de compostos orgânicos naturais (CONs) pode ser obtida no processo de coagulação, minimizando a formação de subprodutos e reduzindo o consumo de desinfetante, além de evitar o crescimento de biofilmes no sistema de distribuição (QIN et al., 2006; FERREIRA FILHO e MARCHETTO, 2006; PASCHOALATO et al., 2008; SLOBODA et al., 2009).

A garantia de uma água estar isenta de microrganismos patogênicos, muitas vezes está relacionada com a aplicação de cloro, comumente utilizado nas Estações de Tratamento de Água. Ocorre que a ação oxidante do cloro ao reagir com os CONs presentes na água pode resultar na formação de subprodutos prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente, principalmente, os organoclorados - trihalometanos (THM) e ácidos aloacéticos (AHA), (RÄDER, 2009; FRANQUINI e JÚNIOR, 2009).

A expansão demográfica aliada aos processos precários de urbanização reflete diretamente na qualidade e quantidade da água dos mananciais que abastecem as cidades. Em Goiás, a história se confirma. Onde muitos dos mananciais apresentam-se antropizados, o que requer uma política de monitoramento e gerenciamento das bacias hidrográficas de maneira sistemática como medida mitigadora.

A cidade de Goiânia conta com três fontes de captação de água para abastecimento público: Rio Meia Ponte, Ribeirão João Leite e Represa Samambaia. O Ribeirão João Leite, destaca-se pela grande obra de engenharia construída: o Reservatório da Barragem do Ribeirão João Leite, além de ser o principal manancial de abastecimento público para a cidade de Goiânia e região metropolitana (Trindade, Goianira, Aragoiânia e Aparecida de Goiânia).

O projeto do complexo do Sistema Produtor João Leite: barragem: foi concluída em 2009, com um volume de acumulação de 129 hm³; adutoras de água bruta e tratada e Estação de Tratamento de Água. Com esta importante obra, a produção de água neste sistema passará dos atuais 2 m³.s⁻¹ para inicialmente, 4 m³.s⁻¹ e 8 m³.s⁻¹ no final do projeto, com perspectiva de universalização dos serviços de abastecimento de água em 100% de

atendimento para a cidade de Goiânia e região conurbada até o ano de 2040 (SANEAGO, 2010).

Considerando a localização, que cerca de 90% da área total da bacia está a montante do reservatório, o que possibilita e indica a vulnerabilidade da qualidade da água, já que esta é uma bacia fortemente antropizada (RABELO, 2009; SANTOS, 2009; NISHI, 2008), justifica-se a elaboração de novas pesquisas que permitam a otimização da tratabilidade da água, garantindo um produto final dentro dos padrões de potabilidade exigidos pela legislação.

Neste contexto, o objetivo desta pesquisa foi a otimização dos processos de coagulação/floculação, avaliando o emprego do coagulante policloreto de alumínio e dos pré-oxidantes cloro e permanganato de potássio e do adsorvente carvão ativado em pó, quanto à remoção de cor, turbidez e CONs. Garantindo assim, maior eficiência no tratamento, otimização do sistema, redução de custos na operação, além de minimizar os potenciais riscos sanitários do produto final.

2 METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada utilizando água do Reservatório da Barragem do Ribeirão João Leite situado à montante da cidade de Goiânia, Estado de Goiás no Centro Oeste do Brasil. As coletas foram realizadas nas tomadas de água TDA1 e TDA3, a 14 e 27 metros de profundidade, respectivamente.

Na Primeira Fase, realizou-se seis diferentes simulações de dosagens de PAC para as seguintes faixas de pH: 5,00; 5,50; 6,00; 6,50; 7,0 e pH natural. A Segunda Fase, foi a otimização da tratabilidade aplicando-se pré-oxidação com cloro e permanganato de potássio ou adsorção com carvão ativado em pó (CAP), coagulação, floculação e sedimentação, nesta fase avaliou-se a eficiência de remoção dos compostos orgânicos naturais medindo-os indiretamente através da cor verdadeira, COT e COD.

Os ensaios de bancada foram realizados utilizando equipamento jarreste da Nova Ética modelo LDB, com 6 jarros e dispositivos simultâneos de dosagens e coletas. A metodologia utilizada foi de acordo com a prescrita por Di Bernardo e Sabogal Paz (2008).

O Ribeirão João Leite (RJL) é um importante afluente do Rio Meia Ponte, pertencente à bacia hidrográfica do Paranaíba. Responsável pelo abastecimento de 55% da cidade de Goiânia, capital do estado de Goiás e região metropolitana (Trindade, Goianira, Aragoiânia e Aparecida de Goiânia).

O Reservatório da Barragem do Ribeirão João Leite (RBRJL) está localizado à montante da cidade de Goiânia, junto ao morro do Bálsamo (Figura 1), de uso exclusivo para abastecimento público.

Figura 1. Localização do Reservatório do Ribeirão João Leite à montante da cidade de Goiânia



Fonte: <http://maps.google.com>

O RBRJL apresenta as principais características: (a) construção da barragem em Concreto Compactado com Rolo (CCR); (b) tomadas d'água do Tipo Seletiva, com três comportas para abastecimento e 1 para descarga de fundo; (c) volume total de acumulação 129 hm³; e (d) vertedor livre central, com vazão média regular de 6,23 m³.s e descarga sanitária, isto é, vazão mínima a ser garantida no Ribeirão João Leite de 0,9 m³. s (GUSMÃO e VALSECCHI, 2009). A Figura 2 mostra o leito do reservatório detalhando à direita o vertedor.

Figura 2. Reservatório do Ribeirão João Leite (à direita, detalhe vertedor)

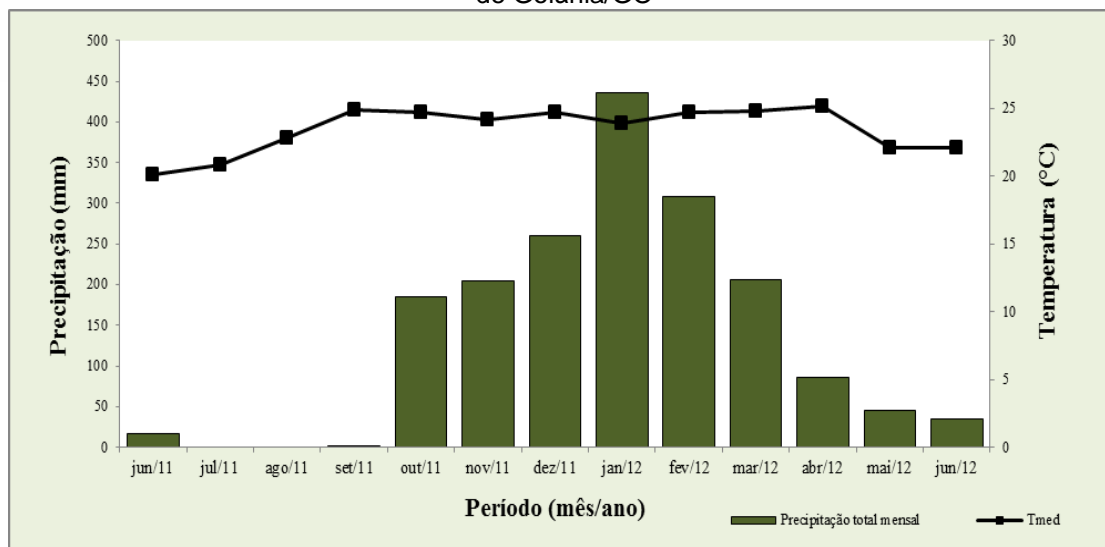


Fonte: Os autores (2016)

2.1 DADOS PLUVIOMÉTRICOS E DE TEMPERATURA AMBIENTE PARA A CIDADE DE GOIÂNIA

No Estado de Goiás, durante o ano, os períodos de seca e chuva são bem definidos, sendo que, entre os meses de maio a agosto tem-se o período de seca, e durante os meses de setembro a abril os períodos chuvosos, com intensidade nos meses de dezembro e janeiro, observando que há um período de transição, geralmente nos meses de abril, maio e setembro. Na Figura 3 estão resumidos os dados das médias mensais de temperatura ambiente e valores totais mensais de precipitação para a cidade de Goiânia durante o período de estudo.

Figura 3. Valores médios mensais de temperaturas e precipitação mensal total para a cidade de Goiânia/GO



Fonte: Os autores (2016)

2.2 COLETA DE AMOSTRAS

Para a caracterização da água bruta do reservatório nas duas profundidades (14 e 27 metros), foram executadas coletas simples durante o período de um ano (junho de 2011 a junho de 2012), essas, coincidentes com o monitoramento feito pela Cia de Saneamento local (SANEAGO).

Já para os ensaios de tratabilidade, foram realizadas oito coletas simples no RBRJL nas tomadas d'água 1 e 3, sendo quatro coletas para a Primeira Fase (TDA1 nos meses de julho e outubro de 2011 e na TDA3 nos meses de dezembro de 2011 e fevereiro de 2012) e quatro coletas para a Segunda Fase, sendo duas no mês de abril, uma no mês de maio e outra no mês de junho de 2012. O volume de cada coleta foi de 750 litros para a Primeira Fase e de 250 litros para a Segunda Fase.

As amostras foram encaminhadas e armazenadas no Laboratório Operacional da Estação de Tratamento de Água Jaime Câmara, em Goiânia, local onde procederam-se as análises.

2.3 ENSAIOS DE BANCADA

2.3.1 Caracterização da Água de Estudo

Para a caracterização da água in natura e demais ensaios, foram realizadas análises laboratoriais de acordo com APHA (2005).

2.3.2 Ensaios em Reatores Estáticos (Jarteste)

Os ensaios em reatores estáticos (jarteste) foram realizados com utilização do equipamento jarteste da Nova Ética modelo LDB, com 6 jarros e dispositivos simultâneos de dosagens e coletas. Seguindo metodologia conforme Di Bernardo e Sabogal Paz (2008). Os tempos e gradientes utilizados na pesquisa foram baseados nos mesmos que a ETA Jaime Câmara, em Goiânia, Estado de Goiás utiliza.

Na Primeira Fase, realizou-se trinta e um ensaios de jartestes utilizando PAC como coagulante primário com dosagens que variaram entre 0,3 a 1,8 mg.L⁻¹, para as seis faixas de pH da água bruta: 5,00; 5,50; 6,00; 6,50; 7,0 e pH natural (cada amostra apresentou valores distintos). Com os resultados desta fase elaboram-se os diagramas de coagulação para análise de remoção de cor aparente e turbidez.

Para a Segunda Fase, os ensaios de jarteste foram conduzidos em duas faixas de pH (pH 5,00 e pH natural), sendo executados oito ensaios com dosagens dos pré-oxidantes cloro (3,0 e 5,0 mg.L⁻¹), permanganato de potássio (0,5 e 0,8 mg.L⁻¹), do adsorvente carvão ativado em pó (15,0 e 20,0 mg.L⁻¹) e do coagulante PAC (1,0 e 5,0 mg.L⁻¹). Nesta fase, avaliou-se a eficiência de remoção dos compostos orgânicos naturais, turbidez e cor verdadeira.

Os ajustes de pH foram feitos adicionando-se ácido clorídrico 0,1M e/ou hidróxido de sódio 0,1M quando necessário. Nos ensaios de tratabilidade da água, utilizou-se o coagulante policloreto de alumínio 0,1% (v/v), os oxidantes: cloro a 1% (v/v) e permanganato de potássio a 0,01% (m/v).

2.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para a análise dos dados foi aplicada a estatística descritiva e de dispersão (valores máximos, médios, mínimos e desvio padrão). A análise de regressão múltipla (SOKAL e ROHLF, 1979) foi empregada para verificação da dependência entre as características da água bruta com as dosagens do coagulante, elaborando um modelo matemático específico para utilização de policloreto de alumínio.

Os dados da Segunda Fase foram avaliados através do cálculo de eficiência de remoção de acordo com a Equação (1).

$$E (\%) = \frac{x_{AB} - x_{AD}}{x_{AB}} * 100$$

Equação (1)

Onde:

E: Eficiência de remoção das variáveis (turbidez, cor verdadeira, COT e COD)

xAD: Valor da variável para água decantada

xAB: Valor da variável para água bruta

3 RESULTADOS

Os valores médios das variáveis analisadas das amostras coletadas nas tomadas de água TDA1 e TDA3 do Reservatório da Barragem do Ribeirão João Leite estão apresentados nas Tabelas 1 e 2. A turbidez apresentou grandes oscilações, nas duas profundidades. Para a TDA1 os valores estiveram entre 1,9 a 43 uT e para a TDA3, 4,0 a 332 uT. Dado importante, que pode estar correlacionado com a produtividade aquática do reservatório ou com as contribuições da bacia hidrográfica, que, de uma forma ou outra, interfere no sistema de tratamento.

Tabela 1. Valores médios das variáveis físico-químicas da água do Reservatório da Barragem João Leite - TDA1 (junho/2011 a junho/2012)

Parâmetros - TDA1	mínimo	médio	Máximo	CONAMA 357/05*
turbidez (uT)	1,9	16,6	43,0	100,0
cor aparente (uH)	3,8	151,7	330,9	15,0
cor verdadeira (uH)	2,2	23,8	64,9	75,0
pH	6,7	7,4	7,9	6,0 a 9,0
alcalinidade (mg CaCO ₃ .L-1)	35,0	51,8	62,0	NR
matéria orgânica (mg O ₂ .L-1)	0,5	1,6	3,0	NR
COT (mg C.L-1)	1,4	6,4	16,3	NR
oxigênio dissolvido (mg O ₂ .L-1)	5,3	6,6	8,5	≥ 5,0
fósforo total (mg P.L-1)	0,0	0,0	0,2	0,03
nitrogênio amoniacal (mg N.L-1)	0,1	0,2	0,5	1,0
nitrito (mg NO ₂ .L-1)	0,0	0,0	0,1	10,0
nitrito (mg N-NO ₂ .L-1)	0,0	0,0	0,0	1,0
manganês (mg Mn.L-1)	0,0	0,2	0,5	0,1
ferro solúvel (mg Fe.L-1)	0,0	0,4	1,0	0,3
Ferro total (mg Fe.L-1)	0,1	1,8	6,4	0,3
condutividade (µS.cm-1)	99,0	114,5	139,0	NR
sólidos totais dissolvidos (mg.L-1)	54,5	63,0	76,5	500
temperatura água (°C)	21,0	24,2	25,6	-
temperatura ambiente (°C)	21,0	24,9	29,0	-

* Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente Nº 357, de 17 de março de 2005
Valores referenciais para manancial de classe II
Fonte: Os autores (2016).

A Resolução do CONAMA 357/2005 estabelece que para mananciais de classe II, o teor máximo de ferro seja de 0,3 mg Fe L⁻¹. Os teores médios de ferro total e solúvel foi de 0,4 a 94 mg Fe.L⁻¹, vale ressaltar que este parâmetro deve ser levado em consideração na operação de ETAs, por ser um condicionante na escolha de tecnologia de tratabilidade, considerando a possibilidade de haver incompatibilidade no tratamento. Havendo a necessidade de remover este metal, pois o excesso pode causar gosto e coloração à água tratada, o que a torna rejeitável aos consumidores.

Os teores médios de manganês (0,2 a 0,6 mg Mn.L⁻¹) estiveram acima do valor referenciado (0,1 mg Mn.L⁻¹) pelo CONAMA 357/2005. Assim como o ferro, o manganês é um interferente que deve ser levado em conta, ao definir o tipo de tratamento, sua remoção deve ocorrer no processo de coagulação, floculação e sedimentação, por meio de oxidação, de modo que ocorra a precipitação de óxido de manganês nas fases de sedimentação e filtração (DI BERNARDO e SABOGAL PAZ, 2008).

Tabela 2. Valores médios das variáveis físico-químicas da água do Reservatório da Barragem do Ribeirão João Leite - TDA3 (junho/2011 a junho/2012)

Parâmetros – TDA3	mínimo	médio	máximo	CONAMA 357/05*
turbidez (uT)	4,0	48,4	332,0	100,0
cor aparente (uH)	17,8	169,4	234,5	15,0
cor verdadeira (uH)	3,6	21,7	106,5	75,0
pH	6,4	7,2	7,6	6,0 a 9,0
alcalinidade (mg CaCO ₃ .L-1)	53,0	58,0	72,0	NR
matéria orgânica (mg O ₂ .L-1)	1,0	2,2	5,8	NR
COT (mg C.L-1)	1,2	10,5	31,7	NR
oxigênio dissolvido (mg O ₂ .L-1)	1,3	4,5	9,5	≥ 5,0
fósforo total (mg P.L-1)	0,0	0,0	0,1	0,03
nitrogênio amoniacal (mg N.L-1)	0,2	0,7	1,5	1,0
nitrato (mg NO ₃ .L-1)	0,0	0,0	0,1	10,0
nitrito (mg N-NO ₂ .L-1)	0,0	0,0	0,0	1,0
manganês (mg Mn.L-1)	0,1	0,6	1,2	0,1
ferrosSolúvel (mg Fe.L-1)	0,1	0,6	2,6	0,3
ferro total (mg Fe.L-1)	0,6	14,8	94,0	0,3
condutividade (µS.cm-1)	108,0	135,0	150,0	NR
sólidos totais dissolvidos (mg.L-1)	59,4	74,2	82,5	500
temperatura água (°C)	20,5	23,7	25,0	-
temperatura ambiente (°C)	18,0	25,8	29,0	-

* Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente Nº 357, de 17 de março de 2005
Valores referenciais para manancial de classe II
Fonte: Os autores (2016).

As variáveis turbidez e cor aparente foram as que mais impactaram nas dosagens de PAC, É justificável, pois o PAC permite trabalhar em uma ampla faixa de pH. A análise de regressão múltipla possibilitou gerar um modelo matemático para tratabilidade com este coagulante, conforme mostrado na Equação (2). O coeficiente de determinação gerados pelos ensaios com o policloreto de alumínio foi 29,5%, demonstrando o percentual de explicação do modelo.

$$PAC = 1,72 + 0,19pH + 0,001CORA - 0,08TUR - 0,28pH^2 + 0,02COR^2 - 0,05TUR^2 \quad \text{Eq. (2)}$$

Tabela 3. Análise de regressão linear múltipla com os dados dos ensaios de jarreste para dosagem de Policloreto de alumínio (PAC) com os resultados das variáveis independentes antes (pH, COR e TUR) e após (pH2, COR2 e TUR2) a dosagem do coagulante

Variável Dependente: PAC		N: 144	R Múltiplo: 0,543	R2 Múltiplo: 0,295		
R2 Múltiplo Ajustado: 0,264		Erro Padrão Estimado: 0,652				
Variáveis	Coefficiente	Erro Padrão	Coefficiente padrão	Tolerância	T	P (bicaudal)
CONSTANTE	1,720	0,628	0,000		2,737	0,007
pH	0,199	0,308	0,230	0,041	0,646	0,519
CORA	0,001	0,002	0,059	0,198	0,363	0,717
TUR	-0,087	0,028	-0,427	0,274	-3,115	0,002
pH2	-0,238	0,320	-0,258	0,043	-0,744	0,458
COR2	0,020	0,005	0,873	0,088	3,608	0,000
TUR2	-0,055	0,058	-0,210	0,105	-0,953	0,342
Análise de variância						
Fonte	Soma dos quadrados	Df	Quadrado médio	Relação (F)	P	
Regressão	24,404	6	4,067	9,556	0,000	
Remanescente	58,312	137	0,426			

Fonte: Os autores (2016).

O coeficiente de determinação múltiplo (R2) gerado (Tabela 3), define o percentual de explicação para as variações das dosagens usadas do coagulante no ensaio de jarreste. Enquanto os coeficientes padronizados em módulo demonstram a magnitude da variável no modelo e quanto mais próximo de 1 maior sua importância, indicando o sinal (-/+) a relação direta ou positiva e indireta ou negativa, entre a variável dependente e independente.

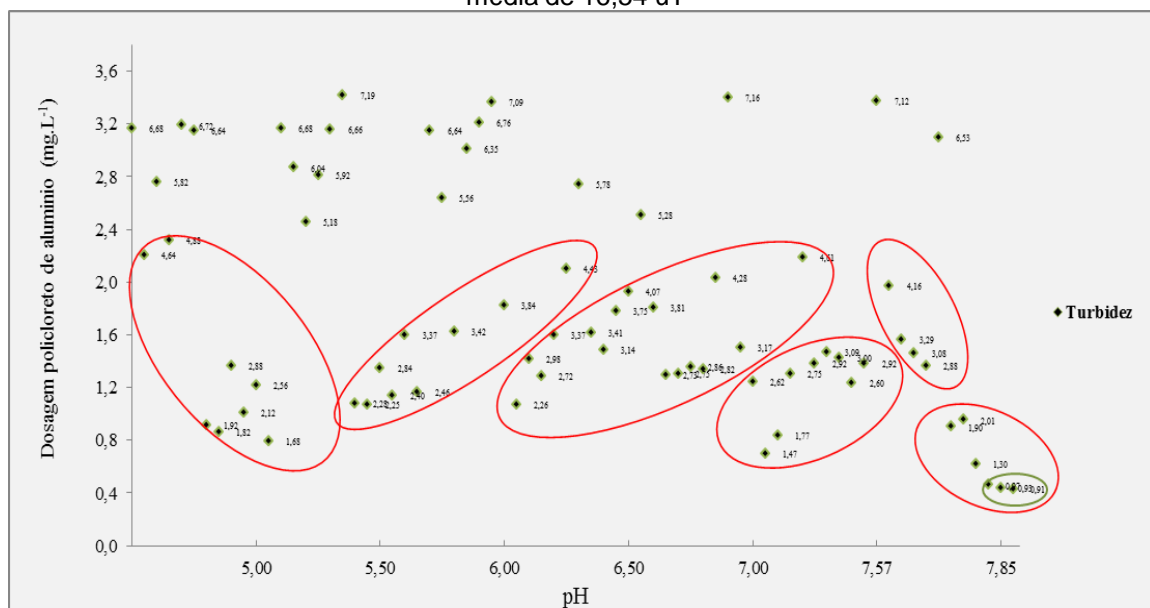
Embora o modelo gerado ter aplicabilidade, vale ressaltar que é específico para águas do RBRJL, considerando as características no momento da coleta e a relação de dependência existente entre as variáveis. Ressalva-se que a tratabilidade é específica a cada água e à concepção (condições) das unidades de tratamento.

O critério usado para a seleção dos valores de controle foi de acordo com Di Bernardo e Sabogal Paz (2008): para turbidez, no máximo 5 uT e para cor aparente, máximo de 15 uH. Para melhor explicar os dados, optou-se por delimitar os valores com o seguinte critério: a) delimitação em vermelho para valores remanescentes mencionados acima e b) para os valores considerados ótimos (até 1,0 uT e 5,0 uH), a demarcação foi em verde.

Os diagramas foram elaborados de forma que representam a relação dos valores remanescentes de turbidez (Figuras 4 e 5) e de cor aparente (Figuras 6 e 7) em função das dosagens do coagulante e do pH de floculação. Sendo o eixo

Y (eixo principal à esquerda) correspondente às dosagens do coagulante (mg.L^{-1}) e no eixo secundário, à esquerda (com valores e escala “sem preenchimento”) os valores de turbidez ou de cor aparente remanescentes e o eixo X equivalente aos valores de pH de coagulação. Na Figura 4 (TDA1), 72,2% dos valores se encontram abaixo do valor de referência (5 uT); o menor valor de turbidez remanescente foi de 0,91 uT, com dosagem de $1,3 \text{ mg.L}^{-1}$ de PAC em pH natural (7,85). Quando a dosagem variou entre 0,9 a $1,3 \text{ mg.L}^{-1}$ os valores de turbidez remanescente foram menores que 1,0 uT.

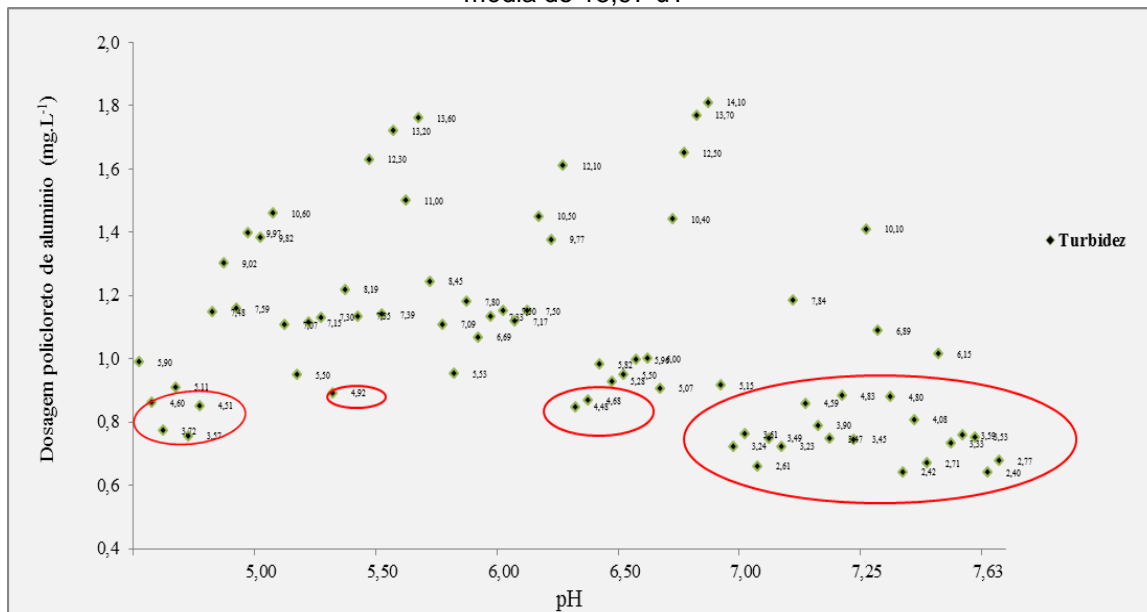
Figura 4. Diagrama de coagulação contendo valores de turbidez remanescente da água após ensaios de coagulação, floculação e sedimentação ($VS = 1,4 \text{ cm.min}^{-1}$) em função da dosagem de policloreto de alumínio e pH de coagulação. Água bruta da TDA1 do RBJL com turbidez média de $16,54 \text{ uT}$



Fonte: Os autores (2016).

Na Figura 5 (TDA3), os menores valores de turbidez remanescentes se concentraram na região de pH de 7,00 e 7,63.

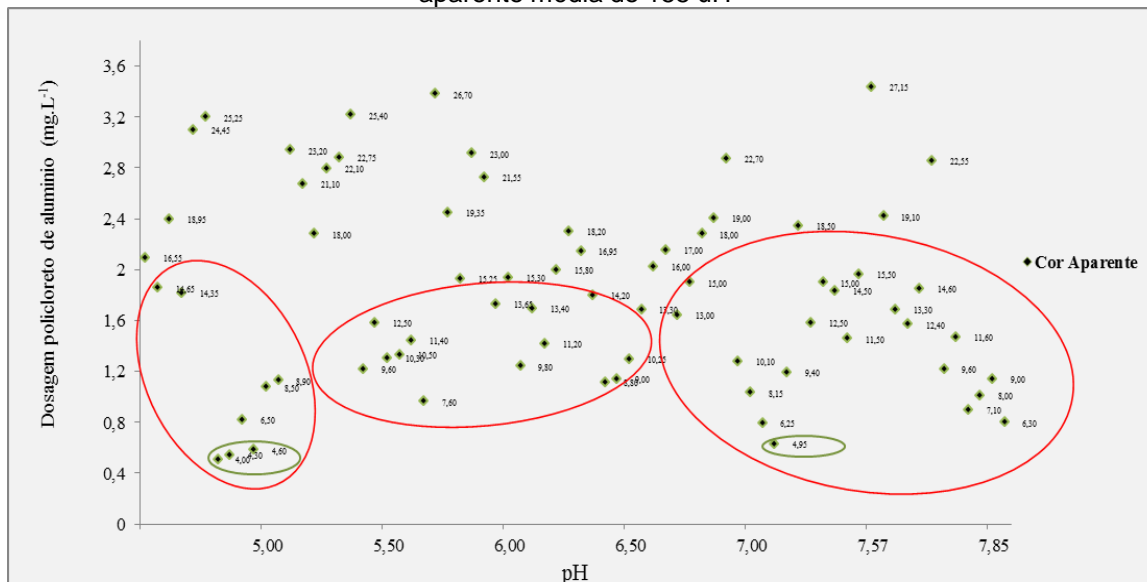
Figura 5. Diagrama de coagulação contendo valores de turbidez remanescente da água após ensaios de coagulação, floculação e sedimentação ($VS = 1,4 \text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$) em função da dosagem de policloreto de alumínio e pH de coagulação. Água bruta da TDA3 do RBJL com turbidez média de 15,97 uT



Fonte: Os autores (2016).

Para a água da TDA1: 59,7% dos valores estiveram abaixo do valor máximo estabelecido como referência (15 uH), conforme representado na Figura 6.

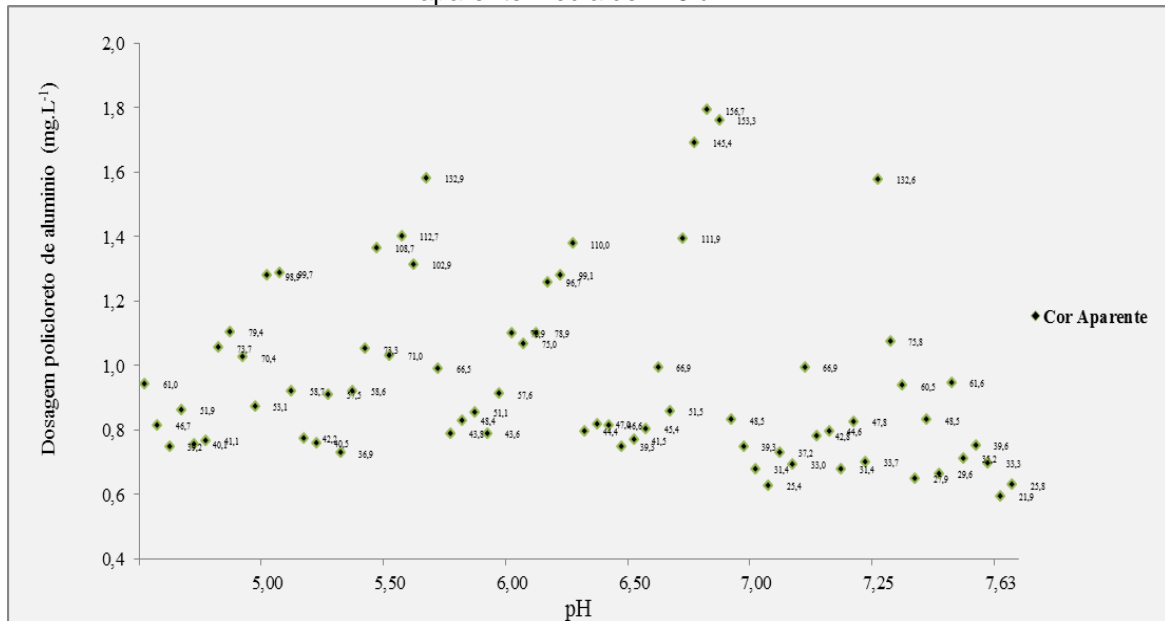
Figura 6. Diagrama de coagulação contendo valores de cor aparente remanescente da água após ensaios de coagulação, floculação e sedimentação ($VS = 1,4 \text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$) em função da dosagem de policloreto de alumínio e pH de coagulação. Água bruta da TDA1 do RBJL com cor aparente média de 155 uH



Fonte: Os autores (2016).

Para a água da TDA3, os valores de cor remanescente estiveram acima do critério estabelecido (15 uH), motivo pelo qual não houve delimitação de intervalo. Nestes ensaios apresentaram flocos leves e dispersos nos jarros, de difícil sedimentabilidade.

Figura 7. Diagrama de coagulação contendo valores de cor aparente remanescente da água após ensaios de coagulação, floculação e sedimentação ($VS = 1,4 \text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$) em função da dosagem de policloreto de alumínio e pH de coagulação. Água bruta da TDA3 do RBJL com cor aparente média de 148 uH



Fonte: Os autores (2016).

Analisando a eficiência da tratabilidade da água, quanto a remoção de turbidez, cor verdadeira, carbono orgânico total e carbono orgânico dissolvido, possibilitou inferir em qual água (TDA1 ou TDA3) apresentou as melhores eficiências. O resumo desta análise se encontra na Tabela 4, em que são apresentados os valores médios de remoção dessas variáveis.

As dosagens ótimas de policloreto de alumínio foram: 1,0, 2,5 e 5,0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ para a água da TDA1 e 1,5 e 1,8 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ para a água da TDA3.

Tabela 4. Percentuais médios de remoção para turbidez, cor verdadeira, COT e COD para as diferentes tratabilidades aplicadas às águas da TDA1 e TDA3

Coagulante	TDA	Remoção (%)			
		turbidez (uT)	cor verdadeira (uH)	COT	COD
policloreto de alumínio	TDA1	65,50	85,10	55,00	57,80
policloreto de alumínio	TDA3	89,50	57,00	82,90	51,70

Fonte: Os autores (2016).

Em análise dos valores médios de remoção apresentados na Tabela 4, considerou-se os melhores resultados com a aplicação de PAC para água da TDA3, onde obteve-se melhores remoções de turbidez (89,5%) e de COT (82,9%). Apesar de obter boa remoção de cor verdadeira (85,1%) da água da TDA1.

4 CONCLUSÕES

O coeficiente de determinação gerado pelos ensaios com o policloreto de alumínio foi 29,5%, demonstrando o percentual de explicação do modelo. Quanto a magnitude das variáveis utilizadas, verificou-se que a cor aparente e a turbidez foram as mais importantes.

Com a aplicação do PAC, 72,2% dos valores se encontram abaixo do valor de referência (5 uT); o menor valor de turbidez remanescente foi de 0,91 uT, com dosagem de 1,3 mg.L⁻¹ de PAC em pH natural (7,85).

Mesmo com baixas dosagens de PAC (1 a 5 mg.L⁻¹), obteve-se boas remoções dos compostos orgânicos em pH ácido (5,00), com teores de carbono orgânico total remanescentes de 0,41 a 6,26 mg C.L⁻¹, carbono orgânico dissolvido de 0,14 a 3,09 mg C.L⁻¹ e cor verdadeira (0,3 a 4,5 uH).

Para as amostras da TDA3, a dosagem de 1,5 mg.L⁻¹ de PAC resultou em uma eficiência de remoção para COT 72,3% a 92,4% e para COD 40% a 84,9%, em pH 5,00, independente do oxidante, mas com melhores resultados quando aplicou-se CAP (15 ou 20 mg.L⁻¹).

Os processos de tratabilidade da água é algo específico a cada realidade. Que este estudo de tratabilidade da água do Ribeirão João Leite, possa ser um meio norteador para motivar novas pesquisas, e que este estudo possa ser reportado a outras localidades.

Valores de COT superiores a 1,0 mg/L C, provocam amarelamento na água no processo final de tratamento, gerando reclamações por parte do consumidor. Conhecendo-se que a água do Reservatório da Barragem do Ribeirão João Leite possui grandes quantidades de COT, ferro e manganês, a maior dificuldade que pode ser encontrada na otimização da tratabilidade é a

incompatibilidade de tecnologias de tratamento. Sendo que a remoção de COT tem melhor eficiência em condições de pH ácido e a remoção de metais (Fe e Mn) em pH alcalino.

Ressalta-se a importância do monitoramento ao longo da bacia hidrográfica do ribeirão João Leite, identificando fontes pontuais e difusas de poluição, as quais fornecerão informações necessárias para ações de gerenciamento ambiental e de políticas públicas referentes à preservação e manutenção da qualidade desse curso hídrico.

AGRADECIMENTOS

À Saneamento de Goiás S.A (SANEAGO) pelo apoio e logística para realização da pesquisa.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) pela bolsa concedida.

REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22th Ed. Washington S.C. 2012.

BRASIL, Normas e Padrões de Potabilidade das Águas destinadas ao consumo humano. Normas Regulamentadoras Aprovadas pela Portaria nº 2.914 – Diário Oficial (da República Federativa do Brasil) Brasília, 2011.

BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA): Resolução Nº 357 - Estabelece a classificação das águas doces, salobras e salinas do Brasil. Diário Oficial (da República Federativa do Brasil) Brasília, 2005.

DI BERNARDO, L.; SABOGAL PAZ, L.P. Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água. Vol I e Vol II. LDiBe: São Carlos, 2008, 1529p.

DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO A. D.; MINILO, A. Florações de algas e de cianobactérias: suas influências na qualidade da água e nas tecnologias de tratamento. LDiBe: São Carlos, 2010, 536p.

FERREIRA FILHO, S. S. Remoção de compostos orgânicos precursores de subprodutos da desinfecção e seu impacto na formação de trihalometanos em águas de abastecimento. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental Vol. 6, Nº 2. ABES: Rio de Janeiro, 2001, pág. 53-60.

FERREIRA FILHO, S. S.; MARCHETTO, M. Otimização multi-objetivo de estações de tratamento de águas de abastecimento: remoção de turbidez, carbono orgânico total e gosto e odor. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental Vol. 11, Nº 1. ABES: Rio de Janeiro, 2006, pág. 7-15.

FRANQUINI, P.E.; JUNIOR, R.B. Estudo de formação e especiação de THM em oxidações com cloro livre em águas de abastecimento com ácidos húmicos. In: 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Recife/PE, 2009. Anais eletrônicos I-279.

GUSMÃO, C.A. e VALSECCHI, J.C. Projeto Básico Ambiental da Barragem e do Reservatório de Regularização e Acumulação do Ribeirão João Leite em Goiânia, Goiás, Brasil. BVSDE. Biblioteca virtual desarrollo sostenible y salud ambiental, 2009. Disponível em <http://www.bvsde.paho.org/sde/opssde/bvsde.shtml>.

NISHI, E. Avaliação da fragmentação da cobertura vegetal na bacia do Ribeirão João Leite, Goiás – Região Centro-Oeste. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Programa de Pós Graduação Stricto Sensu em Ecologia e Produção Sustentável. Goiânia, 2008.

PASCHOALATO, C.F.P.R.; TRIMAILOVAS, M.R.; DI BERNARDO, L. Formação de subprodutos orgânico halogenados nas operações de pré-oxidação com cloro, ozônio e peroxônio e pós-cloração em água contendo substância húmica. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental Vol. 13 nº 3. ABES: Rio de Janeiro, 2008, 313-322.

QIN, J-J.; HTUN Oo, M.; KEKRE, K.A.; KNOPS, F.; MILLER, P. Impact of coagulation pH on enhanced removal of natural organic matter in treatment of reservoir water. Separation and Purification Technology 49, Published by Elsevier B.V., 2006, 295-298.

RABELO, C. G. Mapeamento de áreas vulneráveis para a qualidade das águas superficiais na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite (GO) utilizando técnicas de geoprocessamento. Dissertação (Mestrado) – UFG, Goiás, Goiânia, 2009.

RÄDER, A. S. Utilização de dióxido de cloro como agente desinfetante no tratamento de água para consumo humano – um estudo de caso. In: 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Recife/PE, 2009. Anais eletrônicos I-006.

SANEAGO. Relatório de Monitoramento Intensivo na Área do Reservatório João Leite. Goiânia, 2010.

SANTOS, E. H. M. Comportamento Hídrico na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.

SLOBODA, E.; SANTOS, C.T.; DI BERNARDO, A. D.; VIEIRA, E.M.; DI BERNARDO, L. Eficiência de diferentes coagulantes na remoção de substâncias húmicas aquáticas e estudo comparativo de custos. 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Recife/PE, 2009.

SOKAL, R.R. e ROHLF, F.F. Biometria – Principios y métodos estadísticos em la investigacion biológica. H. Blume Ediciones. Madrid, 1979, 830p.