



Estudos de Caso e Notas

Alerta: Os artigos publicados nesta seção não são avaliados por pares e não são indexados. A intenção da seção ECNT é prover um espaço para divulgação de dados e estudos de interesse local, sem caráter científico. Sendo assim, a Revista Águas Subterrâneas não se responsabiliza pelo conteúdo publicado.

Disclaimer: Articles published in this section are not peer-reviewed and are not indexed. The intention of the ECNT section is to provide a space for the dissemination of data and studies of local interest, with no scientific character. Therefore, Revista Águas Subterrâneas is not responsible for this content.

Concentração de ferro e manganês em águas de abastecimento no município de Crato, Ceará: caracterização e proposta de tratamento

Concentration of iron and manganese in water supply in the municipality of Crato, Ceará: characterization and proposal of treatment

Ana Beatriz Batista de Almeida¹; Priscilla Barbosa de Araújo Silva¹; Mira Raya Paula de Lima¹; Yannice Tatianne da Costa Santos¹; Yanka Wandréia Nogueira Moreira¹✉

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE, Juazeiro do Norte, Ceará.

✉ almeidabeatriz993@gmail.com, priiscilla.b.silva@gmail.com, miraraya.quim@gmail.com, yannice@ifce.edu.br, yanka.ifce8@gmail.com

Resumo

Palavras-chave:

Metais.
Propriedades Organolépticas.
Potabilidade.

O objetivo desta pesquisa consiste na proposição de uma alternativa de tecnologia para a remoção de ferro e manganês em fontes de abastecimento público no município de Crato, Ceará, a partir da avaliação de parâmetros de qualidade de água atuais. A remoção desses compostos torna-se necessária haja vista os problemas associados a eles quando presentes em valores acima dos limites permissíveis. A concentração elevada provoca alterações físicas e químicas na água, como mudança de coloração e odor característico, levando a rejeição ao consumo da água. Diante disto, realizou-se análises físico-químicas em 35 pontos de abastecimento, escolhidos conforme critério de localização e existência de dados anteriores sobre sua qualidade organoléptica, a fim de identificar a concentração destes metais e propor um método compatível para sua remoção e controle eficiente. Para tanto, aplicou-se o teste de Wilcoxon, para avaliar o grau de dispersão dos dados em torno da média de concentração e em seguida ordenou os dados em faixas de concentração. A partir da análise dos resultados, foi recomendado oxidação por hipoclorito de cálcio seguida de filtração em leito de carvão ativado, por ser um dos processos mais eficientes de remoção dos compostos de ferro e manganês solúveis.

Abstract

Keywords:

Metals.
Organoleptic Properties.
Potability.

The objective of this research is to propose a technology alternative for the removal of iron and manganese from public water sources in the municipality of Crato, Ceará, based on the evaluation of current water quality parameters. The removal of these compounds becomes necessary given the problems associated with them when present in values above the allowable limits. The high concentration causes physical and chemical changes in the water, such as color change and characteristic odor, leading to rejection of water consumption. In order to identify the concentration of these metals and to propose a compatible method for its removal and efficient control, the physico-chemical analysis was carried out in 35 supply points, chosen according to the location criteria and the existence of previous data on its organoleptic quality. For this, the Wilcoxon test was applied to evaluate the degree of dispersion of the data around the concentration average and then ordered the data in concentration bands. From the analysis of the results, it was recommended calcium hypochlorite oxidation followed by bed filtration of activated charcoal, as it is one of the most efficient processes for the removal of soluble iron and manganese compounds.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v33i2.29520>

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural que, apesar de ser um bem público, possui valor econômico agregado ao seu uso. Para garantir sua disponibilidade a padrões de qualidade adequados, são necessárias estratégias de controle da qualidade da água baseados em parâmetros estabelecidos pelos órgãos ambientais deliberativos (BRASIL, 1997).

Segundo a Fundação Nacional de Saúde – FUNASA (2014a), existem diversos parâmetros que subsidiam a caracterização da qualidade de um recurso hídrico, estando estes associados a uma série de processos que ocorrem no manancial e em sua bacia de drenagem. Esses parâmetros podem ser classificados em físicos, químicos e biológicos. Para cada parâmetro são definidas as concentrações máximas permitidas das substâncias envolvidas nos processos ambientais, conforme especificado pela Portaria de Consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017, do Ministério da Saúde. Em seu Capítulo V são estabelecidos os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2017).

Quando espécies químicas excedem o valor máximo recomendado, provocam alterações, como mudança de coloração e odor característico. Essas modificações aparentes podem levar a rejeição ao consumo da água, além de possibilitarem o surgimento de risco de surtos de doenças veiculadas pelo meio. Para evitar esse cenário, devem-se seguir os padrões de potabilidade normatizados, assegurando a saúde humana e do meio (PINTO et al., 2011).

Os elementos mais comuns encontrados em águas subterrâneas são ferro e manganês, nas suas formas solúveis e/ou iônicas, devido às características geoquímicas da bacia. Quando em contato com o oxigênio formam precipitados conferindo cor, odor e sabor característicos às águas (NARCISO et al., 2004; LIBÂNIO, 2005; PARRON et al., 2011). Essas condições só são possíveis quando os teores superam os limites máximos estabelecidos pela Portaria de Consolidação nº 05/2017, de 0,3 e 0,1 mg/L para ferro e manganês, respectivamente (BRASIL, 2017). Essas concentrações elevadas tendem a reduzir a aceitação da água pelo consumidor por causar manchas em roupas, pisos e louças sanitárias (FUNASA, 2014a). A presença desses metais pode ocasionar ainda redução na eficiência dos filtros nos poços e incrustações nas tubulações através da deposição do precipitado, reduzindo a vida útil desses equipamentos (OLIVEIRA et al., 2004; TSUTIYA, 2006; ROCHA et al., 2006).

Diante de fontes contaminadas por esses metais, os consumidores buscam fontes alternativas para seu abastecimento. Tais alternativas podem não ser tão seguras, como por exemplo o abastecimento por poços rasos. Geralmente esses dispositivos apresentam água com teores elevados de substâncias tóxicas, como o nitrato e amônia. Isso ocorre devido à vulnerabilidade a contaminação desses poços pelas atividades antrópicas (PINCANÇO et al., 2002; KEMERICH et al., 2011; KUMAR et al., 2017).

Existem muitos métodos seguros para evitar os danos ocasionados por ferro e manganês, por meio da remoção e/ou controle desses compostos. Moruzzi e Reali (2012) e Di Bernardo et al. (2017) citam as principais tecnologias empregadas: formação de precipitado e filtração, troca iônica, estabilização com polifosfatos, aeração-filtração, cloração-filtração e oxidação com permanganato de potássio seguida de filtração em rocha calcária.

No município de Crato, Ceará, o abastecimento público de água é realizado por meio da captação de água em poços profundos e/ou fontes gerenciados pela Sociedade Anônima de Água e Esgoto do Crato – SAAEC. O tratamento realizado pela Companhia se restringe à cloração em razão da ausência de contaminação por *Escherichia coli*, conforme recomendado pela Portaria de Consolidação nº5/2017 (BRASIL, 2017). Aliado a isso, os processos biofísicos e geoquímicos de interação água/rocha e de infiltração lenta conferem qualidade ao recurso (LIMA et al., 2011).

A água distribuída em alguns pontos do município supracitado tem apresentando um aspecto amarelado, em virtude dos teores elevados de ferro e manganês, causando transtornos à população abastecida. Além dessa problemática, há uma elevada demanda por manutenção das tubulações da rede de distribuição em razão das incrustações relacionadas a presença desses metais. A empresa já faz uso de produtos químicos a base de ortopolifosfato, que atuam no controle de cor da água, turbidez, controle de corrosão/desincrustação de redes e complexação dos íons ferro e manganês, sem causar danos à saúde dos usuários. Porém, o problema persiste em algumas fontes de abastecimento.

Frente a esse contexto, o presente estudo visa caracterizar as fontes de abastecimento público do município de Crato quanto à presença excessiva de ferro e manganês e propor técnica para o controle e remoção desses metais, com o intuito de ofertar água para a população de acordo com os padrões de potabilidade vigentes.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletadas amostras de água bruta em 35 pontos de abastecimento do município de Crato – CE, divididos entre poços tubulares e nascentes. Os pontos foram escolhidos conforme critério de localização e existência de dados anteriores de análises físico-químicas. Em cada ponto foram realizadas três coletas de água, com intervalo de um mês entre elas com o intuito de identificar a concentração dos metais ao longo do tempo.

As amostras foram coletadas com auxílio de garrafas de polietileno de 500 mL, acondicionadas em um recipiente térmico e encaminhadas para a análise dos parâmetros pH, temperatura, ferro e manganês no Laboratório de Química do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE, Campus Juazeiro do Norte.

Os valores dos parâmetros pH e temperatura foram medidos por meio de um pHmetro digital de bancada, modelo TECNOPON mPA 210. O ensaio de ferro baseou-se no método da fenantrolina descrito pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012). A análise de manganês seguiu a NBR 13739/1996 (ABNT, 1996), que prescreve o método colorimétrico do persulfato para a determinação de manganês total em amostras de águas naturais, mineral e de mesa, de abastecimento, efluentes domésticos e industriais, em concentrações superiores a 0,04 mgMn.L⁻¹. Esses métodos têm como princípio a espectrofotometria de absorção molecular, apresentando medidas de absorvância na região do UV-visível.

A determinação da concentração dos metais foi realizada pelo método de calibração externa que, nesse contexto, consiste na determinação da absorvância de pelo menos cinco soluções de concentração conhecida. O coeficiente de correlação mínimo adotado foi igual a 0,99.

Para cada campanha de amostragem aplicou-se o teste de normalidade Shapiro-Wilk, a um nível de significância de 5%. A distribuição normal dos dados irá auxiliar na determinação do tipo de teste estatístico a ser empregado (Nascimento et al., 2015). Caso a normalidade seja provada, recomenda-se a execução do teste t de Student. Do contrário, sob a suposição de assimetria da distribuição dos dados, aplica-se o teste não-paramétrico de Wilcoxon. O teste estatístico adotado será realizado para amostra única.

O teste t de Student para amostra única busca avaliar a veracidade de uma hipótese com base na média dos valores das amostras de concentração de ferro e manganês. Nesse procedimento são confrontadas as hipótese nula e alternativa. A primeira defende que os valores de concentração dos metais são menores que o limiar da Portaria de Consolidação nº 05/2017. A segunda alega que as amostras apresentam valores maiores que o máximo permitido por lei. A rejeição da primeira hipótese ocorre quando há uma grande diferença entre o que se espera sobre esta hipótese e o que se observa na amostra for grande demais para que se possa ser razoavelmente atribuída ao acaso. Neste caso, o resultado é dito como estatisticamente não-significante (FREUND, 2004).

No teste de Wilcoxon para uma amostra são testadas duas hipóteses a um nível de significância de 5%, com o objetivo de verificar se essas apresentam comportamento semelhante a mediana das amostras. A hipótese nula irá afirmar que os valores de concentração de ferro e manganês são iguais ao limiar exigido e a hipótese alternativa será de que os teores dos metais são maiores que o máximo estabelecido.

Ambos testes estatísticos resultam em um p-valor, que mede a evidência contra a hipótese nula. Se o valor de p for menor ou igual ao nível de significância, a hipótese nula é rejeitada. Caso contrário, a hipótese nula não é rejeitada (LEVINE et al., 2015).

Após execução do teste, aplicou-se uma distribuição de frequência, para reordenar os dados de concentração em classes numéricas. Essa reorganização auxilia na visualização global das informações (FREUND, 2004). Os intervalos de concentração que apresentaram valores superiores aos da legislação foi indicado um tratamento de controle e remoção de ferro e manganês. A escolha da técnica baseou-se na concentração dos metais, pH e temperatura das amostras.

Para efeito de execução dos testes estatísticos foram analisadas as três coletas separadamente a fim de apresentar resultados mais fidedignos e não sobrepor nenhum valor.

O trabalho estatístico foi realizado com auxílio da ferramenta estatística Action Stat integrado ao software Microsoft Excel®, utilizando os procedimentos descritos por Levine et al. (2015).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização das amostras

Analisando os teores de ferro e manganês nas três amostras (FIGURA 1 e 2), verificou-se que 16 pontos (15,24%) apresentaram concentração de ferro acima do limite permitido pela Portaria de Consolidação nº 5, enquanto que apenas 6 (5,71%) apresentaram teores de manganês elevados. Logo, 84,76% das amostras seguem o padrão organoléptico para ferro e 94,29% atendem o parâmetro manganês. Os percentuais foram calculados com base nas três coletas realizadas.

A variação dos dados entre coletas pode estar associada ao acúmulo de ferro e manganês nas tubulações. Segundo Martins e Sperling (1997) esses metais oxidam em contato com o oxigênio e, por possuírem baixo coeficiente de solubilidade, precipitam no interior das tubulações, ocasionando obstruções das mesmas.

A SAAEC já identificou diversos setores da rede de distribuição da cidade com problemas de incrustação e obstrução das tubulações. Os usuários prestavam queixa da falta de água na região e, na inspeção da rede, a equipe técnica encontrou trechos obstruídos por metais que impediam a passagem da água.

Figura 1 - Concentração de ferro identificadas nas três coletas

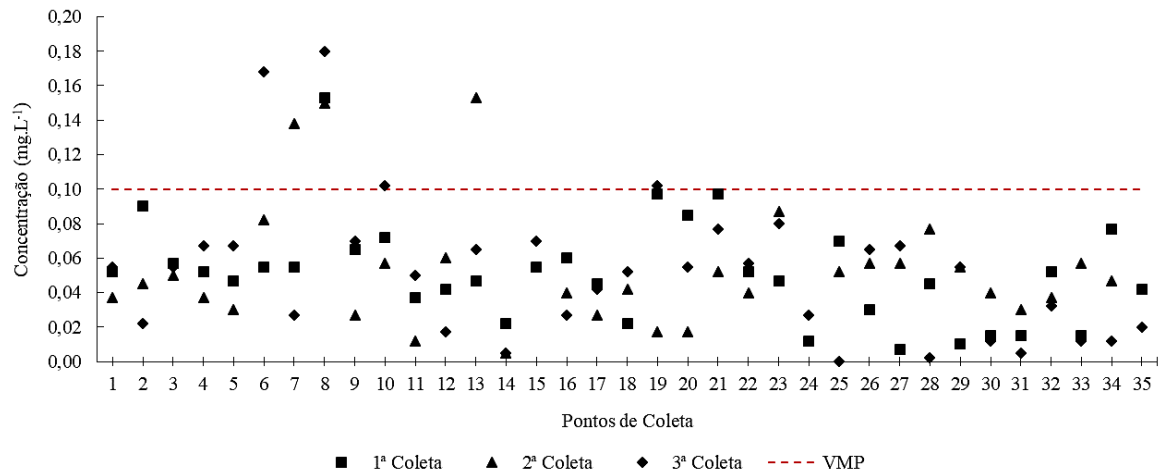
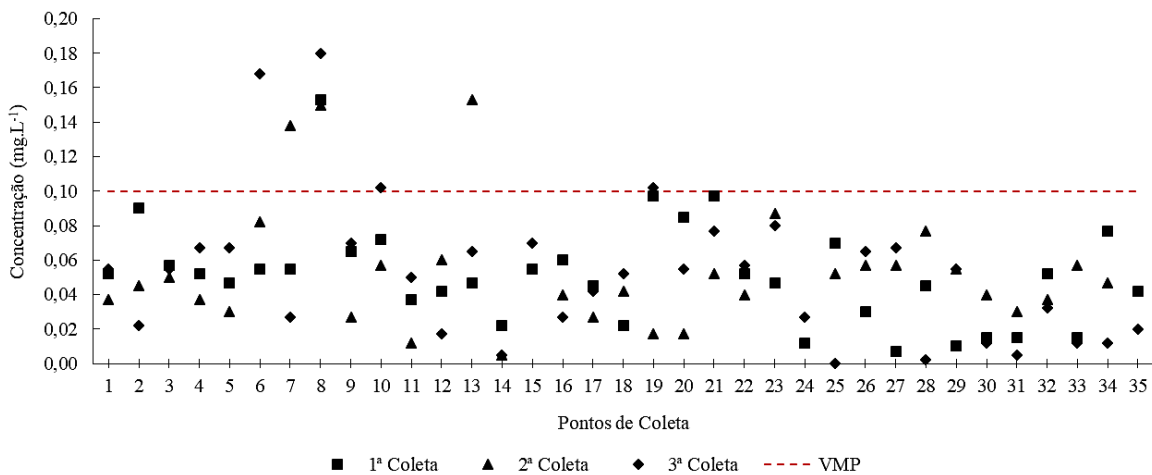


Figura 2 - Concentração de manganês identificadas nas três coletas



Outro indício a ser considerado é a possibilidade do carreamento de partículas do solo para o interior dos pontos de abastecimento em decorrência das chuvas. Entre os meses de dezembro de 2018 a janeiro de 2019, período de coleta da terceira campanha, foram registradas médias pluviométricas acima de 200,0 mm na região (FUNCEME, 2019). É possível que esse fator influencie no resultado final das análises, haja vista que, nos eventos de chuva, grandes quantidades de detritos são carregadas para os corpos d'água, interferindo consideravelmente na qualidade do recurso (XAVIER, 2005).

Em um estudo realizado por Veríssimo e Cavalcante (2000) que apresenta dados sobre a qualidade e uso das águas subterrâneas na Região do Cariri, a água de abastecimento do município do Crato enquadrava-se dentro dos padrões de potabilidade para ferro e manganês. Todavia, os municípios de Juazeiro do Norte e Barbalha apresentavam elevados teores desses metais, ultrapassando o limite máximo permitido por lei. O trabalho de Lopes et al. (2005) corrobora com a informação supracitada.

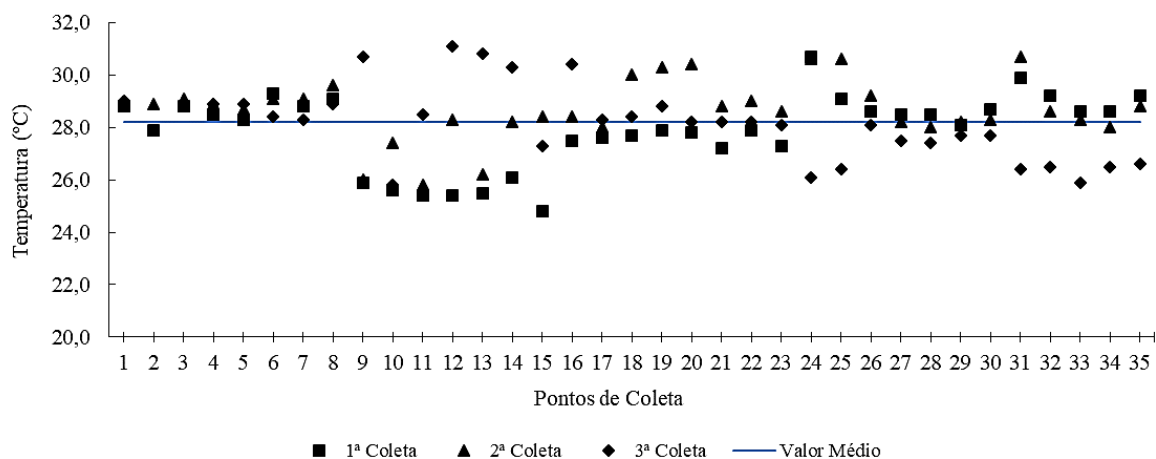
A divergência dos dados da literatura com a análise atual pode ser justificada pelo aumento do número de poços escavados em locais litologicamente mais favoráveis para a presença de elevadas concentrações dos metais. A formação Rio Batateira, a qual localiza-se o sistema aquífero responsável pelo fornecimento de água região do Cariri, possui uma matriz composta por quartzo vítreo incolor com grãos de aderência ferruginosa, feldspato com predominância de potássio intemperizado e depósitos manganosos e argiloferruginosos (Cajazeiras, 2007; Machado et al., 2007; Mendonça et al., 2008;). Assim, a perfuração de poços na região pode liberar ferro em solução no aquífero devido as características litológicas da região.

As deficiências técnicas na construção dos poços com relação a sua cimentação inadequada também podem ser consideradas causas do aumento dos teores dos metais nas águas. Albrecht e Carvalho (2004) comentam que, dentre outros fatores, a cimentação falha do espaço anular aliado as fraturas das rochas tornam os poços vulneráveis à contaminação. Em um estudo realizado em Belém - PA, Picanço et al. (2002) identificaram que a cimentação inadequada propiciou a captação conjunta de água dos aquíferos da Formação

Pirabas e de outros, mais superficiais, pertencentes ao Grupo Barreiras e litologicamente mais favoráveis a presença de ferro. Análise semelhante poderia ocorrer na região de Crato, com captação conjunta de aquíferos mais superficiais com teores elevados de metais dissolvidos na água.

No que se refere a temperatura, verificou-se que o intervalo de valores variou entre 24,8 e 31,1 °C. A temperatura média dos pontos foi de 28,2 °C. A Figura 3 ilustra a faixa de valores e a média observada.

Figura 3 - Temperatura da água de abastecimento do município de Crato – CE

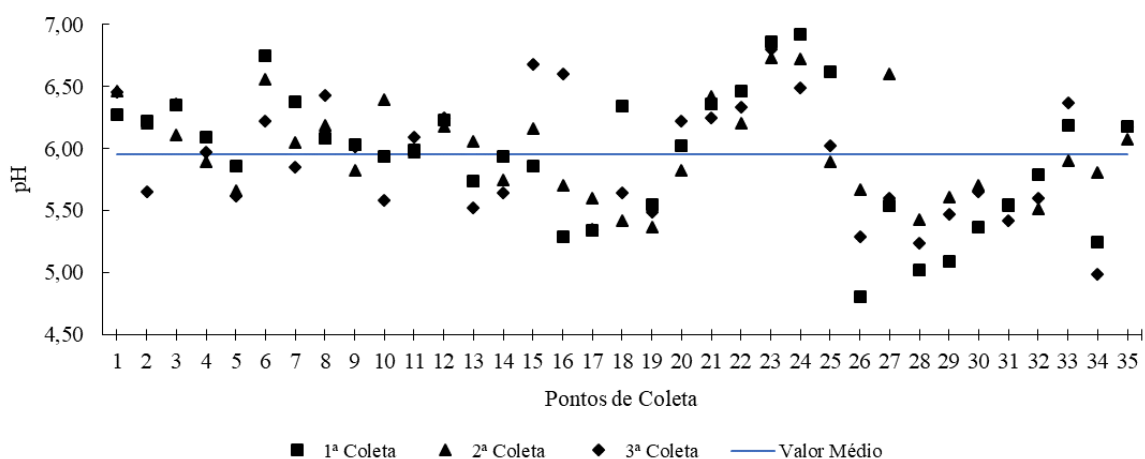


Segundo a Portaria de Consolidação nº 05/2017, não existem valores limites definidos para a temperatura da água. Nota-se que não há grandes variações de temperatura entre coletas, devido às características dos mananciais subterrâneos que apresentam baixa amplitude térmica (OLIVEIRA, 2004). Os mananciais superficiais também não apresentam vasta diferença, uma vez que são regulados por fatores como latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade (CETESB, 2018). A localização, o período de coleta e a quadra chuvosa favoreceram as baixas amplitudes térmicas.

A análise de temperatura e a compreensão dos seus resultados são importantes, visto sua influência nas reações químicas e bioquímicas que ocorrem na água assim como a solubilidade dos gases dissolvidos e sais minerais. Altas temperaturas diminuem a solubilidade dos gases e aumenta a dos sais minerais (MACÊDO, 2004).

Na figura a seguir (FIGURA 4) estão apresentados os valores de pH observados.

Figura 4 - pH da água de abastecimento do município de Crato – CE



A recomendação prevista pela Portaria de Consolidação nº 05/2017 é que o pH da água seja mantido entre 6,0 e 9,5. As amostras analisadas apresentaram valores de pH na faixa de 4,81 a 6,92, e um valor médio de 5,95, indicando uma água levemente ácida. Contudo, este intervalo de valores não apresenta inconvenientes a saúde humana, uma vez que diversas bebidas e frutas com valores mais baixos de pH são usualmente ingeridos (LIBÂNIO, 2010).

A acidez da água pode interferir na diminuição da vida útil das tubulações por corrosão e prejudicar a qualidade da água através da dissolução de produtos oriundos da própria corrosão e/ou do meio externo, como consequência da quebra da estanqueidade das tubulações (FREITAS et al., 2001; FEITOSA, 2008; LI et al., 2016). Tal fator pode influenciar na contaminação da água por sais de ferro e manganês oriundos do solo.

Conjuntamente, o acompanhamento do pH é necessário visto a aplicação eficiente do tratamento para remoção dos metais (MORUZZI; REALI, 2012).

4.2. Análise estatística

O teste de Shapiro-Wilk acusou uma distribuição anormal dos resultados para praticamente todas as campanhas analisadas (p -valor < 0,05), resultando no emprego do teste não-paramétrico de Wilcoxon para amostra única.

A terceira campanha para a análise de ferro apresentou distribuição normal, em razão dos valores apresentarem-se próximos uns aos outros, porém, para execução do teste, adotou-se uma distribuição anormal para todas as campanhas.

Na Tabela 1 são apresentados os resultados obtidos com o teste de Wilcoxon na avaliação dos teores de ferro e manganês.

Tabela 1 – Resultados do teste de Wilcoxon

Campanha	P-valor	
	Ferro	Manganês
1 ^a	1	1
2 ^a	1	1
3 ^a	0,97	1

A partir da análise dos resultados, observa-se que em todas as coletas o p -valor é maior que o nível de significância (0,05). Neste contexto, a hipótese alternativa não é aceita pelo teste. Levine et al. (2015) afirmam que a não aceitação dessa hipótese não é indicativo de comprovação da hipótese nula e o fato de não rejeitar a hipótese nula não significa que ela está correta. Assim, pode-se concluir que não há dados suficientes para provar que os valores de concentração dos metais são estatisticamente inferiores ou superiores aos valores máximos permitidos pela legislação. As Figuras 5 e 6 representam graficamente a variação dos dados observados para ferro e manganês nas três coletas realizadas.

Figura 5 - Distribuição de concentração de ferro nas três campanhas

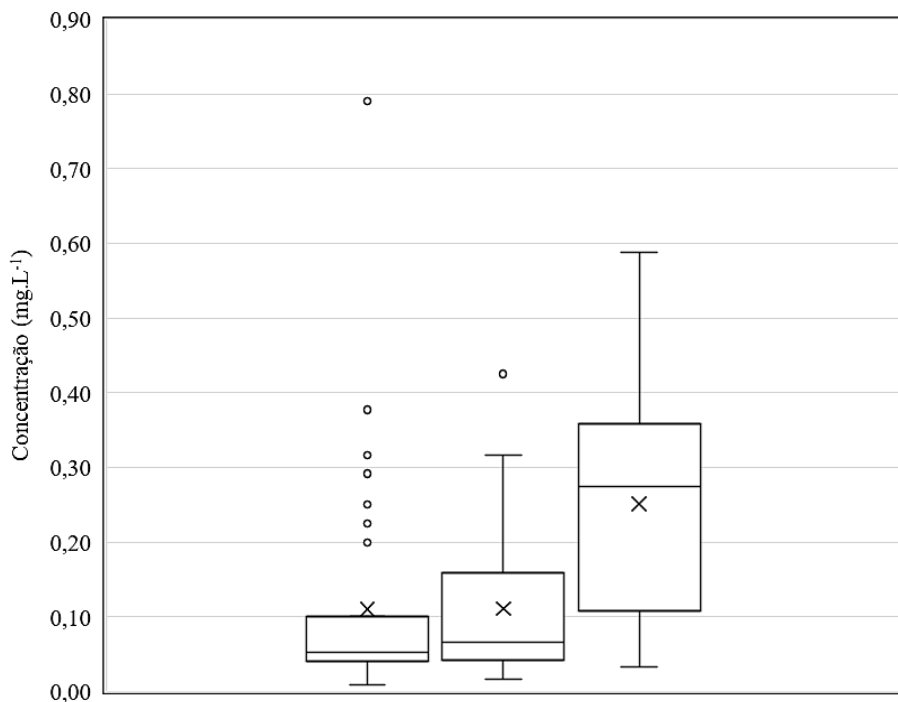
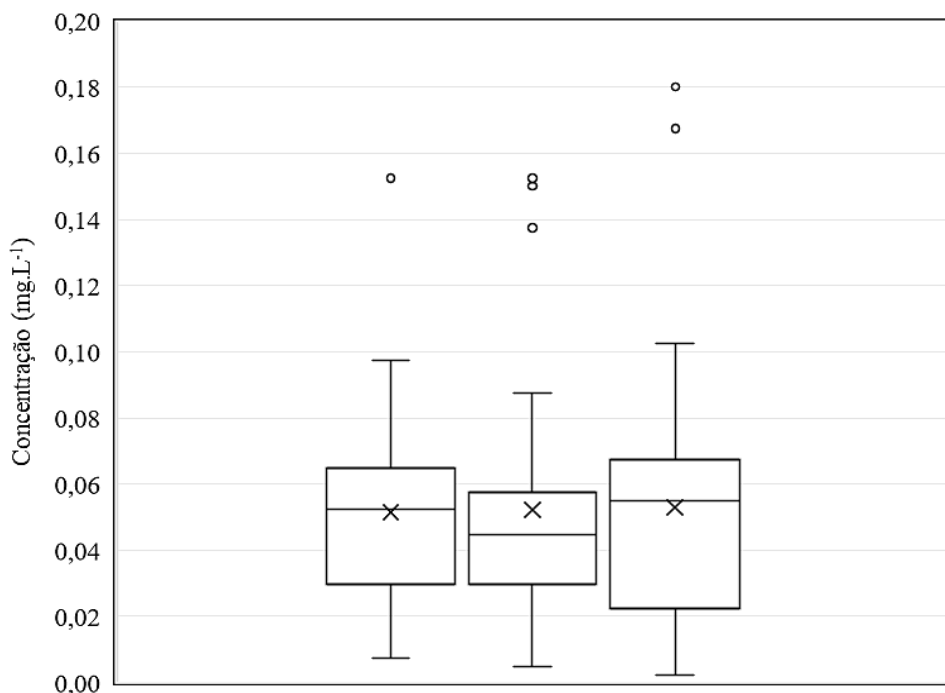


Figura 6 Distribuição de concentração de manganês nas três campanhas



Os dados que apresentaram grande afastamento dos demais valores da série são considerados outliers e, portanto, desconsiderados da análise. Acredita-se que a presença dos outliers levou a cometer o erro do Tipo II, quando a hipótese nula é falsa e não é rejeitada.

Alguns dos dados com comportamento discrepante referem-se aos valores de concentração acima do limiar da legislação. Esses não devem ser descartados da análise, haja vista que a água de abastecimento permanece fora dos padrões organolépticos, estando imprópria para o consumo humano. Tais pontos de abastecimento devem passar por processos de tratamento a fim de dispor um recurso de qualidade para a comunidade atendida por esses mananciais.

A Tabela 2 apresenta os pontos de coleta tidos como outliers e seus respectivos valores de concentração de ferro e manganês observados nas três campanhas.

Tabela 2 - Valores de outliers nas amostras de ferro e manganês

Campanha	Ferro		Manganês		
	Outliers	Concentração	Outliers	Concentração	
1ª	22	0,38	1ª	8	0,15
	26	0,25		7	0,14
	27	0,32	2ª	8	0,15
	28	0,23		13	0,15
	31	0,79	3ª	6	0,17
	32	0,20		8	0,18
	33	0,29	-	-	-
2ª	4	0,43	-	-	-

Os valores de concentração da terceira coleta para a análise de ferro não apresentaram outliers, em razão da série apresentar valores próximos uns aos outros. Contudo há pontos com valores superiores ao recomendado pela legislação nessa campanha.

Diante disso, para melhor compreensão dos dados, utilizou-se a distribuição de frequência, organizando os valores de todas as campanhas em intervalos de concentração. Na Tabela 3 é apresentada a distribuição de frequência a partir dos valores de concentração de ferro e manganês nas amostras em mg.L⁻¹.

Tabela 3 – Intervalos de concentração de ferro e manganês nas amostras em mg.L⁻¹

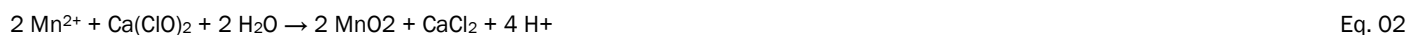
Ferro		Manganês	
Classe	Frequência	Classe	Frequência
0,008 - 0,165	67	0,002 - 0,038	36
0,165 - 0,321	25	0,038 - 0,073	51
0,321 - 0,478	9	0,073 - 0,109	12
0,478 - 0,634	3	0,109 - 0,145	1
0,634 - 0,790	1	0,145 - 0,180	5

4.3. Proposição de tratamento

Considerando a necessidade de implementação de tratamento verificada nos pontos de abastecimento, será sugerido uma técnica de tratamento para a remoção de ferro e manganês. Dentre os métodos atualmente empregados optou-se pela oxidação química seguida de filtração, por ser um dos processos mais eficientes de remoção dos compostos de ferro e manganês solúveis (MADEIRA, 2003). A SAAEC utiliza o hipoclorito de cálcio como agente desinfectante nas águas e, por conveniência, foi adotado também para a oxidação dos metais.

De forma semelhante, Bresaola Junior e Maciel (2001) atestaram a eficiência do hipoclorito de sódio como agente oxidante na remoção de sais de ferro e manganês a valores abaixo do recomendado por lei.

Na oxidação do ferro e manganês pelo hipoclorito de cálcio ocorrem as seguintes reações:



Por meio da análise estequiométrica das equações, calculou-se que para oxidação de 1 mg/L de ferro e 1 mg/L de manganês são requeridas, respectivamente, 0,64 mg/L e 1,30 mg/L de hipoclorito de cálcio. As dosagens requeridas do oxidante são proporcionais às concentrações dos metais. A Tabela 4 resume os valores requeridos do oxidante a partir dos valores médios observados de concentração dos metais nas amostras.

Tabela 4 – Dosagens requeridas do oxidante para as faixas de concentração dos metais em mg.L⁻¹

Concentração	Dosagem requerida	Concentração	Dosagem requerida
Fe	Ca(ClO) ₂	Mn	Ca(ClO) ₂
0,32 - 0,47	0,20 - 0,30	0,11 - 0,14	0,14 - 0,18
0,47 - 0,63	0,30 - 0,40	0,14 - 0,18	0,18 - 0,23
0,63 - 0,79	0,40 - 0,51	-	-

Para uma menor dosagem do oxidante Reali et al. (2007) sugerem uma faixa de pH alta, por favorecer os efeitos do processo de oxidação. No presente caso, faz-se necessário a adição de uma etapa para ajuste de pH com hidróxido de sódio (NaOH) ou óxido de cálcio (CaO).

O tratamento poderá ser realizado por meio de um clorador de pastilhas adaptado, instalado na saída do poço. O equipamento é abastecido por uma solução de hipoclorito de cálcio com a concentração desejada (FUNASA, 2014b).

Após definidas as dosagens aplicadas do oxidante, recomenda-se um tempo de 15 a 20 minutos para que o precipitado forme partículas filtráveis (MORUZZI et al., 2001; WILSON et al., 2009).

A remoção do precipitado deverá ser feita por um filtro de carvão ativado, através da retenção das partículas metálicas no meio granular. Estudos apontam a larga eficiência de remoção de ferro e manganês diante desse método (STAHL, 1996; MORUZZI; REALI, 2012). Alves (2010) ainda acrescenta que o uso do carvão ativado auxilia na remoção dos trihalometanos, compostos cancerígenos, oriundos da cloração da matéria orgânica.

Ao final do filtro, insere-se uma etapa de desinfecção, garantindo o residual para a proteção sanitária e polimento da água fornecida (DEZOTTI, 2008).

Faz-se necessário ainda simulações posteriores para adequação dos parâmetros de dosagem, dimensionamento dos dispositivos de tratamento e valores adicionais de reagente que a empresa necessitará. Além disso, é necessário avaliar a viabilidade de construção de um único sistema de tratamento para remoção dos metais em pontos de abastecimentos próximos.

5. CONCLUSÕES

Através do presente estudo foi possível concluir que as amostras de água analisadas em sua maioria (84,76% para ferro e 94,29% para manganês) atendem ao padrão organoléptico para consumo humano, recomendado pela Portaria de Consolidação nº 05/2017. Contudo, há pontos (15,24% para ferro e 5,71% para manganês) em que a água de abastecimento permanecem fora dos padrões organolépticos, estando imprópria para o consumo humano, havendo a necessidade do emprego de tratamentos.

A correlação entre os parâmetros físicos das amostras, as características construtivas dos pontos de abastecimento, tempo e obstruções nas redes, a litologia local e os eventos climáticos constituíram possíveis fontes de contaminação.

Dessa forma pode-se inferir que uma alternativa viável para o tratamento da água nos pontos de contaminação é o uso de hipoclorito de cálcio para a precipitação de ferro e manganês seguido de uma filtração com carvão ativado para remoção do material.

REFERÊNCIAS

ALVES, C. Tratamento de Águas de Abastecimento. 3ª ed. Publindústria, Edições técnicas. Porto, 2010.

ALBRECHT, K. J.; CARVALHO, M. A. A relação entre o revestimento, proteção sanitária de poços tubulares e o manto de alteração de rochas com os riscos ambientais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, XIII. Anais eletrônicos. Cuiabá: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas – ABAS, 2004.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Water Environment Federation*. Standard methods for the examination of water and wastewater, 22 ed., 2012.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13739/1996: Água – Determinação de manganês total – Método colorimétrico do persulfato. Rio de Janeiro, 1996.

BRASIL. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde.

BRASIL. Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989 e dá outras providências.

BRESAOLA JUNIOR, R.; MACIEL, N. M. A utilização de reatores meio granular, de fluxo ascendente, e o emprego de permanganato de potássio e cloro na remoção de ferro e manganês em águas de abastecimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21º., 2001, João Pessoa, Anais. João Pessoa: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, 2001.

CAJAZEIRAS, C. C. A. Qualidade e uso das águas subterrâneas e a relação com doenças de veiculação hídrica, Região de CRAJUBAR – CE. Dissertação (Mestrado em Geologia). Universidade Federal do Ceará – UFC, Fortaleza, 2007.

CETESB. Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo 2017. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB. 301 p. São Paulo, 2018.

DEZOTTI, M. Processos e Técnicas para o Controle Ambiental de Efluentes Líquidos. 360 p.: il. Série Escola Piloto de Engenharia Química COPPE/UFRJ. v. 5 – Rio de Janeiro, 2008.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B.; VOLTAN, P. E. N. Métodos e técnicas de tratamento de água. 3. ed. São Carlos: LDiBe Editora, 2017. 360 p.

FEITOSA, A. C. Hidrogeologia: conceitos e aplicações. 3ª ed. rev. e ampl. – Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. 812 p.

FREITAS, M. B.; BRILHANTE, O. M.; ALMEIDA, L. M. Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 3, p. 651-660, 2001.

FREUND, J. E. Estatística aplicada: economia, administração e contabilidade. Tradução Claus Ivo Doering. – 11. Ed. – Porto Alegre: Bookman, 2006.

FUNCEME. Calendário das chuvas no Estado do Ceará. 2019. Disponível em: <<http://funceme.br/app/calendario/produto/regioes/media/anual?data=2012-1-1>>. Acesso em: 10 mar. 2019.

FUNASA. Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS. Ministério da Saúde: Fundação Nacional de Saúde. Brasília, 2014a.

FUNASA. Manual de cloração de água em pequenas comunidades utilizando o clorador simplificado desenvolvido pela Funasa. Ministério da Saúde: Fundação Nacional de Saúde. Brasília, 2014b.

KEMERICH, P. D. C.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; DESCOVI FILHO, L. L. V.; VOLPATO, F.; SAUCEDO, E. M. Determinação da vulnerabilidade natural à contaminação da água subterrânea no Bairro Nossa Senhora do Perpétuo Socorro em Santa Maria - RS. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 3, p.85-98, 2011

KUMAR, V.; BHARTI, P. K.; TALWAR, M.; TYAGI, A. K.; KUMAR, P. Studies on high iron content in water resources of Moradabad district (UP), India. **Water Science**, v. 31, n. 1, p. 44-51, 2017.

LEVINE, D. M.; STEPHAN, D. F.; KREHBIEL, T. C.; BERENSON, M. L. Estatística: teoria e aplicações: usando o Microsoft® Excel em português. Tradução Teresa Cristina Padilha de Souza. 6ª ed. – Rio de Janeiro: LTC, 2015. 804 p.

LIBÂNIO, M. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. Campinas: Átomo, 2005. 444 p.

LI, M.; LIU, Z.; CHEN, Y.; HAI, Y. Characteristics of iron corrosion scales and water quality variations in drinking water distribution systems of different pipe materials. **Water Research**, v. 106, n. 3, p. 593-603, 2016.

LOPES, C. R. M.; CAVALCANTE, I. N.; GUERRA JR, W. G.; DIAS, F. W. C. Qualidade das águas subterrâneas no Vale do Cariri – Área em Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha – Estado do Ceará, Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS, XIV., 2005, Ribeirão Preto. Anais eletrônicos. Ribeirão Preto: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas – ABAS, 2005.

MACÊDO, J. A. B. Águas & águas. 3ª ed. Belo Horizonte: CRQ-MG, 2007. 1027 p.

MACHADO, C. J.; SANTIAGO, M. M. F.; MENDONÇA, L. A. R.; FRISCHKORN, H.; MENDES FILHO, J. Hydrogeochemical and Flow Modeling of Aquitard Percolation in the Cariri Valley-Northeast Brazil. *Aquatic Geochemistry*. v. 13, p. 187-196, 2007.

MADEIRA, V. S. Desenvolvimento de um carvão adsorvente para remoção de íons ferro em águas naturais. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Santa Catarina, 2003.

MARTINS, M. L. N.; VON SPERLING, E. Dinâmica do ferro e do manganês no hipolímio do reservatório Serra Azul em Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19., Foz do Iguaçu, 1997. Anais eletrônicos II-080. Rio de Janeiro, ABES. p. 1525-1536

MENDONÇA, L. A. R.; SANTIAGO, M. O.; FRISCHKORN, H.; SASAKI, J. M. Problemas de cálcio na água de abastecimento de Nova Olinda – CE. **Engenharia Sanitária e Ambiental (Online)**. v. 13, n. 3, p. 298-305, 2008.

MORUZZI, R. B.; REALI, M. A. P. Oxidação e remoção de ferro e manganês em águas para fins de abastecimento público ou industrial – uma abordagem geral. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 4, n.1, 2012.

MORUZZI, R. B.; PATRIZZI, L. J.; REALI, M. A. P. Remoção de ferro e manganês complexados com ácido húmico presentes em águas para abastecimento utilizando a flotação In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa, Anais. João Pessoa: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, 2001

NARCISO, M. G.; GOMES, L. P. Qualidade da água subterrânea para abastecimento público na Serra das Areias, Aparecida de Goiânia – GO. **Revista Técnica da Sanepar**, Curitiba, v. 21, n.21, p. 4-18, 2004.

NASCIMENTO, D. C.; TIBANA, R. A.; MELO, G. F.; PRESTES, J. Testes de normalidade em análises estatísticas: uma orientação para praticantes em ciências da saúde e atividade física. **Revista Mackenzie de Educação Física e Esporte**, v. 14, n. 2, p. 73-77, 2015.

OLIVEIRA, D. A.; SCHMIDT, G.; FREITAS, D. M. Avaliação do teor de ferro em águas subterrâneas de alguns poços tubulares, no Plano Diretor de Palmas - TO. In: Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 29, San Juan, 22-27, 2004.

PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H. F.; PEREIRA, C. M. Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água - Colombo: Embrapa Florestas, 2011.

PICANÇO, F. E. L.; LOPES, E. C. S.; SOUZA, E. L. de. Fatores responsáveis pela ocorrência de ferro em águas subterrâneas da região metropolitana de Belém/PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, XII., 2002, Santa Catarina. Anais eletrônicos. Santa Catarina: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas – ABAS, 2002.

PINTO, F. R.; BARBOSA, M. M. C.; NUNES, A. P.; LOPES, L. G.; AMARAL, L. A.; TORRES, H. L. H. Presença de Metais em Água de Fontes de Abastecimento durante Época de Chuvas. In: CONGRESSO MUNDIAL DE ÁGUA, XIV., 2011, Porto de Galinhas. Anais eletrônicos. Porto de Galinhas, 2011.

REALI, M. A. P.; MORUZZI, R. B.; PATRIZZI, L. J. Comparing Sedimentation and Dissolved Air Flotation (DAF) for organic iron compounds removal focusing coagulation/flocculation process. **Minerva**, v. 4, n. 1, p. 11-18, 2007.

ROCHA, M.; BARCELLOS, C. M.; RODRIGUES, L. S.; COSTA, C. C.; OLIVEIRA, P. R.; SILVA, I. J.; JESUS, É. F. M.; ROLIM, R. G. Avaliação da qualidade da água e percepção higiênico-sanitária na área rural de Lavras, Minas Gerais, Brasil, 1999-2000. **Cad. Saúde Pública**, v. 22, n. 9, p. 1967-1978, 2006.

STAHL, N. S. P. Influência do uso de carvão ativado em pó no pré-tratamento de águas de abastecimento. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil - Campinas, SP: [s.n.], 1996.

TSUTIYA, M. T. Abastecimento de Água. 3ª ed. São Paulo: Departamento de Engenharia e Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. 643 p.

VERÍSSIMO, L. S.; CAVALCANTE, I. N. As águas subterrâneas do CRAJUBAR, região do Cariri – Estado do Ceará – Brasil. In: Joint World Congress on Groundwater, 1st, 2000. Anais eletrônicos. Fortaleza, 2000.

WILSON, A.; PARROTT, K.; ROSS, B. Iron and manganese in household water. **Virginia Cooperative Extension**. Virginia Polytechnic Institute and State University, Petersburg Publication 356-478, 2009.

XAVIER, C. F. Avaliação da influência do uso e ocupação do solo e de características geomorfológicas sobre a qualidade das águas de dois reservatórios da região metropolitana de Curitiba – Paraná. Dissertação (Mestrado em Solos). Universidade Federal do Paraná – UFPR. Curitiba, 2005.