



MESTRADO PROFISSIONAL

**Sustentabilidade
Socioeconômica Ambiental**



DISSERTAÇÃO

**Determinação de metais em águas de abastecimento público: um
estudo de caso, município de Ouro Preto.**

Alisson Martins Ramos

OURO PRETO – MG

2016



Universidade Federal de Ouro Preto
Programa de Pós-Graduação em
Sustentabilidade Socioeconômica Ambiental
Mestrado Profissional



Determinação de metais em águas de abastecimento público: um estudo de caso, município de Ouro Preto.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), como requisito necessário para a obtenção do título de Mestre em Sustentabilidade Socioeconômica Ambiental.

Área de Concentração: Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Robson José de Cássia Franco Afonso

OURO PRETO – MG

2016

R175d

Ramos, Alisson Martins.

Determinação de metais em águas de abastecimento público [manuscrito]: um estudo de caso, município de Ouro Preto / Alisson Martins Ramos. - 2016.
95f.: il.: color; grafs; tabs; mapas.

Orientador: Prof. Dr. Robson José de Cássia Franco Afonso.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Núcleo de Pesquisas em Recursos Hídricos. Sustentabilidade Socioeconômica Ambiental.

1. Água potável - Contaminação. 2. Água - Reutilização. 3. Metais. 4. Saúde pública. 5. Fluorescência de raios X. I. Afonso, Robson José de Cássia Franco. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 628.161.1

Catálogo: www.sisbin.ufop.br

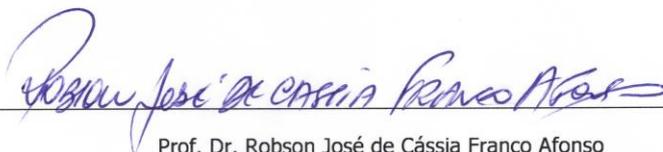
Universidade Federal de Ouro Preto

Mestrado em Sustentabilidade Socioeconômica Ambiental

Determinação de metais em águas de abastecimento público: um estudo de caso, município de Ouro Preto

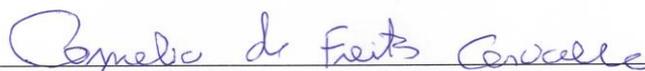
Alisson Martins Ramos

Dissertação defendida e aprovada, em 21 de março de 2016, pela banca examinadora constituída pelos seguintes membros:



Prof. Dr. Robson José de Cássia Franco Afonso

Universidade Federal de Ouro Preto



Prof. Dr. Cornélio de Freitas Carvalho

Universidade Federal de Ouro Preto



Prof. Dr. Maria Berenice Cardoso Martins Vieira

Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me guiar e por todas as bênçãos que tenho recebido em minha vida.

Aos meus familiares e amigos pelo apoio e exemplo dados, por contribuírem para minha formação e por todo o incentivo às minhas atividades.

À minha amada esposa Luciana por me apoiar, ouvir, motivar, incentivar e compartilhar todos os momentos, angústias, dificuldades, alegrias e vitórias.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Robson José de Cássia Franco Afonso, por todo o auxílio e suporte realizados durante a construção deste trabalho.

À Secretaria de Estado de Saúde / SRS Belo Horizonte por todo o suporte dado durante a realização do curso de mestrado: Terezinha Rios, Célia Barbosa Guerra, Fabiano Célio e a todos que de alguma forma contribuíram para este trabalho. Agradeço em especial a Paulo Cesar dos Reis, por compartilhar sua experiência e por todo companheirismo nas atividades de vigilância em saúde ambiental.

Aos colegas da FUNED pelo suporte dado às ações de vigilância, em especial, Kleber Baptista, Valéria Maia e Nilton Silva.

Aos profissionais da Secretaria Municipal de Saúde de Ouro Preto e do Serviço Municipal de Água e Esgoto de Ouro Preto pelo suporte às atividades de campo e informações que subsidiaram a realização deste trabalho.

Aos colegas e professores da UFOP e UFMG por contribuírem em minha trajetória acadêmica e profissional.

Aos colegas do PROAMB-UFOP pelo suporte na realização das análises: André Barros, Julia Freitas, e em especial, Amanda Quaresma.

Por fim, a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

“O real não está na saída nem na chegada! Ele se dispõe para a gente é no meio da travessia.”

Guimarães Rosa

RESUMO

Ao longo das últimas quatro décadas, a preocupação com a qualidade da água para consumo humano vem ganhando destaque no Brasil. Neste período foram criados e aperfeiçoados marcos legais pertinentes ao tema, com o objetivo de reduzir os riscos à saúde humana ao atribuir diferentes responsabilidades aos atores sociais envolvidos. O município de Ouro Preto – MG está inserido no Quadrilátero Ferrífero, que em razão de suas características geológicas possibilitam a ocorrência de determinados metais e outros elementos químicos perigosos à saúde em seus mananciais hídricos. Além disto, atividades antrópicas, como a mineração, agricultura e atividades domésticas e industriais podem alterar as características da água. O serviço de abastecimento de água do município conta com estruturas de tratamento convencional e simplificado, em diferentes localidades. Diante da possibilidade de ocorrência destes elementos nas águas destinadas ao abastecimento público do município acima do valor máximo permitido pela legislação brasileira, este trabalho buscou realizar sua identificação e quantificação de elementos por meio da utilização da técnica de Fluorescência de Raios – X por Reflexão Total (TXRF). Além disto, o trabalho busca discutir a eficiência das estruturas de tratamento de água em remover estes elementos de forma a atender os parâmetros de potabilidade vigentes. As análises de água tratada de sistemas com tratamento simplificado apresentaram resultados insatisfatórios para os elementos ferro e manganês, nas localidades de Santa Rita de Ouro Preto e Mota, enquanto todas as análises de água tratada oriundas de tratamento convencional apresentaram resultado dentro dos parâmetros.

Palavras-chave: água para consumo humano, tratamento de água, metais na água, saúde pública, fluorescência de raios - X por reflexão total.

ABSTRACT

Over the past four decades, the concern with the quality of drinking water has been gaining attention in Brazil. In this period have been created and improved legal frameworks relevant to the theme, in order to reduce risks to human health besides contributing to assign different responsibilities to social actors involved. The city of Ouro Preto - MG is inserted in the Iron Quadrangle, which due to its geological characteristics allow the occurrence of certain metals and other hazardous chemicals in their water sources. In addition, human activities such as mining, agriculture and domestic and industrial activities can change the characteristics of the water. The water services of the municipality account with structures of conventional and simplified water treatments, in different localities. Faced with the possibility of occurrence of hazardous chemicals in water intended for municipal public supply above the maximum permitted limits, established by the Brazilian law, this study attempts to make the identification and quantification of metals by using the technique of total reflection X-ray fluorescence (TXRF). In addition, the work discusses the efficiency of water treatment facilities to remove these elements to meet the current potability parameters. The treated water analysis systems with simplified treatment showed unsatisfactory results for the removal of iron and manganese elements in the localities of Santa Rita de Ouro Preto and Mota, while all water analyzes treated originated from conventional treatment showed results within the law limits.

Keywords: drinking water, water treatment, metals in water, public health, total reflection X – ray fluorescence.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1: Localização do município de Ouro Preto.
- Figura 2: Município de Ouro Preto e municípios limítrofes.
- Figura 3: Distribuição territorial dos distritos de Ouro Preto.
- Figura 4: Locais de coleta
- Figura 5: Locais de coleta por bacia hidrográfica
- Figura 6: ETAs Jardim Botânico e Itacolomi (sede)
- Figura 7: Captação principal da ETA Jardim Botânico
- Figura 8: ETA Jardim Botânico
- Figura 9: Captação da ETA Itacolomi
- Figura 10: ETA Itacolomi
- Figura 11: ETAs Funil e Vila Alegre (distrito de Cachoeira do Campo)
- Figura 12: Barragem de captação da ETA Funil
- Figura 13: ETA Funil
- Figura 14: Captação da ETA Vila Alegre
- Figura 15: ETA Vila Alegre
- Figura 16: ETA Amarantina
- Figura 17: Barragem de captação da ETA Amarantina
- Figura 18: ETA Amarantina
- Figura 19: ETA Antônio Pereira
- Figura 20: Barragem da captação principal da ETA Antônio Pereira
- Figura 21: ETA Antônio Pereira
- Figura 22: SAA Lavras Novas
- Figura 23: Captação principal de Lavras Novas
- Figura 24: Reservatório de concreto de Lavras Novas
- Figura 25: SAA Santa Rita de Ouro Preto
- Figura 26: Captação superficial de Santa Rita de Ouro Preto
- Figura 27: SACs Miguel Burnier e Mota (distrito de Miguel Burnier)
- Figura 28: Captação de Mota
- Figura 29: Captação de Miguel Burnier
- Figura 30: Etapas de preparo da amostra

Figura 31: Aparelho TXRF S2 *Picofox*® do LCMEM – UFOP

Figura 32: Espectro de análise realizada pelo aparelho TXRF S2 *Picofox*® do LCMEM – UFOP

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores máximos permitidos para metais e elementos traço na Portaria MS 2.914, de 2011.

Tabela 2: Informações sobre os distritos de Ouro Preto.

Tabela 3: Estações de Tratamento de Água do município de Ouro Preto.

Tabela 4: Análises de controle realizadas pelo prestador de serviço de abastecimento de água municipal (2009-2013) da ETA Antônio Pereira

Tabela 5: Análises de controle realizadas pelo prestador de serviço de abastecimento de água municipal (2009-2013) da ETA Itacolomi

Tabela 6: Análises de controle realizadas pelo prestador de serviço de abastecimento de água municipal (2009-2013) da ETA Jardim Botânico

Tabela 7: Análises de controle realizadas pelo prestador de serviço de abastecimento de água municipal (2009-2013) da ETA Funil

Tabela 8: Análises de controle realizadas pelo prestador de serviço de abastecimento de água municipal (2009-2013) da ETA Vila Alegre

Tabela 9: Análises de controle realizadas pelo prestador de serviço de abastecimento de água municipal da ETA Amarantina

Tabela 10: Comparativo do número de amostras mensais entre as duas versões da Diretriz Nacional do Plano de Amostragem do Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água Para Consumo Humano, referente aos parâmetros Cloro Residual Livre e Turbidez.

Tabela 11: Comparativo do número de amostras mensais entre as duas versões da Diretriz Nacional do Plano de Amostragem do Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água Para Consumo Humano, referente ao parâmetro Coliformes Totais.

Tabela 12: Comparativo do número de amostras mensais do município de Ouro Preto entre as duas versões da Diretriz Nacional do Plano de Amostragem do Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água Para Consumo Humano, referente aos parâmetros Cloro Residual Livre, Turbidez e Coliformes Totais.

Tabela 13: Amostras de vigilância da qualidade da água realizadas pela Secretaria Municipal de Saúde de Ouro Preto.

Tabela 14: Percentual de cumprimento da Diretriz Nacional do Plano de Amostragem de monitoramento de Cloro Residual Livre, Turbidez e Coliformes Totais, por ano.

Tabela 15: Resultados de análises de metais e elementos traço de vigilância realizadas em sistemas de abastecimento do município realizadas em 2013

Tabela 16: Locais de coleta

Tabela 17: Locais de coleta com coordenadas geográficas por bacia hidrográfica

Tabela 18: Resultados de análises de água bruta

Tabela 19: Resultados de análises de água tratada

Tabela 20: Distribuição de amostras fora do padrão segundo tipo de água

Tabela 21: Distribuição de amostras de água tratada fora do padrão segundo tipo de tratamento

Tabela 22: Percentual de remoção de manganês, ferro e cobre

Tabela 23: Percentual de remoção de zinco, arsênio, cromo e chumbo

Tabela 24: Valores máximos da Resolução CONAMA 357 e Portaria 2.914

Tabela 25: Quadro comparativo entre os resultados deste trabalho e a literatura consultada

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

BNH – Banco Nacional de Habitação

CENEPI – Coordenação Nacional de Epidemiologia

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DGOP – Diretoria Geral das Obras Públicas da Província

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde

FUNED – Fundação Ezequiel Dias

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LCMEM – Laboratório de Caracterização Molecular e Espectrometria de Massas

µg/L – Microgramas por litro

µL – Microlitro

mg/L – Miligramas por litro

MS – Ministério da Saúde

OMS – Organização Mundial de Saúde

PAC – Policloreto de Alumínio

pH – Potencial Hidrogeniônico

PLANASA – Plano Nacional de Saneamento

PMSB – Plano Municipal de Saneamento Básico

PMOP – Prefeitura Municipal de Ouro Preto

PVC – Policloreto de Vinila

QF – Quadrilátero Ferrífero

RMBH – Região metropolitana de Belo Horizonte

SAA – Sistema de Abastecimento de Água

SAC – Solução Alternativa Coletiva

SEMAE – Serviço Municipal de Água e Esgoto de Ouro Preto

SES-MG – Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais

SISAGUA – Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano

SMS – Secretaria Municipal de Saúde

SRS-BH – Superintendência Regional de Saúde de Belo Horizonte

SUS – Sistema Único de Saúde

SVS – Secretaria de Vigilância em Saúde

TBO – Tarifa Operacional Básica

TXRF – Reflexão Total por Fluorescência de Raios-X

uT – Unidade de Turbidez

UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto

VIGIAGUA – Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água Para Consumo Humano

VMP – Valor Máximo Permitido

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
A QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO.....	19
A CRISE DO MODELO DE FINANCIAMENTO NOS ANOS 1990 E O ATUAL CENÁRIO INSTITUCIONAL.....	22
ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO: RISCOS À SAÚDE.....	24
O PROGRAMA VIGIAGUA.....	26
OS IMPACTOS DOS ELEMENTOS NA SAÚDE HUMANA.....	27
ARSÊNIO.....	28
FERRO.....	29
MANGANÊS.....	30
COBRE.....	31
CROMO.....	31
ZINCO.....	32
CHUMBO.....	32
MERCÚRIO.....	33
TECNOLOGIAS DE REMOÇÃO DE METAIS E ELEMENTOS TRAÇO NA ÁGUA.....	34
O MUNICÍPIO DE OURO PRETO.....	35
O ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE OURO PRETO.....	40
AÇÕES DE VIGILÂNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO NO MUNICÍPIO DE OURO PRETO.....	45
3. OBJETIVOS.....	52
OBJETIVO GERAL.....	52
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	52
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	53
PERÍODO DE COLETA.....	53
MATERIAIS UTILIZADOS.....	53
LOCAIS DE COLETA.....	54
PROCEDIMENTOS DE PREPARO E ANÁLISE.....	70
O MÉTODO DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X POR REFLEXÃO TOTAL (TXRF)	72

VALIDAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE	74
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	85
6. REFERÊNCIAS	87

1. INTRODUÇÃO

É crescente a preocupação com a qualidade da água para consumo humano. Diversos esforços têm sido feitos para que as populações tenham acesso à água de qualidade. Atores sociais diversos, como governo, sociedade civil, empresas e instituições de pesquisa têm atuado para aprimorar instrumentos que regulamentam o uso da água em seus diferentes contextos.

A água possui características dinâmicas, que podem ser modificadas por inúmeros fatores. As propriedades físicas e organolépticas da água para consumo humano têm relação com a litologia e geomorfologia das áreas que compõem uma bacia hidrográfica. Por exemplo, locais com estrutura cárstica podem elevar a dureza da água. As características da água também podem sofrer alterações que se relacionam com ações humanas como a mineração, agricultura e atividades domésticas e industriais.

O município de Ouro Preto possui suas bacias de captação inseridas no Quadrilátero Ferrífero (QF), cujas características geológicas possibilitam a ocorrência natural de determinados metais como ferro, manganês, alumínio, e semimetais, como o arsênio. Neste contexto, os sistemas de abastecimento de água devem apresentar estruturas de tratamento que consigam remover satisfatoriamente estes elementos. Os tratamentos devem considerar os aspectos específicos da bacia hidrográfica à qual está inserido garantindo qualidade da água fornecida à população (CAPITANI, 2007; FERREIRA e PÁDUA, 2006).

Com o esforço de garantir a qualidade da água para consumo humano no Brasil, houve uma grande evolução nos marcos legais nos últimos quarenta anos. Foram criadas leis e portarias pelo setor saúde que vêm paulatinamente inserindo parâmetros físico-químicos, organolépticos e microbiológicos de qualidade, muitos deles com valores de referência baseados nos guias da Organização Mundial de Saúde (OMS). Os parâmetros de potabilidade saltaram de 36, em 1990, para 84 atualmente. As ações descritas na legislação possuem caráter intersetorial, onde diferentes atores possuem atribuições complementares e específicas (BRASIL, 2011; 2012; FREITAS e FREITAS, 2005; HELLER e REZENDE, 2008; LIBÂNIO, 2010; QUEIROZ, 2012).

O município de Ouro Preto possui em funcionamento seis Estações de Tratamento de Água (ETAs), e mais de vinte sistemas de abastecimento com tratamento simplificado, onde ocorre somente o processo de desinfecção. Estes sistemas com tratamento simplificado ocorrem em distritos, pequenas localidades e também na sede municipal. Nesta última, as captações com tratamento simplificado complementam o abastecimento realizado pelas ETAs.

Em conformidade com a legislação vigente, foram realizados pelo órgão responsável pelo sistema de abastecimento de água público no município de Ouro Preto, o Serviço Municipal de Água e Esgoto (SEMAE) análises semestrais físico-químicas das águas de abastecimento. Em determinadas ETAs os valores encontrados para alguns parâmetros foram superiores aos máximos permitidos pela Portaria 2.914/2011, particularmente para os elementos ferro e manganês. Além disto, a Vigilância em Saúde realizou análises em sete sistemas de abastecimento do município no período de 2013, também encontrando valores acima do permitido para o elemento ferro.

Como no município também há diversos sistemas de tratamento simplificado de pequeno porte, sem a realização de análises periódicas de metais e semimetais na água, e que não operam com o tratamento de água convencional, mais eficiente em sua remoção, destaca-se a importância da identificação da presença destes elementos na água fornecida a população. Há ainda no município casos onde os pontos de captação superficial se situam em proximidades de *sites* de mineração, ressaltando a importância da identificação e quantificação de elementos na água.

Portanto, diante da possibilidade de ocorrência de determinados elementos, como arsênio, cobre, cromo, ferro, manganês e zinco acima dos limites pré-estabelecidos nas águas de abastecimento público no município de Ouro Preto, o presente trabalho busca identificá-los e quantificá-los, e ainda avaliar se as estruturas de tratamento de água em funcionamento são eficientes em removê-los para concentrações inferiores às máximas permitidas pela legislação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

A qualidade da água para consumo humano no Brasil vem ganhando relevância nas atuais políticas públicas, relacionando-se diretamente à saúde pública e à preservação ambiental. Essa preocupação se traduziu em aparatos legais como a Lei 9.433, de 1997 (Lei das Águas), da Portaria MS 1.469, de 2000 (aprova a norma de qualidade da água para consumo humano), e da Lei 11.445, de 2007 (Lei do Saneamento Básico) (BRASIL, 1997, 2000 e 2007).

A partir da década de 1970, com o Plano Nacional de Saneamento (PLANASA), notou-se um significativo aumento do número de habitantes com acesso aos serviços de abastecimento de água tratada, especialmente nos núcleos urbanos. Enquanto a cobertura em abastecimento de água se manteve praticamente estável entre as décadas de 1960 e 1970, ficando abaixo de 40% da população urbana atendida, este percentual mais que dobrou entre as décadas de 1970 e 2000, ultrapassando a marca de 80% de cobertura (HELLER E REZENDE, 2008).

A exposição à poluição ambiental pode ser citada como uma exemplificação para o processo de inter-relação da saúde com o ambiente. Inúmeros poluentes dispersos no ambiente advêm da atividade humana, que podem ser acumulados em diferentes compartimentos ambientais, como água, ar, solo e alimentos. O contato humano com estes contaminantes gera a sua exposição, podendo ocorrer diversos efeitos sobre a saúde, de acordo com a toxicidade, a intensidade da exposição e a suscetibilidade individual. A partir do contato com contaminantes das águas pode acarretar em efeitos negativos diversos sobre a saúde, como o desenvolvimento de doenças e agravos, e até mesmo a morte. O desenvolvimento econômico, o crescimento populacional, as mudanças tecnológicas, a organização social e política são, em muitos casos, a origem desses problemas (BRASIL, 2011b).

O Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água, implementado pelo Ministério da Saúde em 1986 através da Divisão de Ecologia Humana e Saúde Ambiental, promoveu a revisão da Portaria 56/Bsb/77, cabendo às Secretarias Estaduais de Saúde promoverem a discussão em âmbito estadual. Nos casos de falta de consenso entre as propostas, o Ministério optou por adotar as diretrizes da OMS. Deste processo foi originada a Portaria GM 36, de

1990. Alguns anos após a sua vigência, foram verificados avanços, em especial quanto ao reconhecimento do papel do setor saúde nas atividades de vigilância da qualidade da água para consumo humano, bem como da responsabilidade por parte dos prestadores de serviços. Durante este processo também houve a estruturação do SUS – Sistema Único de Saúde, através da Constituição Federal de 1988 e da Lei 8080/90 (regulamentação do SUS), reforçando a questão da vigilância da qualidade da água para consumo humano, com ações descentralizadas.

Um importante fator dificultador do controle da qualidade da água para consumo humano no período foi o vazio institucional e a crise financeira pós PLANASA - Plano Nacional de Saneamento. Neste período priorizava-se a ampliação e manutenção dos sistemas, a fim de atender à crescente demanda, deixando em um segundo plano o investimento em capacitação de recursos humanos e o controle da qualidade da água distribuída.

Contudo, apesar dos avanços na legislação, não houve disponibilização de recursos humanos e materiais suficientes para o crescimento e consolidação das vigilâncias e laboratórios de saúde pública, responsáveis pelo exercício da vigilância da qualidade de água para consumo humano (QUEIROZ, 2011).

No ano de 1995 ocorreram importantes alterações nos novos guias da Organização Mundial de Saúde – *Guidelines for drinkink-water quality* (WHO, 2011), publicações que nortearam a legislação nacional referente aos parâmetros de qualidade da água para consumo humano. Houve a inclusão de substâncias químicas com risco à saúde, o aumento de parâmetros de aceitação, regulamentação de agentes desinfetantes e produtos secundários da desinfecção, e ainda a revisão de diversos VMPs de parâmetros físico-químicos e bacteriológicos.

Assim, ocorria a necessidade de revisão da Portaria GM 36/90, realizada pela CENEPI/FUNASA, e que culminou na Portaria 1469/2000, que ampliou o conceito de controle da qualidade da água, implicando em, dentre outras ações, no cumprimento de um plano de amostragem mínimo, desde o manancial até o ponto de consumo. Outras importantes contribuições se referem às responsabilidades junto ao setor saúde e de informações ao público consumidor (posteriormente regulamentada pelo Decreto 5440/2005) (GOMES, 2004).

A Portaria 518, de 2005, apenas acrescentou a questão das atribuições dos entes federativos quanto às responsabilidades do setor saúde no que tange ao controle e vigilância da qualidade da água, deixando inalteradas as demais definições, parâmetros e responsabilidade relativos à água para consumo humano.

Por fim, no final de 2011, com dois anos de atraso, foi criada a Portaria 2.914, após um longo processo de revisão, além de duas consultas públicas realizadas no sítio eletrônico do Ministério da Saúde. Algumas definições foram alteradas, como a distinção entre água potável e água para consumo humano. Água potável é definida como aquela que atenda ao padrão de potabilidade estabelecido e que não ofereça riscos à saúde, e água para consumo humano, como a água potável destinada à ingestão, preparação e produção de alimentos e à higiene pessoal, independentemente da sua origem. Também foram inseridas definições de intermitência, interrupção, rede de distribuição, dentre outras (BRASIL, 2011).

Foram inseridos nesta Portaria novos parâmetros, como Níquel, na tabela de substâncias químicas, com valor máximo permitido de 0,07 mg/L, em consonância com o valor recomendado pela OMS; 1,2 Dicloroetano (utilizado como solvente e insumo na produção de solventes); Di(2-etilhexil) ftalato (utilizado na fabricação de PVC flexível); 1,2 diclorobenzeno e 1,4 diclorobenzeno (substâncias decorrentes de poluição industrial e degradação/produção de herbicidas), além dos agrotóxicos Aldicarbe + Aldicarbe sulfona + aldicarbe sulfóxido, Carbendazim + benomil, Carbofurano, Clorpirifós + clorpirifós-oxon, Diuron, Mancozebe, Metamidofós, Parationa Metílica, Profenofós, Tebuconazol e Terbufós.

Outros parâmetros foram alterados, como cloreto de vinila (utilizado na fabricação de PVC, com seu VMP reduzido), Tetracloroeto de Carbono (empregado na fabricação de produtos cloro fluorcarbonatados utilizados como refrigerantes, dispersantes de espumas, solvente, tintas e plásticos, que podem estar presentes também como impurezas em produtos de cloro utilizados para desinfecção) e Tricloroetano (utilizado em materiais de limpeza). Também foram reduzidos os valores máximos permitidos para turbidez na saída do tratamento. Além disto, o texto da Portaria está parcialmente em consonância com a Lei do Saneamento (Lei 11.445/2007) e com o Decreto 7.217/2010, que trata dos Planos de Recursos Hídricos. A

Portaria também destaca a importância da observação dos Planos de Segurança da Água recomendados pela OMS (BRASIL, 2012).

A CRISE DO MODELO DE FINANCIAMENTO NOS ANOS 1990 E O ATUAL CENÁRIO INSTITUCIONAL

No Brasil, a prestação dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário foi organizada em diferentes arranjos e modelos institucionais, de acordo com o contexto da política de saneamento do período. Durante as décadas de 1950 e 1960, predominou o modelo marcado pela autonomia dos serviços municipais (autarquias). Já entre as décadas de 1970 e 1980, predominou o modelo baseado no PLANASA, com o fortalecimento das companhias estaduais (HELLER, 2012).

Com a crise do PLANASA e o encerramento do Banco Nacional de Habitação - BNH, principal financiador do setor, as fontes de financiamento diminuíram drasticamente, ao mesmo tempo em que aumentavam as despesas com as dívidas já contraídas. Neste contexto, na década de 1990, o Governo Federal promoveu privatizações de empresas de saneamento, por meio da abertura de capital na bolsa de valores. As fontes de financiamento esgotaram-se, acompanhadas de dificuldades macroeconômicas, ao mesmo tempo em que terminavam as carências de empréstimos obtidos anteriormente e conseqüentemente aumentavam as despesas com amortizações e encargos financeiros das dívidas. Hoje, estes modelos convivem entre si, pois o município é o titular dos serviços, podendo delegá-los às companhias estaduais, intermunicipais ou empresas privadas, ou ainda prestá-lo por meio de serviços municipais (REZENDE e HELLER, 2008; HELLER, 2012).

Contudo, apesar do grande avanço na implantação dos sistemas de abastecimento de água das áreas urbanas, a maioria dos sistemas e soluções alternativas de abastecimento localizados em distritos e localidades com menor densidade populacional não acompanham estas mudanças (HELLER E REZENDE, 2008; IBGE, 2011). Em 2005, surge o Decreto 5.440, que estabelece definições e procedimentos sobre o controle de qualidade da água de sistemas de abastecimento público, e ainda institui mecanismos e instrumentos para divulgação de

informação ao consumidor sobre a qualidade da água para consumo humano (BRASIL, 2005).

Os serviços exclusivamente municipais em média arrecadam menos, tanto em função da escala reduzida de prestação de serviços, como também por apresentarem menor percentual de hidrometração, podendo comprometer a sustentabilidade econômica do serviço. Além disto, o fato de não haver hidrometração abre espaço para distorções na relação entre cobrança e consumo (HELLER, 2012).

Os problemas econômicos oriundos da baixa arrecadação acabam por gerar problemas na gestão, cobertura e qualidade dos serviços de saneamento. Dados do IBGE mostram que em mais de 90% dos municípios existe a prestação do serviço de abastecimento de água. Entretanto, em 12,8% destes a água distribuída não era tratada (IBGE, 2010). Contudo, este dado não reflete a real situação dos municípios, ao considerar como município com serviço de abastecimento de água aquele que possui este sistema em sua sede, desconsiderando localidades e distritos sem acesso a este serviço.

Cabe lembrar que, apesar da grande cobertura dos serviços de abastecimento de água em núcleos urbanos adensados e respectiva redução dos casos de doenças de veiculação hídrica, o mesmo não se observa nas localidades rurais e distritos distantes das sedes, tendendo a apresentar estrutura e operação precária, quando comparados às sedes municipais. E que, além disto, apesar de se evidenciar um movimento no sentido da universalização das redes de abastecimento de água, isto não significa que as populações urbanas são plenamente atendidas nestes municípios, já que se considera, pelas pesquisas apresentadas que o município apresenta ao menos um único distrito servido, total ou parcialmente, por rede de abastecimento, independente da eficiência do serviço prestado e do número de ligações (IBGE, 2011).

A partir desta observação, a constituição de sistemas de abastecimento de água nas localidades rurais e distritos, atendendo aos parâmetros de potabilidade estabelecidos pela legislação, mostra-se um grande desafio aos municípios e prestadores deste serviço.

ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO: RISCOS À SAÚDE

As águas de abastecimento público podem ser um veículo de rápida disseminação de agentes infecciosos, especialmente quando o sistema de abastecimento distribui água fora dos padrões bacteriológicos de potabilidade. Devido às suas diferentes características de infectividade, patogenicidade e virulência, as doenças de veiculação hídrica podem ser captadas com maior ou menor eficiência pelos sistemas de informação em saúde, ou seja, a construção de indicadores epidemiológicos relacionados ao saneamento podem ser influenciados pela representatividade dos dados disponíveis. Assim, a construção de indicadores epidemiológicos relativos ao saneamento pode ser influenciada pela representatividade dos dados disponibilizados pelo setor saúde (BARCELLOS e QUITÉRIO, 2006).

Segundo Alonzo *et al* (2013), os riscos à saúde relacionados à água ocorrem por dois tipos de agentes: contaminação biológica, por meio do contato direto ou por meio de vetores, ou pela contaminação química. Os autores afirmam que no Brasil, entre os anos de 1995 e 2005, a poluição hídrica aumentou cinco vezes, tendo como principal causa o despejo de esgoto doméstico, seguida do lançamento de efluentes da agroindústria, além da disposição inadequada de resíduos no solo.

Segundo Buss *et al* (2012), o território deve ser compreendido além do seu limite físico, mas a partir dos processos sociais e ambientais nele inseridos. Para isto, é essencial ao setor saúde a construção de espaços coletivos que atendam aos interesses das populações. No modelo do SUS, a conexão saúde humana – ambiente, a ‘vigilância sanitária e ambiental’ e a ‘regulação em saúde’, são atribuições da SVS/MS e ANVISA em âmbito nacional, e pelas suas respectivas estruturas nos estados e municípios. Os autores apontam ainda uma possível estratégia a ser explorada, a atuação conjunta dos órgãos reguladores da saúde e do meio ambiente, buscando uma maior sinergia e repercussão sobre a saúde e o ambiente.

Segundo o Manual Prático de Análise da Água (FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE, 2009),

“O exame da água, principalmente daquela destinada ao consumo humano, é de fundamental importância. Por ele pode-se ter certeza de que a água distribuída é de confiança, se está isenta de microrganismos ou substâncias químicas que podem ser prejudiciais à saúde das pessoas. Distribuir água sem antes examiná-la é um tiro no escuro, muitas vezes de consequências irremediáveis”.

Assim, compreende-se por água potável aquela que, após avaliações de riscos, pode ser consumida sem prejuízos à saúde e sem causar rejeição ao consumo. Ressalta-se que Qualidade da água bruta, tratamento da água e qualidade da água tratada são aspectos interdependentes. Entretanto, só o tratamento da água não garante a sua condição de potabilidade, uma vez que ela pode sofrer alterações entre o tratamento, a reservação, a distribuição e o consumo. Além disto, várias substâncias, como elementos tóxicos, metais, elementos traço e agrotóxicos, podem não ser removidas em processos convencionais de tratamento. O padrão de potabilidade da água consiste em um conjunto de características, denominadas parâmetros, que lhe proporcione qualidade própria para o consumo humano. A potabilidade da água é aferida pelo atendimento, em simultâneo, dos VMPs estabelecidos para cada um dos parâmetros relacionados na legislação em vigor (GOMES, 2004).

No ano de 2009, houve um avanço no que se relaciona à integração das vigilâncias, por meio da publicação da Portaria MS nº 3.252, ratificando a necessidade de atuação conjunta das vigilâncias epidemiológica, sanitária, saúde ambiental, saúde do trabalhador e promoção da saúde. Seu principal objetivo consiste em controlar determinantes, riscos e danos à saúde, buscando garantir a integralidade da atenção. Neste contexto, a Vigilância em Saúde Ambiental caracteriza-se como um dos componentes da Vigilância em Saúde, definida como um conjunto de ações que propiciam o conhecimento e a detecção de mudanças nos fatores determinantes e condicionantes do meio ambiente que interferem na saúde humana, com a finalidade de identificar as medidas de prevenção e controle dos fatores de risco ambientais relacionados às doenças ou a outros agravos à saúde (ROHLFS *et al*, 2011).

Ao longo dos últimos anos, no Brasil, o campo de atuação em Saúde Ambiental adquiriu reconhecimento institucional na estrutura do Ministério da Saúde, com a criação do Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e de Saúde do Trabalhador no âmbito da Secretaria de Vigilância em Saúde, além de instituir representações em todos os estados e

capitais do país. Contudo, ainda permanecem muitos desafios, especialmente em relação à implantação de uma agenda intersetorial orientada para a sustentabilidade socioambiental.

Assim,

“O papel da Vigilância em Saúde Ambiental, a partir do reconhecimento de seus processos e suas dinâmicas, seu olhar sobre o território, tem promovido uma nova forma de atuação no SUS, possibilitando a construção e interpretação de vulnerabilidades socioambientais. A Vigilância em Saúde Ambiental está envolvida na missão de consolidar o SUS, tendo a intersetorialidade e a interdisciplinaridade como pressupostos. Do ponto de vista estratégico, enquanto contribuição à consolidação da Vigilância em Saúde, a prática de Vigilância em Saúde Ambiental, articulada com referenciais teóricos que dialoguem com modelos e sistemas complexos, vem possibilitando a construção e interpretação de vulnerabilidades socioambientais enquanto evidência da complexa trama de determinação da saúde.” (ROHLFS *et al*, 2011)

O PROGRAMA VIGIAGUA

O Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água Para Consumo Humano está inserido dentro da estrutura de Vigilância em Saúde do SUS, tendo suas ações sob responsabilidade da Secretaria de Vigilância em Saúde, do Ministério da Saúde. Segundo Boccato (2012), a Vigilância em Saúde tem um fluxograma de informações e interface com outros sistemas, desenvolvendo programas de prevenção e controle nas áreas de epidemiologia, saúde ambiental, saúde do trabalhador, imunização, vigilância sanitária e infraestrutura.

O conceito de Vigilância em Saúde vai além da vigilância de doenças transmissíveis, englobando também a prevenção e o controle de fatores de risco de doenças não transmissíveis, e também riscos ambientais, buscando a integração destas ações no âmbito do SUS. Para que isto ocorra, é fundamental a visão integrada na formulação das políticas de saúde e na organização das ações e serviços (CONASS, 2007).

Uma das premissas da vigilância em saúde é a avaliação frequente e continuada de diferentes aspectos, visando a identificação de riscos potenciais à saúde humana, gerando possíveis formas de intervenção ou controle, assumindo, assim, caráter rotineiro e preventivo. No que se refere à qualidade da água para consumo humano, a prevenção torna-se um desafio para os

profissionais da vigilância, uma vez que as características da água são dinâmicas no tempo e no espaço (CARMO *et al*, 2008).

Um sistema de informação, em qualquer área de atuação, caracteriza-se como um conjunto de unidades de produção, análise e divulgação de dados que atuam de forma integrada e articulada com o propósito de atender às demandas para o qual foi concebido, utilizando, para isso, um conjunto de recursos pessoais (técnicos) e materiais para o processamento dos dados coletados e armazenados. Dentre seus objetivos básicos está a possibilidade de análise da situação de saúde no nível local, tendo como referência microrregiões homogêneas e considerando as condições de vida da população local na determinação do processo saúde-doença. O nível local, além da alimentação dos sistemas, deve realizar as atividades de planejamento, coordenação e supervisão das atividades relativas à coleta, ao registro, ao processamento, à análise, à apresentação e à difusão de dados e geração de informações (BRASIL, 2005).

OS IMPACTOS DOS ELEMENTOS NA SAÚDE HUMANA

Os elementos ocorrem naturalmente na crosta da terra, em diferentes variações e concentrações, reguladas pelas propriedades do elemento e pela influência de fatores ambientais. Cerca de trinta metais e semimetais são potencialmente tóxicos para os seres humanos (KHLIFI e HAMZA-CHAFFAI, 2010, *apud* MORAIS *et al*, 2012).

Os processos de exploração e a utilização dos metais consistem em um dos pilares da economia desde a Revolução Industrial em muitos países desenvolvidos. Entretanto, sua exposição confere riscos à saúde humana, especialmente quando se trata dos metais pesados e elementos traço, extremamente tóxicos quando solúveis em água e de fácil absorção por plantas ou tecido animal (MING-HO, 2005).

Diversos metais e elementos traço possuem valor máximo permitido (VMP) definidos na Portaria 2.914/2011, dada a possibilidade de ocorrência em mananciais de abastecimento de água e potenciais riscos à saúde humana. Estes estão incluídos nas tabelas de substâncias químicas (antimônio, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, selênio e

níquel) e organolépticas (alumínio, ferro, manganês e zinco). No caso do manganês, além das características organolépticas em altas concentrações é considerado como tóxico.

Os valores máximos permitidos pela legislação estão descritos a seguir na tabela 1.

Tabela 1: Valores máximos permitidos para metais e elementos traço na Portaria MS 2.914, de 2011.

Metal	VMP (mg/L)
Alumínio	0,2
Ferro	0,3
Manganês	0,1
Zinco	5,0
Antimônio	0,005
Arsênio	0,01
Bário	0,7
Chumbo	0,01
Cobre	2
Cromo	0,05
Mercúrio	0,001
Selênio	0,01
Níquel	0,07

Fonte: BRASIL, 2011.

ARSÊNIO

O consumo de água contaminada é a principal forma de contaminação humana por arsênio. Ocorre na natureza em baixas concentrações, podendo ser encontrado na atmosfera, na água, em solos, sedimentos e organismos, além da crosta terrestre. O arsênio está na constituição de mais de duzentos minerais, sendo o principal deles a arsenopirita. Em áreas de mineração, é encontrado em associação com metais de transição, como cádmio, chumbo, prata, ouro, antimônio, tungstênio e molibdênio. Um grande número de aquíferos ao redor do mundo apresenta altas concentrações de arsênio, tanto em fontes naturais como também em áreas relacionadas a atividades de mineração.

O arsênio possui elevada toxicidade, sendo considerado tóxico mesmo em concentrações traço ($\mu\text{g/L}$). Estima-se que somente em Bangladesh o número de pessoas expostas ultrapassa os 30 milhões, e na Bengala Ocidental (Índia), 6 milhões. Há ainda estudos sobre a ocorrência de arsênio na água em concentração superior a $50 \mu\text{g/L}$ no México, Taiwan, norte da China, Mongólia, Vietnã, Hungria, Romênia, Estados Unidos, Chile e Argentina. Estes casos estão relacionados à utilização e consumo de água subterrânea contaminada. Já em relação a áreas de mineração, há relatos de contaminação da água em Gana, Tailândia, Grécia, Zimbábue, Inglaterra, Alemanha, Canadá e Estados Unidos (MILANI e PAIVA, 2012; CAPITANI, 2007; SMEDLEY e KINNIBURGH, 2001).

A intoxicação por arsênio gera diversos efeitos no organismo humano, como carcinogênicos, dermatológicos, neurológicos e cardiovasculares, hematológicos, gastrointestinais, hepáticos, renais, reprodutivos, e outros (BORBA *et al*, 2004). A presença de arsênio no subsolo do Quadrilátero Ferrífero foi identificada em diversos trabalhos (BACELLAR *et al*, 2009; BORBA *et al*, 2004; DESCHAMPS *et al*, 2007), inclusive no município de Ouro Preto.

FERRO

O ferro é um elemento essencial para a nutrição do ser humano. A presença de ferro é habitual em águas naturais, tanto em mananciais superficiais como em subterrâneos, podendo apresentar-se complexado à matéria orgânica. A ingestão de água com presença de ferro, mesmo acima dos valores máximos permitidos na legislação, não é considerada como risco à saúde pública, uma vez que a quantidade máxima tolerável por dia para o organismo humano é bastante superior aos valores de referência da Portaria 2.914/2011. Entretanto, sua presença pode trazer problemas para o abastecimento público. Altas concentrações de ferro conferem cor e sabor à água, provocando manchas amareladas em roupas e produtos industriais (FERREIRA e PÁDUA, 2010; LIBÂNIO, 2010; LIMA e PEDROZO, 2001; WHO, 2003b).

MANGANÊS

Apresenta comportamento nas águas muito similar ao do ferro, sendo que a sua ocorrência é geralmente em menores concentrações. O manganês ocorre naturalmente no solo, ar, água e alimentos, em níveis reduzidos. Sua ocorrência no meio físico está normalmente associada ao ferro, tanto em mananciais superficiais como em subterrâneos. Entretanto, a ocorrência de manganês na água também pode ocorrer por meio das atividades humanas. O manganês é um elemento essencial para diversas formas de vida, como vegetais e animais, inclusive para a espécie humana. A maior parcela de ingestão de manganês no organismo humano ocorre por meio da alimentação, e menor pelo consumo de água. Em sua forma elementar, o manganês não ocorre naturalmente no meio ambiente, porém, é componente de mais de 100 minerais, como óxidos de manganês, carbonatos de manganês, e silicatos de manganês.

A ingestão excessiva de manganês pode causar efeitos neurotóxicos, como perda de apetite, degeneração em neurônios, dentre outros efeitos. Há ainda o manganismo, uma síndrome com efeitos próximos ao do Mal de Parkinson, causada pela exposição excessiva ao manganês inalado por meio de partículas no ar. Esta síndrome causa fraqueza, dor muscular, anorexia, apatia e perda de coordenação motora, com possíveis efeitos crônicos. Contudo, a ingestão de manganês através de água é reduzida, quando comparada à ingestão por meio de alimentos (BASTOS *et al.*, 2007; KOHL e MEDLAR, 2006; LIBÂNIO, 2010; LIMA e MARTINS, 2001; WHO, 2011c).

Além dos riscos potenciais à saúde, o excesso de manganês na água pode desenvolver coloração marrom ou avermelhada na água e, quando associado ao ferro, pode dar a ela um gosto amargo. O excesso de manganês na água pode provocar manchas em produtos industriais, roupas, utensílios domésticos, vasos sanitários e pias. Pode ainda ocorrer a oxidação do manganês na rede de distribuição, que pode resultar em precipitação escura (óxido de manganês), também alterando a cor da água canalizada (LIBÂNIO, 2010; PIRES, 2013).

COBRE

O cobre é encontrado em águas superficiais, subterrâneas e na água do mar, presente principalmente em complexos ou como partículas. Sua concentração na água é variável, em função de características como pH, dureza, e tubulação do sistema de distribuição. A alimentação é a principal fonte de exposição ao cobre para os seres humanos (WHO, 2004).

Os principais efeitos decorrentes da ingestão excessiva de cobre na água estão relacionados a desarranjos gastrointestinais e danos no fígado ou rins, todos os casos relacionados à exposição de longo prazo. A corrosão de instalações hidráulicas e a erosão de depósitos naturais estão entre as principais fontes de contaminação (HELLER e PÁDUA, 2006).

CROMO

O cromo é encontrado na natureza em duas formas, o cromo trivalente e o cromo hexavalente. O cromo é um elemento essencial para o metabolismo humano (em sua forma trivalente), porém na forma hexavalente possui grande relevância para a saúde pública, uma vez que possui efeitos tóxicos em baixos níveis de concentração. Além disto, o cromo possui ampla distribuição no ambiente, sendo encontrado nas águas, ar, rochas, solos, e em todo material biológico. No entanto, não é comum a ocorrência de cromo em altas concentrações nas águas naturais. As principais formas de contaminação são a inalação, a ingestão e o contato com a pele.

A solubilidade do cromo trivalente se intensifica em águas subterrâneas, onde por meio de uma reação de redução, na presença de óxidos de manganês e de ferro e em condições alcalinas, pode-se originar o cromo hexavalente. Este possui alta mobilidade e é considerado tóxico até mesmo em baixas concentrações, apresentando potencial carcinogênico. Por outro lado, o cromo hexavalente pode ser reduzido à forma trivalente na presença de matéria orgânica oxidável (BERTOLO *et al*, 2009; ATSDR, 2012; WHO, 2003).

ZINCO

Em águas naturais, o zinco ocorre em baixas concentrações, advindo de intemperismo e lixiviação de depósitos naturais. Porém, a maior fonte de adição de zinco na água para consumo humano advém da corrosão de instalações hidráulicas, como a tubulação galvanizada. A ingestão excessiva de zinco pode causar efeitos adversos à saúde humana, como náuseas, vômitos, diarreia, cólicas abdominais e outros. Valores superiores a 3 mg/L podem interferir no gosto da água (WHO, 2003c).

CHUMBO

A exposição humana ao chumbo ocorre por atividades ocupacionais e não ocupacionais. Áreas industriais e seu entorno, além de regiões mineradoras e depósitos naturais de chumbo podem ser fontes de contaminação. A veiculação de material particulado em residências próximas a áreas contaminadas, a ingestão por alimentos, bebidas alcólicas, uso de cosméticos e brinquedos são outras fontes de exposição humana ao chumbo.

Apesar de haver uma redução nos casos de intoxicação aguda pelo chumbo, especialmente relacionada à redução de partículas de chumbo emitidas por veículos movidas a gasolina, ainda são observadas consequências da exposição crônica a baixas concentrações. Com isto, a exposição ao chumbo continua sendo uma questão importante para a saúde pública, especialmente em populações de maior vulnerabilidade social. (CAPITANI *et al*, 2009; HELLER e PÁDUA, 2006; MATTOS *et al*, 2009).

A presença de chumbo em sistemas de abastecimento pode ter origem na lixiviação dos sistemas de canalização, uma vez que tubos, acessórios e conexões podem conter chumbo. Os estabilizantes do PVC mais antigos são baseados em compostos à base de chumbo, e com isto, pode ocorrer a sua lixiviação (LIBÂNIO, 2010; RODOLFO JR. e MEI, 2007).

Em seres humanos, sua toxicidade provém do efeito cumulativo, sendo os recém-nascidos, crianças menores de seis anos e gestantes mais suscetíveis a efeitos adversos à saúde. Na exposição aguda e de longo prazo podem surgir sintomas de intoxicação como apatia,

agitação, irritabilidade, falta de atenção, dores de cabeça, cólicas abdominais, danos nos rins, alucinações, perda de memória, anemia (LIBÂNIO, 2010; WHO, 2011b).

MERCÚRIO

O mercúrio ocorre na superfície terrestre por meio de processos naturais, como a atividade vulcânica. Sua utilização aumentou significativamente após a revolução industrial, ocorrida a partir do século XIX. O mercúrio é convertido em três formas primárias: o mercúrio elementar, os sais de mercúrio inorgânicos e o mercúrio orgânico. O mercúrio é amplamente utilizado na indústria, e em menor escala, em atividades de extração artesanal de ouro. O mercúrio ocorre em águas superficiais e subterrâneas em baixas concentrações, inferiores a 0,5 µg/L. A água potável é considerada como fonte de exposição ao mercúrio, contudo, uma menor fonte potencial, exceto em regiões contaminadas.

O mercúrio apresenta efeitos tóxicos diversos no organismo humano: danos ao sistema nervoso central e ao aparelho renal, causados pelo vapor de mercúrio elementar, e pela ingestão de metilmercúrio e alquil, tipos de mercúrio orgânico. A inalação de vapor de mercúrio ainda pode causar tremor, distúrbios neuropsiquiátricos e gengivoestomatite. O mercúrio ainda pode causar encefalopatia, por meio da absorção cutânea do dimetilmercúrio, elemento sintético utilizado em química analítica (WHO, 2005; OLSON, 2012).

TECNOLOGIAS DE REMOÇÃO DE METAIS E ELEMENTOS TRAÇO NA ÁGUA

Para a remoção de metais e elementos traço no tratamento de água, o processo de oxidação seguido de filtração é o mais utilizado. O processo de oxidação pode ocorrer por aeração ou cloração, já o processo de filtração pode ocorrer por meio de filtro de carvão ou areia (MADEIRA *et al*, 2002).

A remoção do ferro em sistemas de tratamento de água ocorre geralmente por meio da oxidação, seguida por filtração, precipitação química seguida por filtração, ou por troca iônica. O que geralmente determina o processo mais utilizado se relaciona com o viés econômico, levando-se em consideração a capacidade das instalações de tratamento, o pH da água e a presença de outros contaminantes na água. A presença de matéria orgânica natural, especialmente substâncias húmicas, potencializa a associação com metais e óxidos, que formam complexos e reduzindo os íons metálicos livres. A oxidação do ferro/manganês por via química pode ser obtida através da injeção de oxidantes como o hipoclorito de sódio. Podem ser utilizados ainda processos de ultrafiltração / osmose reversa, tanto na remoção do ferro como do manganês (RAMOS, 2010).

Diversas tecnologias podem ser utilizadas para a remoção do arsênio em águas, como troca iônica, osmose reversa, coagulação/filtração, adsorção e eletrólise reversa. Entretanto, o conhecimento sobre a qualidade da água é fundamental para a eficiência do tratamento como, por exemplo, o teor de ferro da água, devido à grande afinidade entre estes elementos. Nos processos convencionais de remoção, normalmente está incluído um processo de pré-oxidação do arsênio, por meio da utilização de adsorventes ou coagulantes (MENDES, 2007; MATSCHULLAT e DESCHAMPS, 2007). Para a remoção de chumbo em água, os métodos mais utilizados são a adsorção e a troca iônica (HU *et al*, 2010).

Estudos recentes apontam para o uso de adsorventes naturais, ou biossorventes, como casca de coco verde, sementes, casca de pequi, sementes de moringa oleífera, crambe, pinhão manso, cascas de mandioca, de castanha do Brasil, de castanha de caju e de pinus na remoção de elementos como cádmio, chumbo, cobre e zinco, podendo ser utilizado em complemento

ao tratamento utilizado (GONÇALVES JR., 2013; SILVA FILHO *et al*, 2011; SOUZA *et al*, 2009).

Entretanto, na maioria dos casos, não é comum a utilização de tecnologias sofisticadas de remoção de metais e elementos traço em águas de abastecimento, pois se trata de processos que elevam substantivamente os custos de tratamento de água. Os tratamentos mais utilizados ainda são o simplificado, onde somente é realizada a etapa da desinfecção, e o convencional, onde são realizadas as etapas de mistura rápida, coagulação/floculação, decantação, filtração e desinfecção.

O MUNICÍPIO DE OURO PRETO

O processo de ocupação do município de Ouro Preto remonta ao Brasil Colônia, em meados do século XVII, está associado diretamente à descoberta de ouro na região. A partir da difusão das notícias da descoberta do ouro, diversos bandeirantes percorreram distâncias consideráveis em busca do precioso metal. Entre a última década do século XVII e o início do século XVIII, surgiram os primeiros arraiais. Em 1711, já com um núcleo populacional considerável, houve a elevação à categoria de vila. No final do século XVIII, Vila Rica já se constituía como um grande centro urbano, com imponentes edifícios e intensa produção cultural (IBGE, 2014).

O município de Ouro Preto localiza-se na região central de Minas Gerais, na Mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte e Microrregião que leva seu nome. Possui divisa com dez municípios: Belo Vale, Catas Altas da Noruega; Congonhas; Itabirito, Itaverava, Mariana, Moeda, Ouro Branco, Piranga e Santa Bárbara. O município se situa na porção sul da Serra do Espinhaço e seu território está inserido na porção sudeste do Quadrilátero Ferrífero, e possui estimativa de 73.700 habitantes. A latitude da sede do município é Sul 20,2312 e a longitude Oeste 43,3048 (PREFEITURA MUNICIPAL DE OURO PRETO, 2013; IBGE, 2014b).

A atual divisão territorial, de 2007, é composta por treze distritos: Ouro Preto, Amarantina, Antônio Pereira, Cachoeira do Campo, Engenheiro Correia, Glaura, Lavras Novas, Miguel Burnier, Rodrigo Silva, Santa Rita do Ouro Preto, Santo Antônio do Leite, Santo Antônio do

Salto e São Bartolomeu (IBGE, 2014). Os dados referentes à localização do município e seus distritos podem ser visualizados nas Figuras 1 a 3 e na Tabela 2.

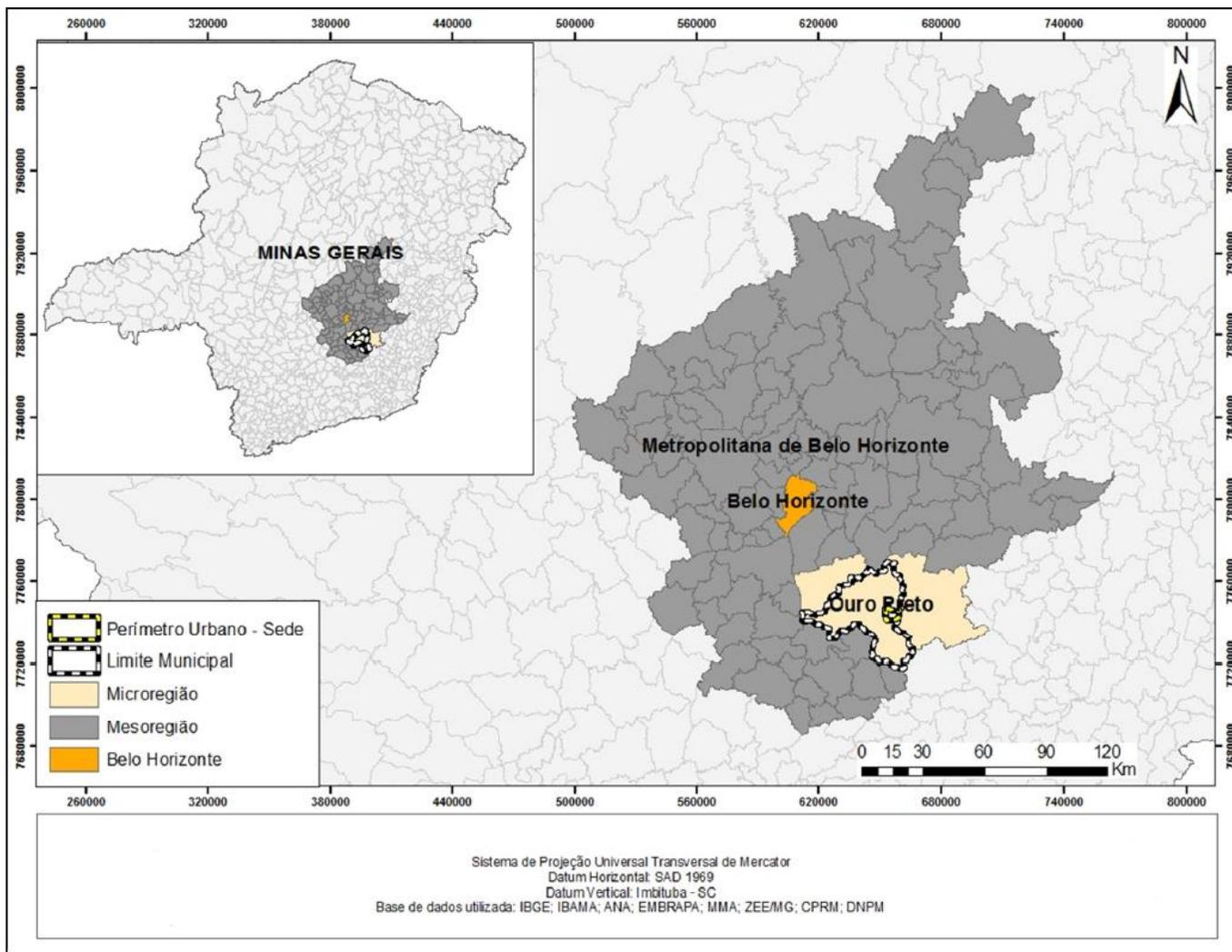


Figura 1: localização do município de Ouro Preto.

Fonte: PREFEITURA MUNICIPAL DE OURO PRETO, 2013.

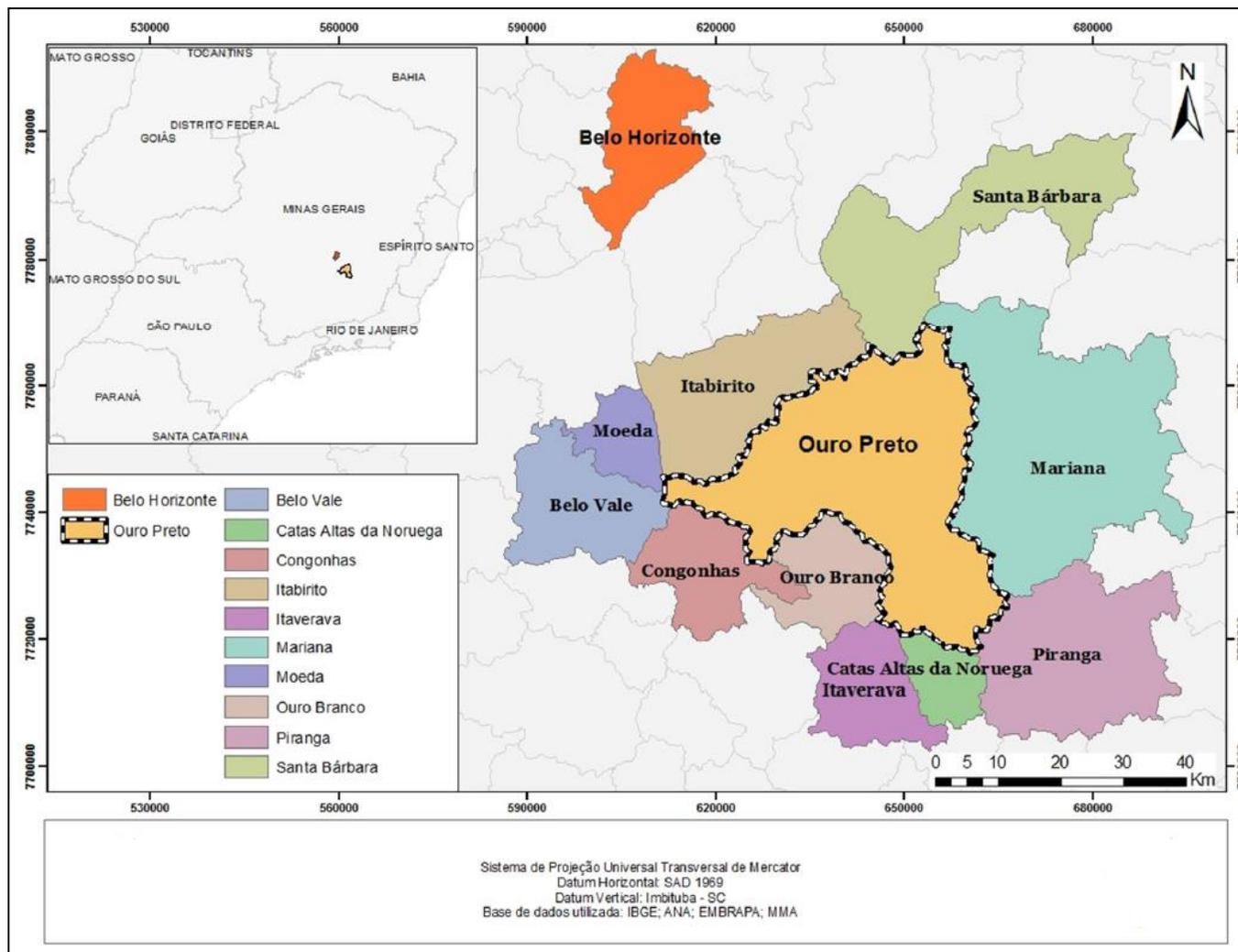


Figura 2: município de Ouro Preto e municípios limítrofes.

Fonte: PREFEITURA MUNICIPAL DE OURO PRETO, 2013.

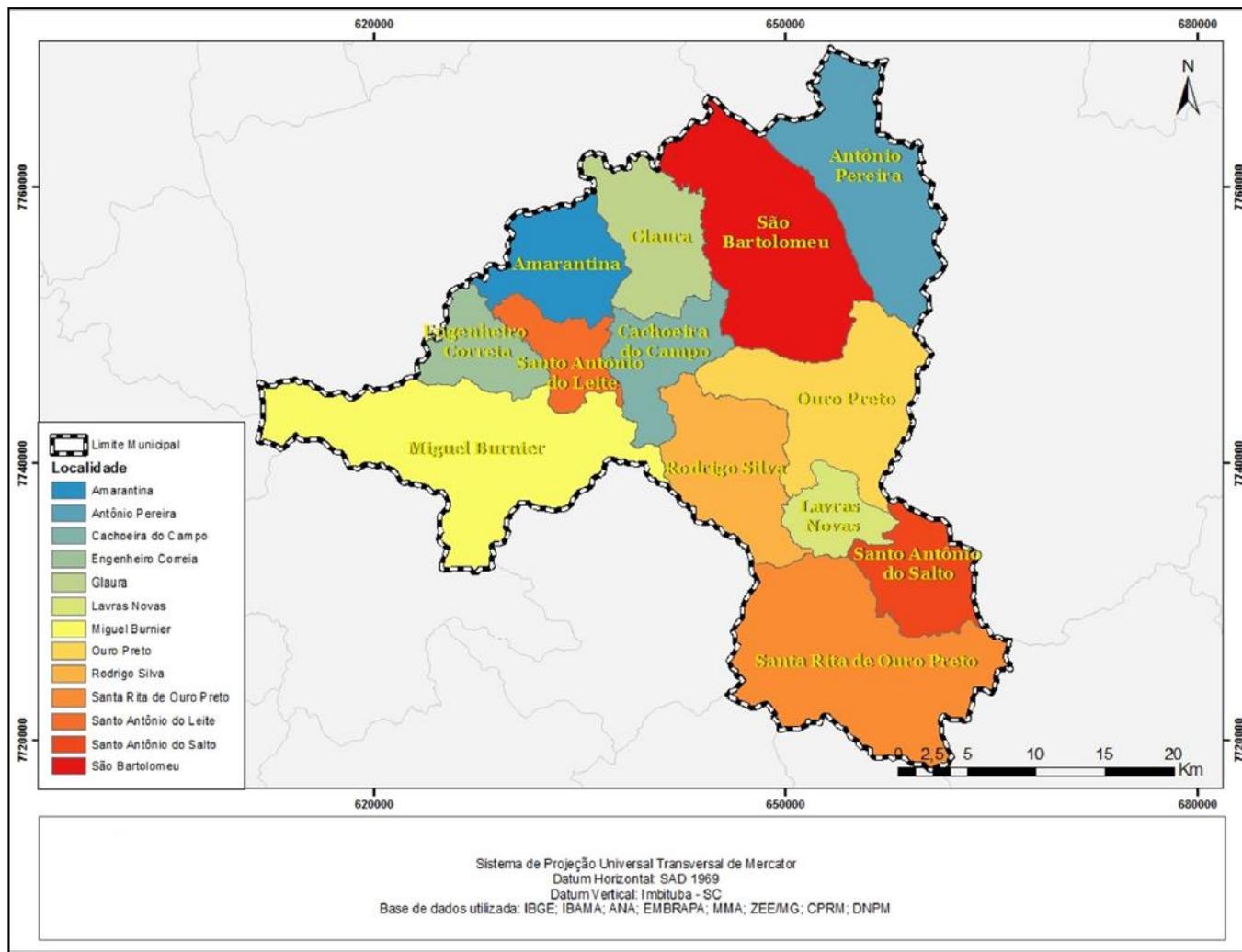


Figura 3: distribuição territorial dos distritos de Ouro Preto.

Fonte: PREFEITURA MUNICIPAL DE OURO PRETO, 2013.

Tabela 2: Informações sobre os distritos de Ouro Preto

Distrito	Habitantes	Área (km²)	Domicílios particulares	Data de criação
Amarantina	3.577	59,56	1.581	23 de setembro de 1882
Antônio Pereira	4.480	108,9	1.410	3 de abril de 1840
Cachoeira do Campo	8.923	51,91	3.117	8 de abril de 1836
Engenheiro Correia	403	41,16	248	12 de dezembro de 1953
Glaura	1.418	64,8	784	7 de abril de 1841
Lavras Novas	929	38,59	520	14 de outubro de 2006
Miguel Burnier	809	177,4	362	30 de agosto de 1911
Ouro Preto (Sede)	40.916	101,82	15.248	8 de julho de 1711
Rodrigo Silva	1.080	81,57	380	30 de dezembro de 1962
Santa Rita de Ouro Preto	4.243	167,6	1.536	17 de dezembro de 1938
Santo Antônio do Leite	1.705	34,15	877	7 de setembro de 1923
Santo Antônio do Salto	1.068	49,1	329	30 de novembro de 1992
São Bartolomeu	730	145,7	498	16 de fevereiro de 1724

Fonte: IBGE, 2011.

O ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE OURO PRETO

Em trabalho sobre o histórico do serviço de abastecimento de água e esgoto de Ouro Preto, Fonseca e Prado Filho (2008) relatam que, durante o século XIX, vigorou no município o sistema de concessão de porções d'água a particulares. Entretanto, a maior parcela da população utilizava os chafarizes públicos. Na segunda metade deste século, foi criada estrutura dentro da administração (Repartição de Obras Públicas da Província de Minas Gerais, posteriormente, Diretoria Geral das Obras Públicas da Província - DGOP) composta por técnicos, visando a manutenção dos chafarizes e encanamentos. Entre as décadas de 1880 e 1890, foram contratados diversos estudos de renomados sanitaristas objetivando a implementação de melhorias no sistema de abastecimento de água de Ouro Preto.

Até o ano de 2005, o abastecimento de água do município de Ouro Preto estava sob responsabilidade de um departamento da prefeitura (DEMAE), vinculado à Secretaria

Municipal de Obras e Limpeza Urbana. O Serviço Municipal de Água e Esgoto de Ouro Preto (SEMAE-OP) foi criado por lei municipal em 2005, com status de autarquia municipal, tendo seus serviços regulamentados em 2005. Constam como suas atribuições a prestação de serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário. O serviço de coleta e destinação de resíduos está sob a responsabilidade da Secretaria Municipal de Meio Ambiente, já o serviço de drenagem de águas pluviais consta como atribuição da Secretaria Municipal de Obras.

O município possui sessenta e cinco pontos de captação – quarenta e três captações superficiais (córregos, rios e surgências) e vinte e duas captações subterrâneas (poços tubulares profundos). O município conta com seis Estações de Tratamento de Água (ETAs) em operação – duas na sede municipal (Jardim Botânico e Itacolomi), duas no distrito de Cachoeira do Campo (Funil e Vila Alegre), uma no distrito de Amarantina e uma no distrito de Antônio Pereira (PREFEITURA MUNICIPAL DE OURO PRETO, 2013).

Tabela 3: Estações de Tratamento de Água do município de Ouro Preto

Nome da ETA	Localização	Distrito atendido	Vazão (L/s)
Itacolomi	Bairro Nossa Senhora do Carmo (Pocinho)	Sede	50
Jardim Botânico	Horto Botânico do Passa Dez	Sede	60
Funil	Cachoeira do Campo	Cachoeira do Campo	60
Vila Alegre	Cachoeira do Campo	Cachoeira do Campo	36
Amarantina	Amarantina	Amarantina	18
Antônio Pereira	Antônio Pereira	Antônio Pereira	20

Fonte: PREFEITURA MUNICIPAL DE OURO PRETO, 2013

Nas ETAs, são realizadas as etapas de tratamento convencional de água (mistura rápida e coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção da água), fornecendo à população uma vazão média de duzentos e sessenta litros por segundo, vinte e quatro horas por dia. Nos demais pontos de captação, são realizados somente o tratamento simplificado da água, por meio da adição de tricloro (em pastilha) na água, em dosadores de linha. O SEMAE possui ainda oitenta e nove reservatórios dispersos pelo município (trinta e cinco na área urbana e cinquenta e quatro nos distritos, com capacidade para 8.899 m³ de água). Por razões históricas e administrativas, as unidades de consumo são desprovidas de hidrômetro. No centro histórico

ainda é comum se encontrar a ligação à rede por meio de penas d'água (PREFEITURA MUNICIPAL DE OURO PRETO, 2013).

Com o objetivo de regularizar a cobrança da água no município, uma vez que ainda não é possível medir o consumo de água nas unidades de consumo sob sua responsabilidade, o SEMAE instituiu, em 2009, a Tarifa Operacional Básica (TBO), que consiste na cobrança de um valor fixo pela disponibilização do serviço de água e esgoto. A mesma lei (538/2009) que instituiu a TBO também prevê a Tarifa de consumo, a ser implementada após a hidrometração das unidades de consumo. Entretanto, sem o mecanismo de controle do consumo representado pelo hidrômetro, a média de consumo do município de Ouro Preto se encontra próxima de quatrocentos e cinquenta litros/habitante/dia, valor muito superior à média mundial apontada pela Organização Mundial de Saúde, que é de cento e cinquenta litros/habitante/dia (PREFEITURA MUNICIPAL DE OURO PRETO, 2013).

Em pequenas localidades e distritos do município, há a existência de um servidor, ligado ao SEMAE-OP, responsável por uma série de atividades, como realizar novas ligações, pequenos reparos e manobras na rede, desobstrução e limpeza nos pontos de captação, substituição do agente desinfetante (pastilhas de cloro) e análise de teor de cloro residual livre (com a utilização de aparelho de disco comparador).

Os dados de controle semestrais, referentes aos parâmetros de metais e elementos traço das estações estão relacionados nas tabelas 4 a 9. No período em questão, a ETA Amarantina ainda não estava em funcionamento. Ressalta-se que os dados referentes ao primeiro semestre de 2013, e aos anos de 2014 e 2015 não foram disponibilizados ao setor saúde (BRASIL, 2015).

Tabela 4: análises de controle realizadas pelo prestador de serviço de abastecimento de água municipal (2009-2013) da ETA Antônio Pereira

	Antimônio (mg/L)	Arsênio (mg/L)	Cádmio (mg/L)	Chumbo (mg/L)	Cobre total (mg/L)	Cromo total (mg/L)	Mercúrio Total (mg/L)	Alumínio total (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Zinco (mg/L)
VMP	0,005	0,01	0,005	0,01	2	0,05	0,001	0,2	0,3	0,1	5
set/09	<0,005	<0,01	<0,001	<0,008	<0,2	<0,009	<0,0002	<0,05	<0,2	<0,1	<0,01
jun/10	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0005	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0076	0,0069	0,0013	0,0158
jan/11	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0005	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0032	<0,0001	0,0142	0,003
out/11	<0,005	<0,01	<0,001	<0,005	<0,001	<0,01	<0,0002	0,04	0,03	<0,05	<0,05
mar/12	<0,005	<0,003	<0,001	<0,01	<0,02	<0,02	<0,0002	<0,1	<0,02	0,03	<0,01
set/12	<0,005	<0,003	<0,001	<0,01	<0,02	<0,02	<0,0002	<0,1	<0,02	0,01	<0,01
jul/13	<0,005	<0,01	<0,001	<0,008	<0,05	<0,009	<0,0002	<0,05	<0,1	<0,05	<0,06

Tabela 5: análises de controle realizadas pelo prestador de serviço de abastecimento de água municipal (2009-2013) da ETA Itacolomi

	Antimônio (mg/L)	Arsênio (mg/L)	Cádmio (mg/L)	Chumbo (mg/L)	Cobre total (mg/L)	Cromo total (mg/L)	Mercúrio Total (mg/L)	Alumínio total (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Zinco (mg/L)
VMP	0,005	0,01	0,005	0,01	2	0,05	0,001	0,2	0,3	0,1	5
set/09	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0005	0,0054	<0,0001	<0,0001	0,0284	0,0401	0,0018	0,0349
jun/10	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0005	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0238	0,074	<0,0001	0,0052
jan/11	<0,005	<0,01	<0,001	<0,005	0,002	<0,01	<0,0002	0,09	0,08	<0,05	<0,05
out/11	<0,005	<0,003	<0,001	<0,01	<0,02	<0,02	<0,0002	<0,1	<0,02	0,03	0,09
mar/12	<0,005	<0,003	<0,001	<0,01	<0,02	<0,02	<0,0002	<0,1	0,03	0,03	0,03
set/12	<0,005	<0,01	<0,001	<0,008	<0,2	<0,009	<0,0002	<0,05	<0,2	<0,1	<0,01
jul/13	<0,005	<0,01	<0,001	<0,008	<0,05	<0,009	<0,0002	<0,05	<0,1	<0,05	<0,06

Tabela 6: análises de controle realizadas pelo prestador de serviço de abastecimento de água municipal (2009-2013) da ETA Jardim Botânico

	Antimônio (mg/L)	Arsênio (mg/L)	Cádmio (mg/L)	Chumbo (mg/L)	Cobre total (mg/L)	Cromo total (mg/L)	Mercúrio Total (mg/L)	Alumínio total (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Zinco (mg/L)
VMP	0,005	0,01	0,005	0,01	2	0,05	0,001	0,2	0,3	0,1	5
set/09	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0005	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,006	0,0081	0,0082	0,0153
jun/10	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0005	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0089	0,0125
jan/11	<0,005	<0,01	<0,001	<0,005	0,002	<0,01	<0,0002	0,03	0,04	<0,05	<0,05
out/11	<0,005	<0,003	<0,001	<0,01	<0,02	<0,02	<0,0002	<0,1	0,1	0,46	0,01
mar/12	<0,005	<0,003	<0,001	<0,01	<0,02	<0,02	<0,0002	<0,1	<0,02	0,01	0,01
set/12	<0,005	<0,01	<0,001	<0,008	<0,2	<0,009	<0,0002	<0,05	<0,2	<0,1	<0,01
jul/13	<0,005	<0,01	<0,001	<0,008	<0,05	<0,009	<0,0002	<0,05	<0,1	<0,05	<0,06

Tabela 7: análises de controle realizadas pelo prestador de serviço de abastecimento de água municipal (2009-2013) da ETA Funil

	Antimônio (mg/L)	Arsênio (mg/L)	Cádmio (mg/L)	Chumbo (mg/L)	Cobre total (mg/L)	Cromo total (mg/L)	Mercúrio Total (mg/L)	Alumínio total (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Zinco (mg/L)
VMP	0,005	0,01	0,005	0,01	2	0,05	0,001	0,2	0,3	0,1	5
set/09	<0,005	<0,01	<0,001	<0,008	<0,2	<0,009	<0,0002	<0,05	<0,2	<0,1	<0,01
jun/10	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0005	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0076	0,0069	0,0013	0,0158
jan/11	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0005	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0032	<0,0001	0,0142	0,003
out/11	<0,005	<0,01	<0,001	<0,005	<0,001	<0,01	<0,0002	0,04	0,03	<0,05	<0,05
mar/12	<0,005	<0,003	<0,001	<0,01	<0,02	<0,02	<0,0002	<0,1	<0,02	0,03	<0,01
set/12	<0,005	<0,003	<0,001	<0,01	<0,02	<0,02	<0,0002	<0,1	<0,02	0,01	<0,01
jul/13	<0,005	<0,01	<0,001	<0,008	<0,05	<0,009	<0,0002	<0,05	<0,1	0,05	<0,06

Tabela 8: análises de controle realizadas pelo prestador de serviço de abastecimento de água municipal (2009-2013) da ETA Vila Alegre

	Antimônio (mg/L)	Arsênio (mg/L)	Cádmio (mg/L)	Chumbo (mg/L)	Cobre total (mg/L)	Cromo total (mg/L)	Mercúrio Total (mg/L)	Alumínio total (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Zinco (mg/L)
VMP	0,005	0,01	0,005	0,01	2	0,05	0,001	0,2	0,3	0,1	5
set/09	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0005	0,0059	<0,0001	<0,0001	0,0133	0,102	0,0766	0,0086
jun/10	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0005	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0849	0,0135	0,0239	<0,0001
jan/11	<0,005	<0,01	<0,001	<0,005	0,001	<0,05	<0,0002	0,11	0,33	0,15	<0,05
out/11	<0,005	<0,003	<0,001	<0,01	<0,02	<0,02	<0,0002	<0,1	0,03	0,54	<0,01
mar/12	<0,005	<0,003	<0,001	<0,01	<0,02	<0,02	<0,0002	<0,1	<0,02	0,03	<0,01
set/12	<0,005	<0,01	<0,001	<0,008	<0,2	<0,009	<0,0002	<0,05	<0,2	0,1	<0,01
jul/13	<0,005	<0,01	<0,001	<0,008	<0,05	<0,009	<0,0002	<0,05	<0,1	<0,05	<0,06

Tabela 9: análises de controle realizadas pelo prestador de serviço de abastecimento de água municipal da ETA Amarantina

	Antimônio (mg/L)	Arsênio (mg/L)	Cádmio (mg/L)	Chumbo (mg/L)	Cobre total (mg/L)	Cromo total (mg/L)	Mercúrio Total (mg/L)	Alumínio total (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Zinco (mg/L)
VMP	0,005	0,01	0,005	0,01	2	0,05	0,001	0,2	0,3	0,1	5
jul/13	<0,005	<0,01	<0,001	<0,008	<0,05	<0,009	<0,0002	<0,05	<0,1	0,05	<0,06

Pode-se observar, nestes dados, alguns valores acima dos máximos permitidos nas ETAs Jardim Botânico e Vila Alegre para os parâmetros ferro e manganês, entre os anos de 2011 e 2012. Os valores de manganês nestas duas ETAs no segundo semestre de 2011 ficaram pelo menos quatro vezes acima do máximo permitido, tomando como base os valores da Portaria

2.914/2011 (BRASIL, 2011). Portanto, estes dados incitam dúvidas sobre a eficiência de remoção destes elementos na água fornecida à população.

AÇÕES DE VIGILÂNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO NO MUNICÍPIO DE OURO PRETO

Após a implementação das atividades do programa VIGIAGUA no município, vêm sendo realizadas ações junto aos técnicos e gestores de saúde municipais com o objetivo de sensibilizá-los em relação à importância da realização de ações de identificação de vulnerabilidades, prevenção a doenças de veiculação hídrica e monitoramento da qualidade da água para consumo humano nos municípios de abrangência.

Segundo Freitas e Freitas (2005),

“o diagnóstico obtido a partir da vigilância, teoricamente, possibilita aos gestores tomarem as decisões em torno dos sistemas de abastecimento coletivos e alternativos, no sentido de se exigirem as intervenções adequadas, quando há ocorrência de não-conformidades com a qualidade da água.”

Neste contexto, dentre as ações da Vigilância em Saúde Ambiental realizadas pela equipe municipal e estadual estão a promoção de reuniões técnicas, capacitação das referências municipais, inspeções em Sistemas de Abastecimento de Água (SAAs) e Soluções Alternativas Coletivas (SACs), reuniões com gestores, representantes dos serviços de abastecimento de água buscando discutir soluções para questões identificadas em inspeções sanitárias e análises que apresentaram não-conformidades nos SAAs e SACs que abastecem a população de abrangência.

Entretanto, a partir destas ações surgem dificuldades e desafios, diante da complexidade do tema e dos diferentes atores sociais envolvidos, que interferem neste processo. Sobre este tema, Queiroz *et al* (2012) discutem apontamentos, em trabalho que envolve três municípios de abrangência da RMBH, que também se aplicam ao contexto de Ouro Preto:

“Questões inerentes à organização política local, envolvendo desde recursos humanos, tecnológicos, financeiros, condições socioculturais da população em questão, a aspectos ambientais relacionados à qualidade da água para consumo humano podem intervir no processo de trabalho da vigilância ambiental em saúde.”

A escolha dos parâmetros Cloro Residual Livre, Turbidez e Coliformes Totais para a discussão das ações da vigilância se justifica pela orientação da Diretriz Nacional do Plano de Amostragem do VIGAGUA (BRASIL, 2006; 2014a). A Diretriz Nacional também orienta para a realização de análises de fluoreto, porém, não havia no banco de dados da versão do SISAGUA utilizada dados sobre estas análises. Além disto, o município de Ouro Preto não conta com a etapa de fluoretação no serviço de abastecimento de água.

No início de 2014, foi publicada uma nova versão da Diretriz Nacional, alterando, o número de amostras e, inclusive, as faixas de população utilizadas para o cálculo de amostras. Ainda nesta versão, há valores intermediários entre as faixas populacionais. As tabelas a seguir descrevem quadros comparativos entre as duas versões da Diretriz Nacional, e por último, a comparação do número mínimo de amostras mensais de vigilância no caso do município.

Tabela 10: Comparativo do número de amostras mensais entre as duas versões da Diretriz Nacional do Plano de Amostragem do Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água Para Consumo Humano, referente aos parâmetros Cloro Residual Livre e Turbidez.

Versão	População					
	2006	<5.000	5.001 a 10.000	10.001 a 20.000	20.001 a 50.000	50.001 a 100.000
10		14	18	25	36	53
2014	0 a 5.000	5.001 a 10.000	10.001 a 50.000	50.001 a 200.000	200.001 a 500.000	Superior a 500.001
	6	9	8+ (1 para cada 7,5 mil habitantes)	10+ (1 para 10 mil habitantes)	20+ (1 para 20 mil habitantes)	35 + (1 para 50 mil habitantes)

Fonte: BRASIL, 2006; 2014.

Tabela 11: Comparativo do número de amostras mensais entre as duas versões da Diretriz Nacional do Plano de Amostragem do Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água Para Consumo Humano, referente ao parâmetro Coliformes Totais.

Versão	População					
	2006	<10.000		10.001 a 20.000	20.001 a 50.000	50.001 a 100.000
10			18	25	36	40
2014	0 a 5.000	5.001 a 10.000	10.001 a 50.000	50.001 a 200.000	200.001 a 500.000	Superior a 500.001
	6	9	8+ (1 para cada 7,5 mil habitantes)	10+ (1 para 10 mil habitantes)	20+ (1 para 20 mil habitantes)	35 + (1 para 50 mil habitantes)

Fonte: BRASIL, 2006; 2014.

Na comparação entre as duas versões da Diretriz Nacional, houve uma redução significativa no número de amostras para municípios com população inferior a 300 mil habitantes. No caso de Ouro Preto, a redução do número mínimo de amostras é superior a 50% para Cloro Residual Livre, Turbidez e Coliformes Totais. Esta diminuição aponta para a dificuldade no cumprimento do número de amostras da antiga Diretriz, como no caso de Ouro Preto. O comparativo do número mínimo do plano de amostragem das duas versões está descrito na tabela 12.

Tabela 12: Comparativo do número de amostras mensais do município de Ouro Preto entre as duas versões da Diretriz Nacional do Plano de Amostragem do Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água Para Consumo Humano, referente aos parâmetros Cloro Residual Livre, Turbidez e Coliformes Totais.

Versão da Diretriz	Cloro Residual Livre	Turbidez	Coliformes totais
2006	36	36	36
2014	17	17	17

Fonte: BRASIL, 2006; 2014.

Dentre os principais avanços obtidos no município, destacamos a descentralização da digitação de dados de controle e vigilância, atividade realizada pelas referências técnicas municipais cadastradas no SISAGUA (na antiga versão 2007-2013, e também da atual); a realização de inspeção sanitária nos sistemas de abastecimento de água das sedes municipais; identificação de Soluções Alternativas Coletivas em distritos e localidades, discussão com técnicos e supervisores de tratamento do SEMAE e lideranças comunitárias com o objetivo de aprimorar o serviço realizado.

Outra importante ação realizada continuamente no município tem sido a distribuição de Hipoclorito de Sódio a 2,5%, juntamente com material informativo sobre sua utilização, além do trabalho de sensibilização junto a profissionais de saúde sobre a importância da educação permanente de quanto ao repasse de informações relacionadas à utilização constante do Hipoclorito de Sódio por famílias sem acesso a água tratada. Houve relatos, por parte de referências técnicas municipais do programa, de articulação entre a Vigilância Epidemiológica e a Atenção Primária à Saúde.

A articulação intersetorial em saúde, identificada por Queiroz em municípios da Região Metropolitana de Belo Horizonte (2011), pode ser considerada como fundamental para o sucesso das ações do VIGIAGUA, uma vez que a Atenção Primária à Saúde, por meio da Estratégia de Saúde da Família, está mais próxima da população, através das visitas domiciliares. Estas ações, de educação sanitária, contribuem significativamente para a redução de casos de diarreia e outras doenças de veiculação hídrica destas populações.

Outra importante iniciativa municipal foi a celebração de convênio entre a Secretaria Municipal de Saúde, a Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais, por meio da Fundação Ezequiel Dias (FUNED) e a Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), no ano de 2012, para a realização de análises de Coliformes totais. Com isto, as análises do município são realizadas no Laboratório de Biologia e Tecnologia de Micro-organismos do Departamento de Ciências Biológicas da UFOP.

A celebração deste convênio permitiu a ampliação do número de análises, além do ganho logístico na realização das atividades de vigilância, uma vez que as amostras eram encaminhadas para análise na FUNED, em Belo Horizonte. Outro ganho obtido neste processo foi a diminuição do prazo decorrido entre a entradas das amostras e a liberação dos laudos de análise, proporcionando à vigilância municipal identificar situações de risco à saúde pública, informando o responsável pelo serviço de abastecimento quanto às não-conformidades e por conseguinte solicitando adequações em um menor período de tempo.

O número de análises realizadas, e seus respectivos percentuais em relação à Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância Ambiental em Saúde Relacionada à Qualidade da Água Para Consumo Humano, são mostrados na Tabela 13.

Tabela 13: Amostras de vigilância da qualidade da água realizadas pela Secretaria Municipal de Saúde de Ouro Preto.

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Análises de teor de Cloro Residual livre	0	0	0	29	61	51	63	-
Análises de teor de Cloro Residual livre fora do padrão	-	-	-	15	21	10	5	-
Análises de turbidez	0	0	0	29	62	53	41	-
Análises de turbidez fora do padrão	-	-	-	2	3	2	0	-
Análises de Coliformes totais/ <i>E. coli</i>	0	0	101	157	115	170	242	111
Análises com presença de Coliformes totais	-	-	0	15	17	23	10	12
Análises com presença de <i>E. coli</i>	-	-	0	3	2	9	2	7

Fonte: BRASIL (2014b;2015)

Observando-se a tabela 13, podemos inferir que houve um acréscimo gradativo no número de análises, até o ano de 2013. As primeiras coletas registradas ocorreram em 2009, para Coliformes totais, e em 2010 (Cloro Residual Livre e Turbidez). Foram constatadas oscilações negativas em 2011 (Coliformes totais), 2012 (Cloro Residual Livre e Turbidez) e 2013 (Turbidez). No ano de 2012, por outro lado, houve um aumento expressivo no número de amostras de Coliformes totais, e em 2013 houve um acréscimo ainda maior. Isto ocorreu em função do convênio celebrado entre a SMS de Ouro Preto, SES-MG/FUNED e UFOP, ampliando o número de amostras disponibilizadas.

O resultado obtido nestes anos possibilitou a expansão deste convênio para os municípios de Mariana e Itabirito, no ano de 2014. A partir desta experiência, discute-se a ampliação do convênio visando a inclusão de novos ensaios físico-químicos, como a análise de concentração de metais, como ferro e manganês, nas águas de abastecimento.

Outro fato que vale ser destacado é a importância da aquisição e manutenção de equipamentos de análise de teor de cloro residual livre, com exceção ao ano de 2014 (onde faltaram reagentes para as análises). Como o teor de cloro residual livre tende a apresentar queda ao longo do tempo, por meio de sua fácil degradação, é fundamental que as análises sejam realizadas *in loco* e imediatamente após a coleta (BRASIL, 2014). As análises de turbidez, iniciadas em 2010, foram ampliadas no ano seguinte, foram reduzidas em 2012, em 2013 apresentaram novo acréscimo, e não foram realizadas em 2014.

Justificativa similar às análises de cloro residual livre pode ser atribuída a esta queda no último ano da série apresentada. No caso de Ouro Preto, houve dificuldades para aquisição de insumos dos equipamentos de campo, reduzindo o número de análises de Cloro Residual Livre e Turbidez, como visto nas tabelas anteriores.

Tabela 14: Percentual de cumprimento da Diretriz Nacional do Plano de Amostragem de monitoramento de Cloro Residual Livre, Turbidez e Coliformes Totais, por ano.

Parâmetro	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014*
Cloro Residual Livre	0	0	0	6,71	14,12	11,81	14,58	0
Turbidez	0	0	0	6,71	14,35	12,27	9,49	0
Coliformes totais/ <i>E. coli</i>	0	0	23,38	36,34	26,62	39,35	56,02	54,41

*Neste ano houve alteração nos valores da Diretriz Nacional
Fonte: BRASIL (2014)

Entretanto, os valores alcançados ainda se encontram distantes da Diretriz Nacional do Plano de Amostragem, constituindo-se um grande desafio ao município, mesmo diante da redução no número de amostras ocorrida em 2014. Ao observarem-se os dados do ano de 2012, pode-se notar um importante aumento no número de análises de Coliformes Totais. Este valor pode ser atribuído à celebração de convênio para realização de análises de Coliformes Totais entre a Secretaria Municipal de Saúde, a UFOP e a Fundação Ezequiel Dias. No ano de 2013, por meio de parceria realizada com a FUNED, foram realizadas análises de metais e elementos traço em sete sistemas de abastecimento do município. Os resultados podem ser visualizados na tabela 15.

Tabela 15: Resultados de análises de metais e elementos traço de vigilância realizadas em sistemas de abastecimento do município realizadas em 2013

	Cobre (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Zinco (mg/L)	Cádmio (mg/L)	Chumbo (mg/L)	Cromo (mg/L)	Níquel (mg/L)
VMP (Port. 2.914/2011)	2	0,3	0,1	5	0,005	0,01	0,05	0,07
Lavras Novas	<0,05	0,54±0,04	<0,05	<0,05	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
ETA Jardim Botânico	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
ETA Antônio Pereira	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
ETA Vila Alegre	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
ETA Amarantina	<0,05	0,17±0,05	<0,05	<0,05	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
ETA Itacolomi	<0,05	0,09±0,01	<0,05	<0,05	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
ETA Funil	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

A única amostra que apresentou valor acima do permitido pela Portaria 2.914/2011 foi a de Lavras Novas, no parâmetro ferro. Ressalta-se que o sistema em questão possui apenas o tratamento simplificado, composto pela desinfecção. Existe no local parte da estrutura física de uma ETA convencional, com floculadores, decantadores e filtros, mas até o momento não estão em operação.

Outra particularidade do município de Ouro Preto refere-se à continuidade das referências técnicas em Vigilância em Saúde Ambiental, participando de atividades de capacitação e buscando se articular a outros atores, como a UFOP. É comum, na estrutura das SMS a rotatividade de servidores, o que ocorre em Ouro Preto de maneira reduzida. Na RMBH, houve até mesmo descontinuidade das ações do VIGIAGUA em determinados municípios, seja por mudanças políticas, pelo número reduzido de servidores ou pela baixa importância dada pelos gestores municipais a estas ações. Perde-se também muito tempo entre a substituição das novas referências técnicas, sua capacitação, a aquisição de insumos nos municípios e o reestabelecimento das rotinas de trabalho relacionadas ao programa, dadas as suas especificidades.

Como pode se observado na revisão acima, a questão da eficiência dos sistemas de tratamento de águas no município de Ouro Preto ainda não foi resolvida. Pelas particularidades geológicas e características dos sistemas de tratamento de água utilizados observa-se nos dados de monitoramento realizados por serviços de análises terceirizados e da vigilância em saúde ambiental valores de concentrações acima dos estabelecidos pela Portaria 2914/2011, em algumas campanhas de coleta. Desta forma é importante avaliar estas concentrações nas etapas de captação e pós-tratamento para se avaliar a eficiência na remoção destes pelo tratamento utilizado.

3. OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Discutir a presença dos elementos químicos arsênio, chumbo, cobre, cromo, ferro, manganês e zinco nas águas dos sistemas de abastecimento de água para consumo humano do município de Ouro Preto.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar e quantificar a presença de elementos químicos arsênio, chumbo, cobre, cromo, ferro, manganês e zinco nos mananciais de abastecimento público do município e na saída do tratamento das ETAs e outros sistemas, por meio de análise de amostras de água em Equipamento de Fluorescência de Raios X, por Reflexão Total (TXRF).

Realizar a análise e discussão sobre os dados relacionados ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano no município presentes no SISAGUA.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

PERÍODO DE COLETA

As coletas foram realizadas em dois momentos distintos: no dia 17 de setembro de 2013, no final da estação seca, e no dia 13 de novembro de 2013, já na estação chuvosa. Estes períodos distintos se justificam pela dinâmica de composição química presente na água, por meio do carreamento de sedimentos e diferente volume de água nestes cursos hídricos, o que pode acarretar em diferentes concentrações de compostos químicos, como no caso dos elementos em questão.

MATERIAIS UTILIZADOS

Foram utilizados para coleta os seguintes materiais:

- Tubos *Falcon* com capacidade para 50mL;
- Luvas de procedimento;
- Caixa plástica para transporte;
- Seringas de 1mL;
- Caneta para retroprojeter;
- Unidades de Gelo reutilizável.

Para análise, os seguintes materiais:

- Microtubos tipo *Eppendorf*® com capacidade para 1 mL;
- Filtros de celulose para seringa com poro de 25 µm;
- Ponteiras de 200-1000 µg;
- Padrões de calibração de Gálio e Escândio;
- Capela de fluxo laminar vertical;

- Graxa de silicone *Dow Corning*®;
- Discos de quartzo;
- Placas de *Petri*;
- Equipamento de Fluorescência de Raios – X por Reflexão Total S2 *Picofox*® (*Bruker*) com excitação por tudo de raios – X de Mo K e operado com voltagem de 50kV e corrente de 700 μ A;

LOCAIS DE COLETA

Foram realizadas coletas de água em dez sistemas de abastecimento de água. Os pontos de coleta escolhidos foram a chegada de água bruta e a saída de tratamento. No caso dos sistemas de abastecimento com tratamento simplificado, no ponto de captação de água bruta e em um ponto do sistema de distribuição (Unidades Básicas de Saúde ou ponto do sistema de distribuição próximo à saída do reservatório).

Todas as ETAs do município foram elencadas para a realização do trabalho: 1) Itacolomi, 2) Jardim Botânico, 3) Vila Alegre, 4) Funil, 5) Antônio Pereira e 6) Amarantina. As ETAs Itacolomi e Jardim Botânico abastecem a sede do município; as ETAs Vila Alegre e Funil abastecem ao distrito de Cachoeira do Campo; as ETAs Antônio Pereira e Amarantina abastecem os distritos com seus respectivos nomes. Estas estruturas abastecem a maior parte da população urbana do município. Além destes pontos, foram realizadas coletas em outros dois sistemas de abastecimento de água com tratamento simplificado (cloração): Lavras Novas e Santa Rita de Ouro Preto; e ainda, duas soluções alternativas coletivas com tratamento simplificado (cloração) próximas a *sites* de mineradoras: Miguel Burnier e Mota.

Tabela 16: Locais de coleta

Locais de coleta	Água bruta	Água tratada
ETA Jardim Botânico	Torneira de chegada de água bruta	Torneira de saída de água tratada
ETA Itacolomi	Torneira de chegada de água bruta	Torneira de saída de água tratada
ETA Funil	Torneira de chegada de água bruta	Torneira de saída de água tratada
ETA Vila Alegre	Torneira de chegada de água bruta	Torneira de saída de água tratada
ETA Amarantina	Torneira de chegada de água bruta	Torneira de saída de água tratada
ETA Antônio Pereira	Torneira de chegada de água bruta	Torneira de saída de água tratada
SAA Lavras Novas	Barragem de captação de água bruta	Torneira da Rua do Cruzeiro (primeiro ponto da rede de distribuição)
SAA Santa Rita de Ouro Preto	Barragem de captação de água bruta	Torneira externa da Unidade Básica de Saúde
SAC Miguel Burnier	Reservatório de água bruta	Torneira externa da Unidade Básica de Saúde
SAC Mota	Barragem de captação de água bruta	Torneira externa da Unidade Básica de Saúde

As ETAs contemplam as etapas do tratamento convencional: mistura rápida e coagulação; floculação; decantação; filtração e desinfecção. Já as demais estruturas contemplam apenas a etapa de desinfecção (tratamento simplificado). Os locais de coleta podem ser visualizados nas tabelas 16 e 17, e nas figuras 4 a 28.

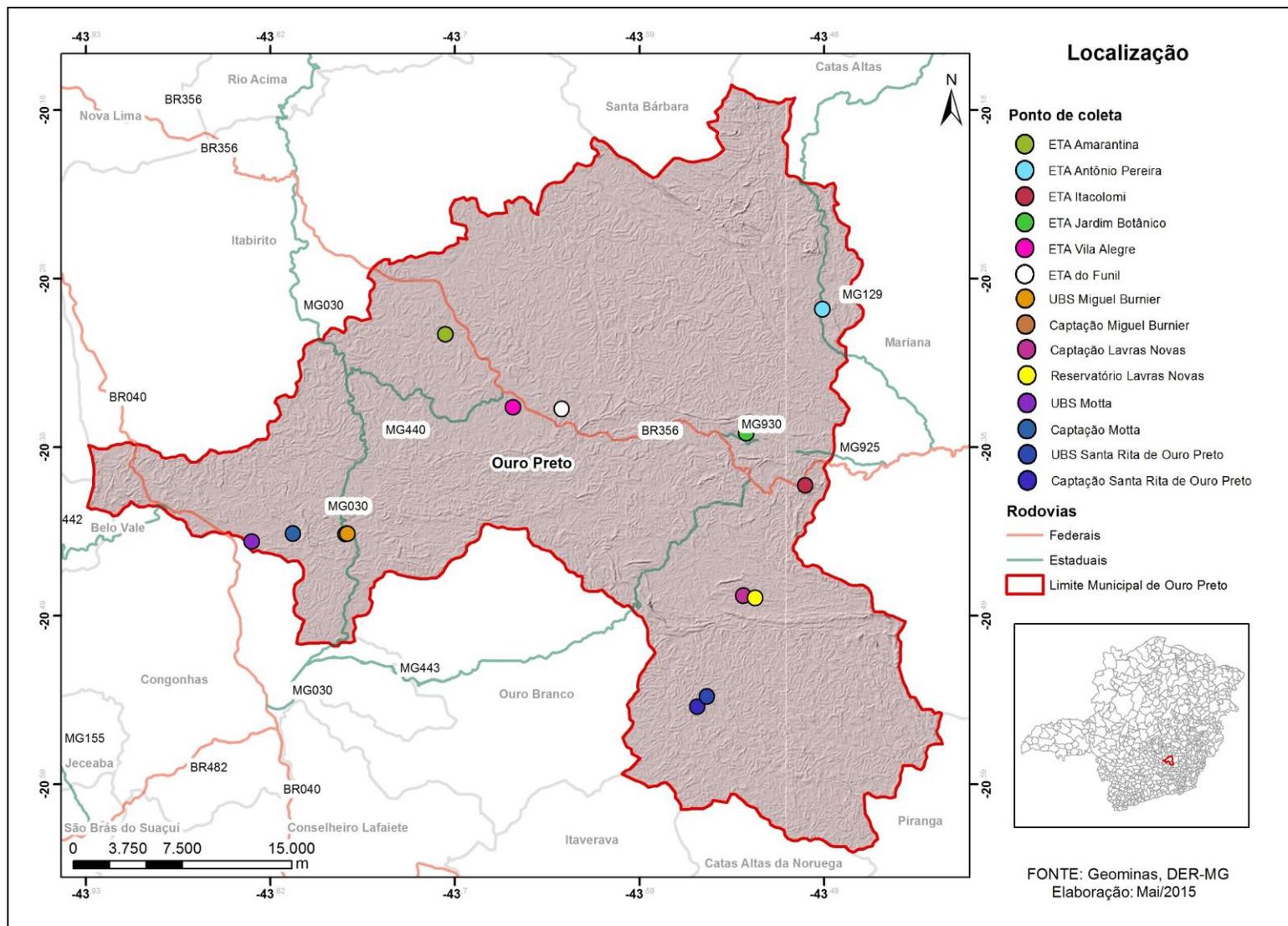


Figura 4: locais de coleta

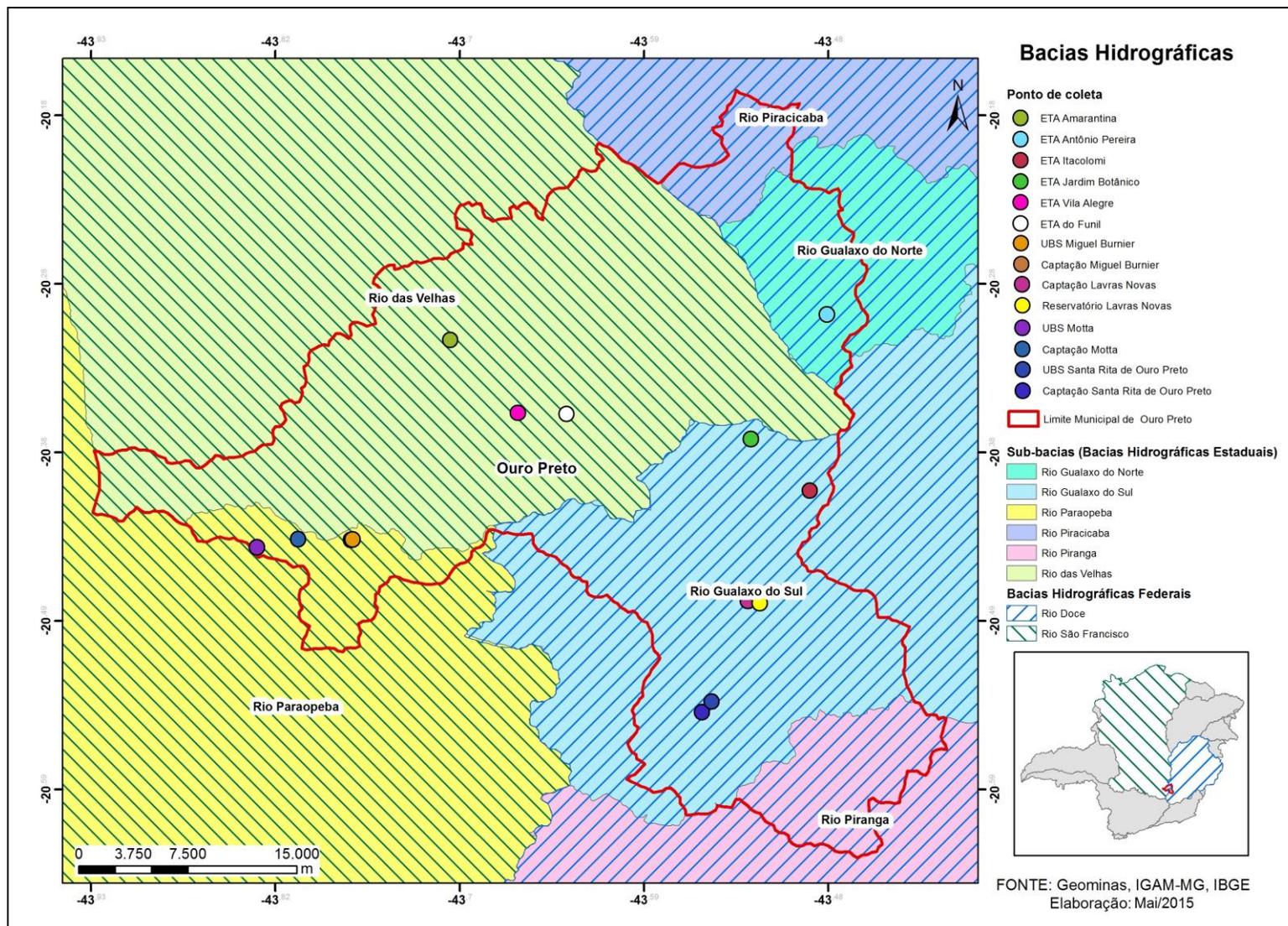


Figura 5: locais de coleta por bacia hidrográfica

Tabela 17: locais de coleta com coordenadas geográficas por bacia hidrográfica

Locais de coleta	Latitude*	Longitude*	Bacia Hidrográfica
ETA Jardim Botânico	-20,37514	-43,5247	Rio Gualaxo do Sul/Rio Doce
ETA Itacolomi	-20,40696	-43,48816	Rio Gualaxo do Sul/Rio Doce
ETA Funil	-20,36000	-43,63857	Rio das Velhas/Rio São Francisco
ETA Vila Alegre	-20,35917	-43,66867	Rio das Velhas/Rio São Francisco
ETA Amarantina	-20,31439	-43,71060	Rio das Velhas/Rio São Francisco
ETA Antônio Pereira	-20,29882	-43,47757	Rio Gualaxo do Norte/Rio Doce
Captação Lavras Novas	-20,47467	-43,52649	Rio Gualaxo do Sul/Rio Doce
Reservatório Lavras Novas	-20,47597	-43,51927	Rio Gualaxo do Sul/Rio Doce
Captação Santa Rita de Ouro Preto	-20,54280	-43,55484	Rio Gualaxo do Sul/Rio Doce
UBS Santa Rita de Ouro Preto	-20,53640	-43,54877	Rio Gualaxo do Sul/Rio Doce
Captação Miguel Burnier	-20,43701	-43,77205	Rio Paraopeba/Rio São Francisco
UBS Miguel Burnier	-20,43677	-43,77111	Rio Paraopeba/Rio São Francisco
Captação Mota	-20,43659	-43,80464	Rio Paraopeba/Rio São Francisco
UBS Mota	-20,44163	-43,83007	Rio Paraopeba/Rio São Francisco

* Dados obtidos em SAD 69.

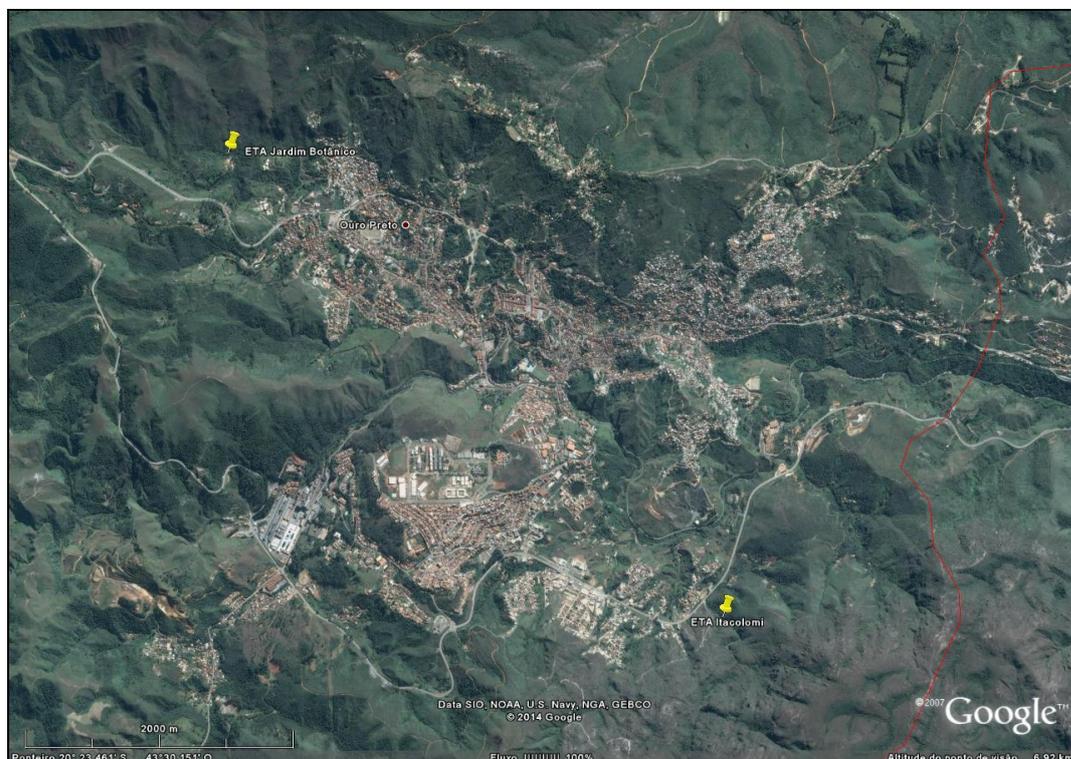


Figura 6: ETAs Jardim Botânico e Itacolomi (sede).

Fonte: Google Earth (adaptado)



Figura 7: captação principal da ETA Jardim Botânico

Fonte: acervo do autor



Figura 8: ETA Jardim Botânico

Fonte: acervo do autor



Figura 9: captação da ETA Itacolomi

Fonte: acervo do autor



Figura 10 – ETA Itacolomi

Fonte: acervo do autor.

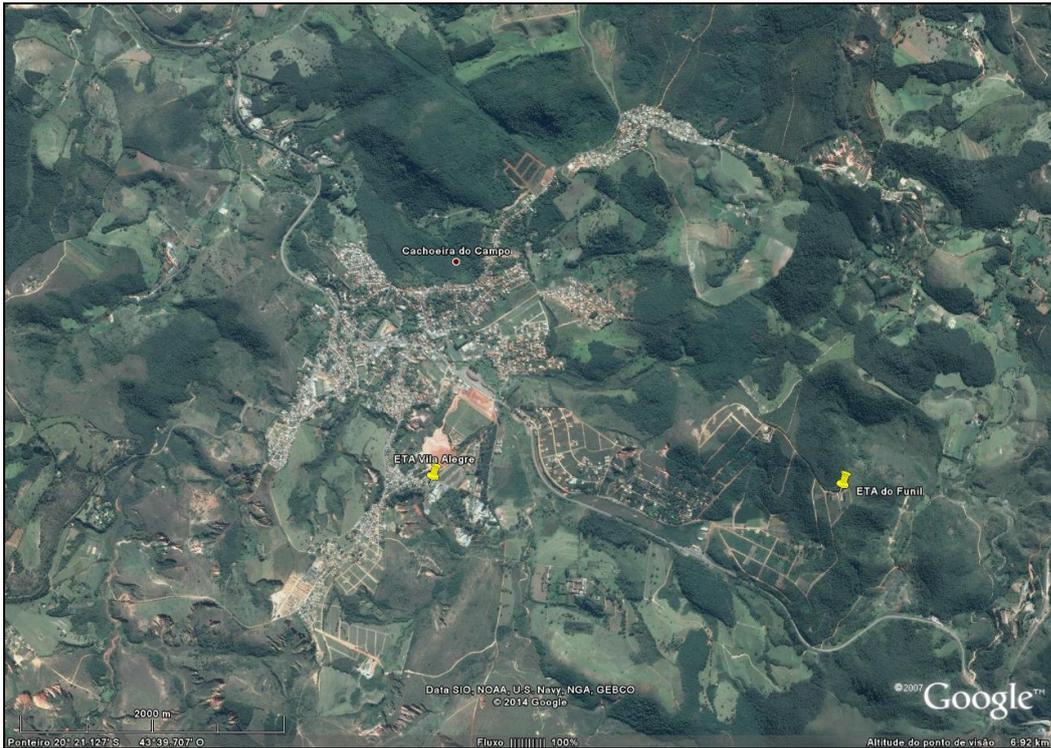


Figura 11: ETAs Funil e Vila Alegre (distrito de Cachoeira do Campo)

Fonte: Google Earth (adaptado)



Figura 12: barragem de captação da ETA Funil

Fonte: acervo do autor



Figura 13: ETA Funil

Fonte: acervo do autor



Figura 14: captação da ETA Vila Alegre

Fonte: acervo do autor



Figura 15: ETA Vila Alegre

Fonte: acervo do autor

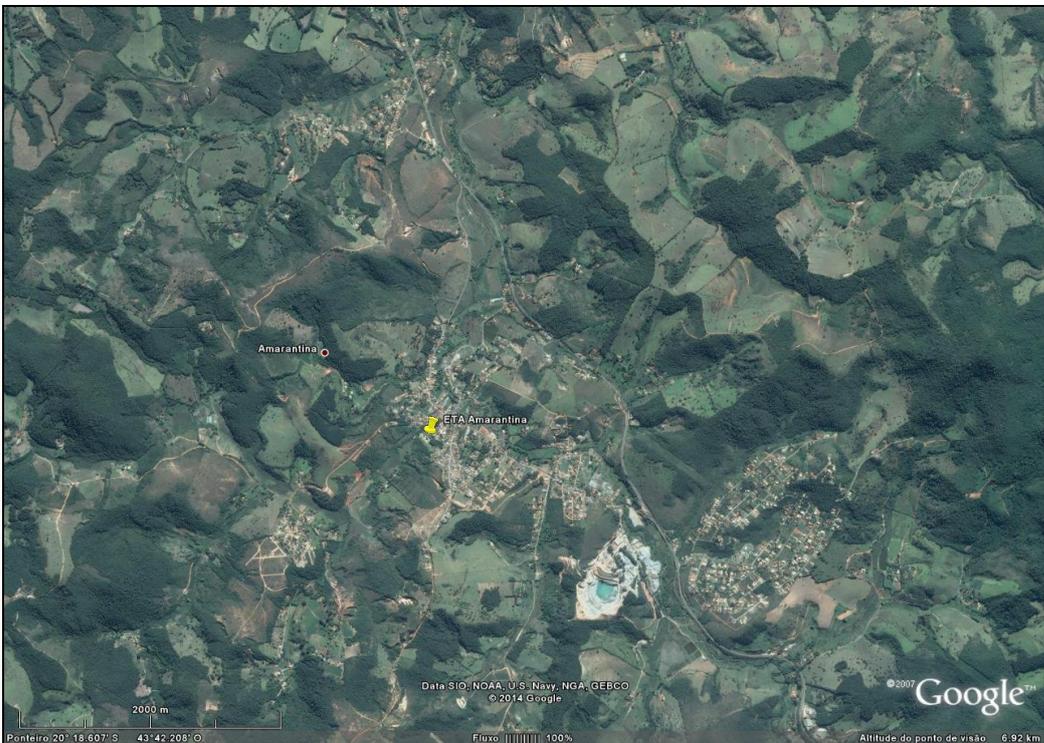


Figura 16: ETA Amarantina

Fonte: Google Earth (adaptado)



Figura 17: barragem de captação da ETA Amarantina

Fonte: acervo do autor



Figura 18: ETA Amarantina

Fonte: acervo do autor

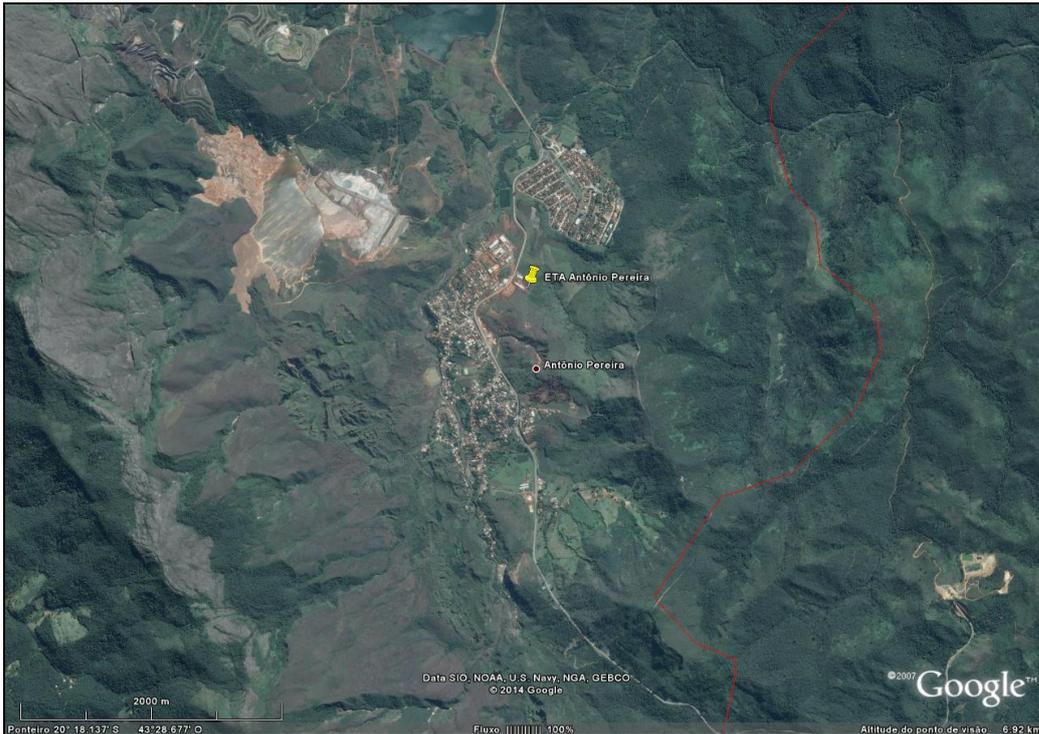


Figura 19: ETA Antônio Pereira

Fonte: Google Earth (adaptado)



Figura 20: barragem da captação principal da ETA Antônio Pereira

Fonte: acervo do autor



Figura 21: ETA Antônio Pereira

Fonte: acervo do autor

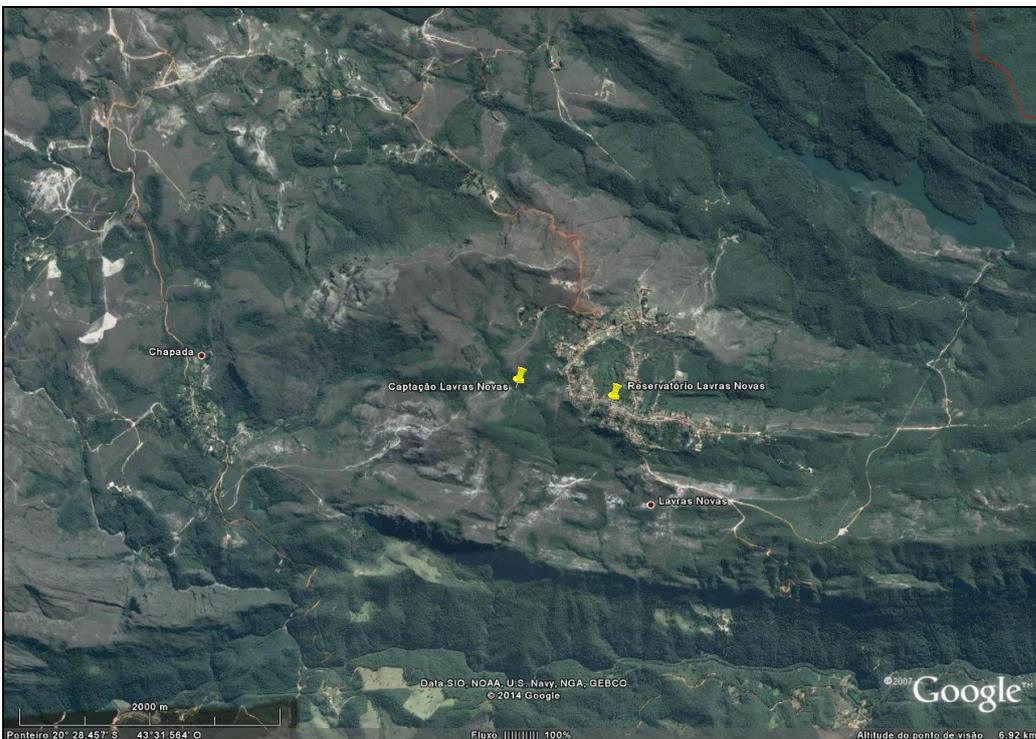


Figura 22: SAA Lavras Novas

Fonte: Google Earth (adaptado)



Figura 23: captação principal de Lavras Novas

Fonte: acervo do autor



Figura 24: reservatório de concreto de Lavras Novas

Fonte: acervo do autor

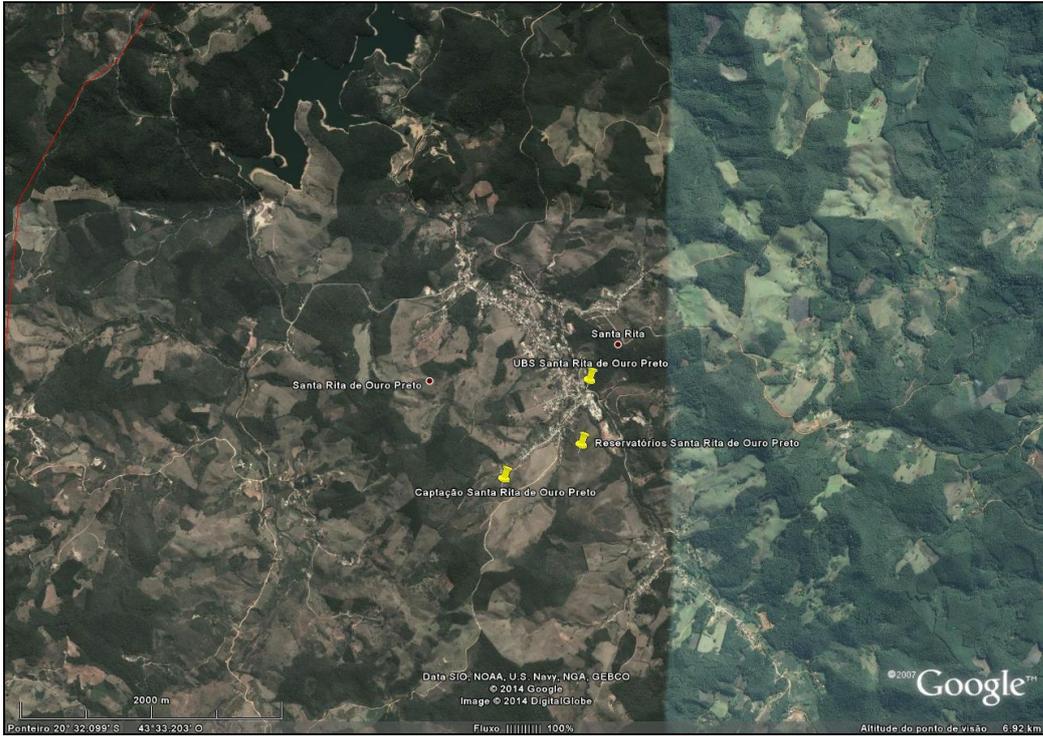


Figura 25: SAA Santa Rita de Ouro Preto

Fonte: Google Earth (adaptado)



Figura 26: captação superficial de Santa Rita de Ouro Preto

Fonte: acervo do autor



Figura 27: SACs Miguel Burnier e Mota (distrito de Miguel Burnier)

Fonte: Google Earth (adaptado)



Figura 28: captação de Mota

Fonte: acervo do autor



Figura 29: captação de Miguel Burnier

Fonte: acervo do autor

PROCEDIMENTOS DE PREPARO E ANÁLISE

Foram coletados 50 mL em cada local de coleta, em tubos *Falcon*. Em seguida, os tubos foram fechados, foi realizada sua identificação por meio de escrita com caneta para retroprojeter, e por fim foram acondicionados em caixa plástica para transporte revestida de frascos de gelo reutilizável. Após o término das coletas, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Caracterização Molecular e Espectrometria de Massas (LCMEM-UFOP), onde foram acondicionadas em refrigerador até o momento da análise.

O preparo das amostras para análise foi realizado em diferentes etapas. A primeira consistiu na filtração das amostras, utilizando-se seringa com filtro de 25 μm . Em seguida, foram adicionados 20 μL de padrões de Gálio e Escândio nos tubos *Eppendorf*®, onde foram

acrescentados posteriormente 300 μL das amostras filtradas. Com isto, o volume final apresentou concentração final dos padrões de 187,5 $\mu\text{g/L}$. O passo seguinte foi a liofilização das amostras.

Após este processo, houve a preparação dos discos de quartzo para análise, consistindo na aplicação de solução de graxa de silicone diluída em tolueno na porção central dos discos de quartzo com posterior secagem em capela de fluxo laminar.

Concluída a primeira secagem, 10 μL das amostras concentradas foram aplicadas nas placas sobre o local da aplicação de graxa de silicone, na porção central, onde novamente foram levadas à capela de fluxo laminar para secagem. Por fim, os discos quartzo contendo as amostras secas foram levadas para análise no equipamento TXRF, em período de contagem de 1.200 segundos. O fluxo dos procedimentos realizados pode ser visualizado na Figura 30.

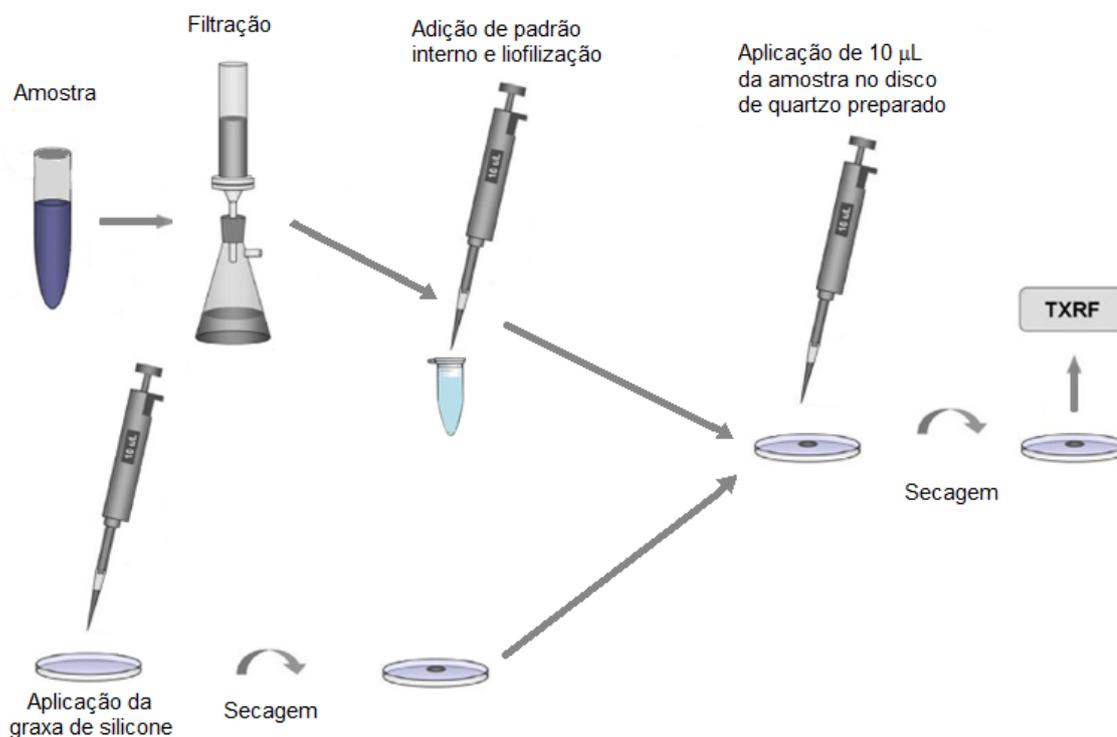


Figura 30: etapas de preparo da amostra. Adaptado de MARGUI *et al*, 2014.

O MÉTODO DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X POR REFLEXÃO TOTAL (TXRF)

A técnica de Fluorescência de Raios-X por Reflexão Total (TXRF) consiste em um importante método para rastreamento e análise de elementos traço. Inicialmente aplicado à indústria de semicondutores, nos últimos anos tem sido utilizada em análises ambientais, biológicas, industriais (DE LA CALLE *et al*, 2013) e de alimentos (BORGESSE *et al*, 2015). Na parte ambiental, este método tem sido utilizado em análises de solo e água (IMASHUKU *et al*, 2013; TOWETT *et al*, 2013).

Este método tem ganhado maior aceitação em razão do tamanho reduzido dos aparelhos mais recentes, sendo que nos últimos anos os aparelhos possuem sistemas de bancada e portáteis. Isto torna a operação do TXRF simplificada em comparação com outros dispositivos de grande escala. Dentre outras vantagens do método estão o baixo ou nenhum consumo da amostra, capacidade de análise multielementar simultânea e calibração simplificada (IMASHUKU *et al*, 2013). Além disto, pode-se identificar como vantagem do TXRF na análise de água o baixo limite de detecção de determinados elementos, chegando a atingir limite de detecção de partes por bilhão (STOSNACH, 2005; BORGESSE *et al*, 2015). A partir destas características, a aplicação do método tornou-se bastante utilizada em análises ambientais, sobretudo a partir da década de 1990 (DE LA CALLE *et al*, 2013).



Figura 31: aparelho TXRF S2 Picofox® do LCMEM – UFOP. Acervo do autor.

O método TXRF é uma modificação geométrica da fluorescência de raios-X, com substantiva melhora de sensibilidade. O TXRF utiliza uma fina película como amostra e um refletor de raios-X como transportador da amostra. O detector se posiciona a poucos milímetros da superfície da amostra, perpendicularmente, sendo que amostra pode estar na forma de um resíduo seco aplicada sobre a superfície de um refletor plano (quartzo, acrílico, policarbonato) (STOSNACH, 2005).

Considerando que determinados elementos químicos presentes na água para consumo humano são potencialmente tóxicos para os seres humanos, o método TXRF pode ser aplicado para sua identificação e quantificação, apresenta significativa importância ao oferecer uma rápida e confiável análise quantitativa (BORGESSE *et al*, 2015). A figura 32 apresenta um espectro de análise gerada pelo aparelho TXRF S2 *Picofox*® do LCMEM – UFOP para uma das amostras deste trabalho.

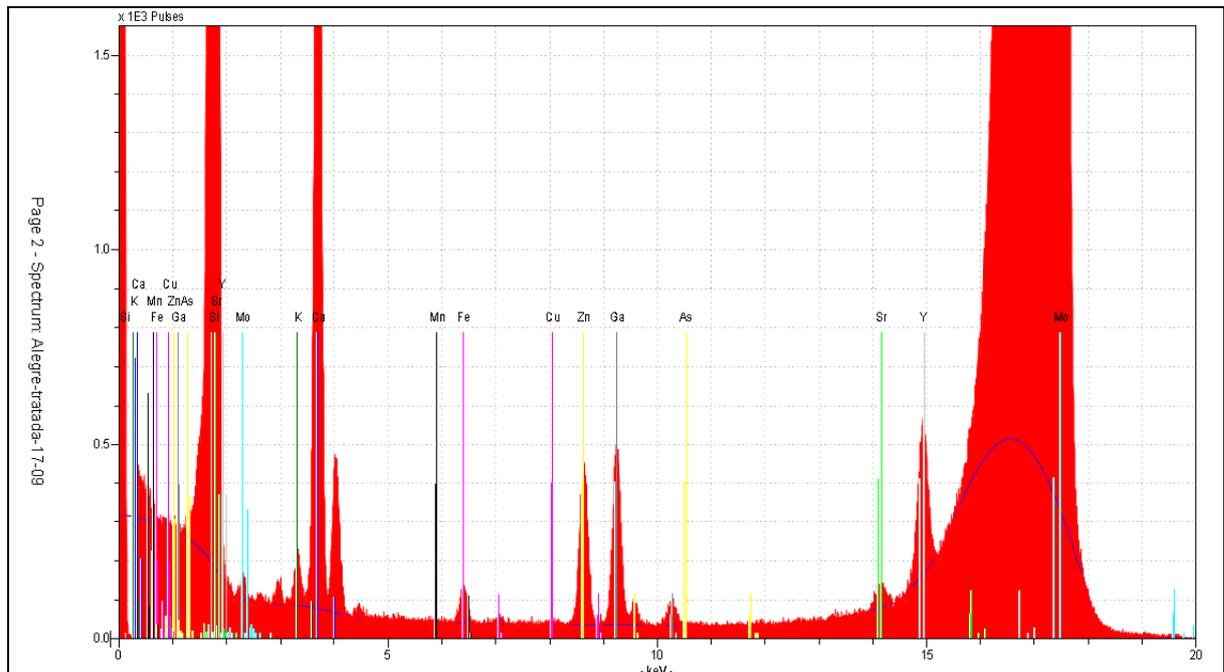


Figura 32: Espectro de fluorescência de raios – X na análise realizada pelo aparelho TXRF S2 *Picofox*® do LCMEM – UFOP

VALIDAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE

A validação do método otimizado se faz necessária a fim de que seja determinada a confiabilidade do mesmo por meio da medida das figuras de mérito, para que, por conseguinte, a sua aplicação seja possibilitada em amostras naturais. Para tal procedimento, os seguintes parâmetros foram validados:

- Seletividade: No aparelho TXRF foram atribuídas às linhas de emissão de radiação características a cada elemento químico e avaliada a sobreposição de picos pela deconvolução dos espectros pelo software SPECTRA da *Bruker*® do equipamento;
- Curva analítica e ajuste: No caso da técnica de TXRF, não se aplica curvas analíticas, as respostas em contagem de área dos elementos encontrados são comparadas com a resposta de um padrão interno adicionado as amostras antes da sua secagem.
- Exatidão: No método de fluorescência de raios – X por reflexão total foi feita por comparação com valores de material certificado de referência (CRM 1643d - Trace Elements in Water) de elementos traços em água, conforme descrito por Quaresma (2014).
- Precisão: Foi avaliada pelo coeficiente de variação em replicatas do CRM, preparados e analisados no mesmo dia;
- Limite de Detecção (LD) e Limite de Quantificação (LQ): No método de fluorescência de raios – X por reflexão total, o LD é fornecido pelo software SPECTRA da *Bruker*® (QUARESMA, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este trabalho identificou a presença dos elementos químicos analisados na maioria das amostras coletadas no município de Ouro Preto. Foram encontrados níveis acima dos especificados para manganês, ferro e arsênio na água bruta. Concentrações de manganês acima do permitido para água tratada foram identificadas nas ETAs de Amarantina, Funil e Vila Alegre, em ambas as coletas. Nenhuma amostra de água tratada apresentou resultado acima do permitido para cobre, zinco, arsênio, cromo e chumbo. Para águas não tratadas foram encontradas quantidades significativamente maiores de resultados acima do máximo permitido, sugerindo eficácia dos mecanismos de tratamento na remoção destes. São apresentados a seguir os resultados obtidos:

Tabela 18: resultados de análises de água bruta

	Manganês		Ferro		Cobre		Zinco		Arsênio		Cromo		Chumbo	
	17/set	13/nov	17/set	13/nov	17/set	13/nov	17/set	13/nov	17/set	13/nov	17/set	13/nov	17/set	13/nov
VMP (µg/L)*	100		300		2000		5000		10		50		10	
Amarantina	109,9	131,8	2.027,4	1.906,8	290,8	4	272,2	39,9	8,06	5,7	<7	<10	10	<3
Antônio Pereira	25,3	27,4	<5,2	33,5	<3,2	<4,9	141,7	316,8	<2,1	<3,3	<8,2	20,8	<3	<4
Funil	136,5	239	164,4	660,8	<2	4,71	134,7	49,3	<1,5	14	<5,8	9,6	<2	<3
Itacolomi	<4,1	<7	107,8	43,4	<2	<3	203,1	<2,7	3,97	<2	<5,1	<8	<2	<3
Jardim Botânico	<6,7	<5,2	124,1	56,9	<3,2	3,41	258,8	<2	<2,1	<1,59	<8,3	<6,3	<2,7	<2
Vila Alegre	125,3	1.179,2	405,4	1.479,8	414,1	<2,6	348,7	145,5	10,6	8,56	<15	<7,4	7,8	<2
Lavras Novas	14,4	31,7	542,7	439,2	<2,3	<1,71	121,5	<1,5	<1,52	6,91	<6,1	<4,6	<2	<1
Miguel Burnier	<2,4	<8,7	25	17,9	<1,2	<4	105,8	<3,5	<0,8	<2,6	<3	<10,6	<1	<3,3
Mota	33,9	66,9	36,6	179,3	67,2	5,91	49,6	112,6	<0,86	1,8	<3,3	<6,7	<1,09	<2
Santa Rita	80,4	63,7	782,4	4.383,8	<5	<2,7	286,5	<2,3	7,2	7,36	<14	<7,5	<4	2,5

*VMP: Valores Máximos Permitidos pela Portaria 2.914/2011 para água tratada.

Tabela 19: resultados de análises de água tratada

	Manganês		Ferro		Cobre		Zinco		Arsênio		Cromo		Chumbo	
	17/set	13/nov	17/set	13/nov	17/set	13/nov	17/set	13/nov	17/set	13/nov	17/set	13/nov	17/set	13/nov
VMP (µg/L)*	100		300		2000		5000		10		50		10	
Amarantina	<10	<9	66,1	98,2	5,6	6,91	324,3	273,6	<2,9	5,2	12	<11	<4	<3
Antônio Pereira	36,1	15,9	16,8	28,2	207,9	<1,64	178,3	38,9	2,57	<1,1	<4,7	<4,3	3,59	<1
Funil	<5,3	<5	16,3	15,1	<2,6	<2,4	195,7	<2,1	<1,7	<1,54	<6,6	<6,2	<2	<2
Itacolomi	<11	<5,2	<8,3	68,6	<5,2	<2,4	14,3	117,2	<3,5	<1,6	<14	<6,4	<4,5	2,7
Jardim Botânico	<9	5,5	80,1	26,9	<4,3	<2,5	189,4	<2,3	<2,9	<1,7	<11	<7	<4	<2
Vila Alegre	<5,4	10	28,5	<2,2	<2,6	<1,3	167,4	<1,16	<1,7	2,89	<6,7	<3,5	<2	<1
Lavras Novas	9,3	22,7	176,4	709,8	25	<1,71	242,4	<1,5	<1,9	5,04	<7	<4,6	<2	<1,45
Miguel Burnier	7	<6,9	29,4	56,8	3,2	<3,3	173,1	<2,9	2,1	3	8	15	3	<3
Mota	38,6	133,4	63,6	243,7	1,83	<3,4	53	10	<1,2	<2,2	<4,7	<9	<2	<3
Santa Rita	45	<7,7	771,6	253,6	3,2	<3,5	123,7	<3,0	<1,76	6,0	<6,8	<9	<2	4,5

*VMP: Valores Máximos Permitidos pela Portaria 2.914/2011 para água tratada.

Tabela 20: Distribuição de amostras fora do padrão segundo tipo de água

	Dentro do padrão	Fora do padrão
Água bruta	53	17
Água tratada	67	3

Tabela 21: Distribuição de amostras de água tratada fora do padrão segundo tipo de tratamento

Tipo de tratamento	Dentro do padrão	Fora do padrão
Simplificado	25	3
Convencional	42	0

Como pode ser visualizado na Tabela 19, nenhuma amostra de água tratada oriunda de Estações de Tratamento de Água apresentou resultados acima do permitido, e três oriundas de sistemas com tratamento simplificado tiveram resultados superiores, sendo duas para ferro e uma para manganês.

Chama a atenção a concentração de manganês na água bruta que abastece a ETA Vila Alegre, na coleta do mês de novembro, com valor onze vezes acima do máximo permitido pela Portaria 2.914/2011. Este valor também está acima dos valores de referência da Resolução CONAMA 357/2005 para as classes 1, 2 e 3, considerando-se o enquadramento do corpo hídrico.

Já em relação à água tratada, apenas uma amostra apresentou valor de manganês superior ao máximo permitido (Mota, em novembro/2013). Esta amostra apontou concentração 30% acima do máximo permitido. O manancial em questão se situa próximo a *sites* de mineração, o que pode interferir na concentração desta substância. Além disto, a única etapa de tratamento de água deste sistema consiste na desinfecção com cloro, onde pode ocorrer a oxidação deste elemento. As demais análises de água tratada acima do máximo permitido apresentaram valores superiores a 130% para ferro, em Lavras Novas e Santa Rita de Ouro Preto.

Todos os resultados das análises de água tratada realizadas em sistemas com tratamento convencional apresentaram resultados satisfatórios, se enquadraram na portaria MS 2914/2011. Isto pode ser explicado pelo conjunto de etapas que compõem o tratamento convencional: mistura rápida, floculação, decantação, filtração e desinfecção, que em conjunto são capazes de reduzir significativamente os níveis destes elementos na água tratada (HELLER e PÁDUA, 2006; LIBÂNIO, 2010).

Neste sentido, o trabalho acadêmico realizado por Pires (2013) contribuiu para a otimização das estruturas de tratamento convencional do município, uma vez que buscou reduzir a quantidade destes elementos na água tratada. Ao realizar ensaios de otimização do tratamento por clarificação para remoção de turbidez com Policloreto de Alumínio (PAC), além da implantação da etapa de pré-oxidação por meio da aplicação de Hipoclorito de Sódio em

ETAs do município, conseguiu-se uma relevante redução de arsênio e manganês na água tratada.

Ressalta-se que a Portaria 2.914 aceita valores superiores aos máximos permitidos em relação ao ferro e ao manganês, desde que não ultrapassem 2.400 e 400 microgramas, respectivamente (BRASIL, 2011). Considerando-se estes limites, somente a amostra de água bruta da ETA Vila Alegre do mês de novembro supera estes valores para manganês (cerca de 200% acima), e somente a amostra de água bruta de Santa Rita de Ouro Preto do mês de novembro supera este valor para ferro (cerca de 175% acima).

Comportamento um pouco diferente apresentam os resultados relativos ao ferro nas amostras de água bruta. As duas coletas de água bruta de Amarantina, Lavras Novas, Santa Rita e Vila Alegre apresentaram valores superiores ao máximo permitido, enquanto uma das amostras de Funil também apresentou valor acima do permitido. Nas duas amostras de Amarantina os valores ficaram entre seis e sete vezes acima do máximo permitido; enquanto as amostras de Lavras Novas ficaram entre uma e duas vezes. Já as amostras de Santa Rita apresentaram resultados respectivos entre 2,5 vezes e quase quinze vezes acima do VMP para ferro. Por último, Vila Alegre teve resultados entre 1,3 e quase cinco vezes acima do VMP.

As tabelas 22 e 23 apresentam os percentuais de remoção dos elementos analisados, comparando-se os dados das coletas de água bruta e tratada. Ressalta-se que não foi calculado o tempo de detenção da água entre a captação e a saída de tratamento, o que pode explicar, de forma parcial, a variação entre as concentrações encontradas. Destaca-se, nos dados encontrados, um elevado percentual de remoção de manganês, ferro e cobre nas ETAs Amarantina, Funil e Vila Alegre.

Tabela 22: Percentual de remoção de manganês, ferro e cobre

Tratamento	Período	Manganês		Ferro		Cobre	
		17/set	13/nov	17/set	13/nov	17/set	13/nov
Convencional	Amarantina	>90,90%	93,17%	96,74%	94,85%	98,07%	(72,75%)
	Antônio Pereira	(42,69%)	<41,97%	(223,08%)	15,82%	<(6397%)	66,53%
	Funil	96,12%	97,91%	90,09%	97,71%	*	>49,04%
	Itacolomi	<(168,29%)	25,71%	92,30%	(58,06%)	*	>20,00%
	Jardim Botânico	*	(5,77%)	35,46%	52,72%	*	>26,69%
	Vila Alegre	95,69%	99,15%	92,97%	>99,85%	99,37%	50,00%
Simplificado	Lavras Novas	35,42%	28,39%	67,50%	(61,61%)	(987%)	0,00%
	Miguel Burnier	<(191,67%)	20,69%	(17,60%)	(217,32%)	(167%)	17,50%
	Mota	(13,86%)	(99,40%)	(73,77%)	(5,92%)	97,28%	42,47%
	Santa Rita	44,03%	87,91%	1,38%	94,22%	36,00%	(29,63%)

* Ambos valores abaixo do limite de detecção

Tabela 23: Percentual de remoção de zinco, arsênio, cromo e chumbo

Tratamento	Período	Zinco		Arsênio		Cromo		Chumbo	
		17/set	13/nov	17/set	13/nov	17/set	13/nov	17/set	13/nov
Convencional	Amarantina	(19,14%)	(585,71%)	>64,02%	8,77%	<(71,43%)	*	>60,00%	*
	Antônio Pereira	(25,83%)	87,72%	<(22,38%)	*	*	>79,33%	<(19,67%)	*
	Funil	(45,29%)	>95,74%	*	>89,00%	*	>35,42%	*	*
	Itacolomi	92,96%	<(4240%)	11,84%	*	*	*	*	<10,00%
	Jardim Botânico	26,82%	*	*	*	*	*	*	*
	Vila Alegre	51,99%	>99,20%	>83,96%	66,24%	*	*	>74,36%	*
Simplificado	Lavras Novas	(99,51%)	*	*	27,06%	*	*	*	*
	Miguel Burnier	(63,61%)	*	<(162,5%)	<(15,38%)	<(166,7%)	<(41,58%)	<(200%)	*
	Mota	(6,85%)	91,12%	(39,53%)	(22,22%)	*	*	*	*
	Santa Rita	56,82%	*	75,56%	18,48%	*	*	*	(80,00)%

* Ambos valores abaixo do limite de detecção

Em relação às demais análises de água bruta, destacam-se a presença de arsênio acima do VMP na captação da ETA Vila Alegre na coleta do mês de setembro e na captação da ETA do Funil, no mês de novembro, ambas na microbacia do Rio Maracujá, em Cachoeira do Campo. Como se trata de elemento traço de grande risco à saúde em baixas concentrações, cabe destacar a importância de seu monitoramento constante. A amostra de Vila Alegre, com concentração de 10,6 microgramas, ultrapassou em 6% o máximo permitido pela Portaria 2.914/2011, enquanto a de Funil ultrapassou em 40%. Considerando o enquadramento de cursos hídricos, estes resultados são inferiores ao valor máximo de referência da classe 3 da Resolução CONAMA 357/2005 (33 microgramas/Litro), cujas águas podem ser destinadas ao abastecimento público após tratamento convencional ou avançado (BRASIL, 2005). A tabela 22 compara os VMPs da Portaria 2.914/2011 com os valores das classes 2 e 3 da Resolução CONAMA 357/2005.

Tabela 24: Valores máximos da Resolução CONAMA 357 e Portaria 2.914

	CONAMA 357		Portaria 2.914
	Classes 1 e 2	Classe 3	
Arsênio	0,01 mg/L	0,033 mg/L	0,01 mg/L
Chumbo	0,01 mg/L	0,033 mg/L	0,01 mg/L
Cobre	0,009 mg/L	0,033 mg/L	2 mg/l
Cromo	0,05 mg/L	0,05 mg/L	0,05 mg/L
Ferro	0,3 mg/L	5,0 mg/L	0,3 mg/L
Manganês	0,1 mg/L	0,5 mg/L	0,1 mg/L
Zinco	0,18 mg/L	5 mg/L	5 mg/L

Em trabalho de 2004, Borba *et al* identificaram presença de arsênio em águas subterrâneas do município de Ouro Preto acima do VMP em todas as sete amostras coletadas. Este trabalho destaca ainda a utilização de minas no bairro Piedade onde foi identificada a presença de arsênio acima do VMP da legislação vigente (à época, a Portaria 1.469/2000, cujo valor se manteve na Portaria 2.914/2011).

O trabalho de Guimarães-Silva *et al* (2007), ao analisar amostras de água em curso natural na região de mineração de topázio no distrito de Rodrigo Silva (Ouro Preto), encontrou resultados elevados de concentração de manganês, apontando como provável fator para estes resultados a proximidade dos pontos de coleta com minas desativadas.

No ano de 2010 o trabalho de Leite *et al* analisou composição química de águas superficiais em 25 pontos do Parque Estadual do Itacolomi, cuja área está situada nos municípios de Ouro Preto e Mariana. As análises identificaram a ocorrência de alumínio, ferro, manganês e zinco, porém, os valores estão em conformidade com a classe 2 da Resolução Conama 357/2005.

Varejão *et al* (2011) realizaram análises de arsênio, cádmio, cobalto, cromo, cobre, níquel, chumbo e zinco em águas superficiais do Ribeirão do Carmo nos municípios de Ouro Preto e Mariana. Os valores encontrados para arsênio ficaram acima da classe 2, tomando em conta

os valores de referência da Resolução CONAMA 357/2005. Já para os demais elementos os resultados estão abaixo do limite, considerando valores da classe 2.

Já Gonçalves e Lena (2013), em estudo realizado na área urbana de Ouro Preto, nos bairros Piedade, Padre Faria, Antônio Dias, Alto da Cruz, Taquaral e Barra, analisaram amostras de água e solo e concluíram que os níveis de risco à exposição ao arsênio eram inaceitáveis, especialmente para crianças. A média das 24 análises de água realizadas no trabalho foi superior ao VMP da Portaria 2.914 (10 µg/L). Ressalta-se que para chegar à conclusão sobre o risco de exposição foram avaliados os hábitos da população local.

Pires (2013) também destaca a presença de arsênio em concentração superior ao VMP na bica do Padre Faria, no bairro de mesmo nome. Em razão desta elevada concentração, a bica encontra-se interditada para consumo humano, a fim de reduzir o risco de contaminação à população local. O quadro comparativo entre os resultados deste trabalho e a literatura consultada pode ser visualizado na tabela 25.

Tabela 25: Quadro comparativo entre os resultados deste trabalho e a literatura consultada

Resultados e recomendações	Revisão de literatura
Implantação de tratamento convencional (Santa Rita, Mota: Fe e Mn acima do VMP)	Necessidade de implantação do tratamento convencional em Santa Rita de Ouro Preto e Mota (PREFEITURA MUNICIPAL DE OURO PRETO, 2013).
Reativação da ETA de Lavras Novas (Fe acima do VMP, tratamento simplificado).	Necessidade de reativação da ETA de Lavras Novas (PREFEITURA MUNICIPAL DE OURO PRETO, 2013).
Realização de análises constantes em todos os sistemas do município (controle e monitoramento).	Ampliação de análises constantes em todos os sistemas – controle (PREFEITURA MUNICIPAL DE OURO PRETO, 2013).
Resultados de análises em ETAs dentro dos VMP.	Processos complementares de tratamento nas ETAs (PIRES 2013).
Presença de Fe, Mn e As em mananciais de abastecimento.	Presença de Fe, Mn e As em águas superficiais e subterrâneas do município (BORBA <i>et al</i> , 2004; GUIMARÃES-SILVA <i>et al</i> 2007; LEITE <i>et al</i> ; 2010; VAREJÃO <i>et al</i> , 2011, GONÇALVES e LENA; 2013) .

Destaca -se que nenhuma amostra de água tratada analisada para este trabalho apresentou resultado superior ao máximo permitido para arsênio. Por outro lado, as amostras de água tratada apresentaram resultados abaixo do VMP para ferro em 18 das 20 amostras. As exceções foram as de água tratada do mês de novembro do distrito de Santa Rita de Ouro Preto e Lavras Novas, com respectivos resultados 135% e 150% maiores do que o VMP. O fato dos sistemas utilizarem-se apenas da etapa de desinfecção no tratamento pode ser apontado como um elemento que substancia a hipótese da ineficiência do tratamento neste contexto. Os valores de referência utilizados foram os da Portaria 2.914/2011.

A série histórica dos dados de controle das ETAs compreendida entre os anos de 2009 e 2013 apontou dados superiores aos VMPs somente para ferro e manganês, nas ETAs Jardim Botânico (ferro) e Vila Alegre (ferro e manganês). Por outro lado, não houve análises de metais e elementos traço nos sistemas com tratamento simplificado na série histórica, sendo que justamente nestes, os resultados de análises de água tratada foram apontados valores superiores ao máximo permitido para os elementos ferro e manganês.

Em relação aos dados de análise de monitoramento, realizada em 2013, somente uma análise apresentou resultado superior ao VMP para ferro, em sistema que utiliza o tratamento simplificado (Lavras Novas). Esta análise, associada aos resultados deste trabalho em sistemas com tratamento simplificado, demonstra possíveis vulnerabilidades do tratamento, ao permitir concentrações de ferro e manganês superiores aos marcos legais. Associado a isto, o fato de não haver análises de controle semestral da qualidade da água nestes sistemas contribui para os questionamentos sobre o papel da prestadora do serviço de abastecimento de água.

Ressalta-se neste trabalho características particulares do município de Ouro Preto, cujo território está inserido no Quadrilátero Ferrífero. A geologia local influi diretamente nas características das águas, tanto em mananciais superficiais como em subterrâneos. Áreas com atividade minerária e também áreas remanescentes podem alterar as características dos corpos hídricos, podendo apresentar concentrações diferenciadas de determinados elementos, como chumbo, ferro, manganês e arsênio.

Estes elementos foram encontrados em diversas análises realizadas neste trabalho, especialmente as de água bruta. Por isto destaca-se a importância da análise constante de concentração destes e de outros elementos químicos com potencial tóxico nos mananciais de abastecimento público, uma vez que pode existir risco de contaminação.

O Plano Municipal de Saneamento Básico do município orienta para a implantação de etapas de tratamento convencional em diversas localidades do município, incluindo Santa Rita de Ouro Preto e Mota. Em relação a Lavras Novas, o Plano orienta para a reativação da ETA existente na localidade. Para Miguel Burnier o Plano orienta para a implantação de sistemas complementares ao processo de desinfecção. O Plano também orienta para a necessidade de se realizar análises de monitoramento da água nos pequenos sistemas dos distritos, localidades e bairros da área urbana de Ouro Preto (PREFEITURA MUNICIPAL DE OURO PRETO, 2013).

Assim, destaca-se mais uma vez a necessidade de implantação de novas etapas de tratamento que vão além da simples desinfecção, além da realização periódica de análises por parte do serviço municipal nos sistemas de menor porte distribuídos pelos distritos de Ouro Preto.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dadas as características geológicas e culturais, o município de Ouro Preto apresenta riscos de exposição à água com contaminação excessiva de metais e elementos traço potencialmente perigosos à saúde humana, especialmente arsênio. A literatura destaca a presença de arsênio em águas superficiais e subterrâneas do município e em seu entorno, sendo que em alguns casos foram encontrados valores potencialmente perigosos. Há relatos de captações de água no município interditadas devido ao risco de contaminação, como citado por Pires (2013).

As análises realizadas para este trabalho, de água bruta, apontaram valores acima do permitido para ferro (9), manganês (6) e arsênio (2), enquanto houve nas análises de água tratada valores acima do permitido apenas para ferro (2) e manganês (1). Não foi identificada a presença de arsênio acima do valor máximo permitido nas análises de água tratada. Amostras de água tratada em sistemas simplificados apresentaram resultado insatisfatório para os elementos ferro e manganês, nas localidades de Lavras Novas, Santa Rita de Ouro Preto e Mota. Por outro lado, todas as análises de água tratada oriundas de ETAs apresentaram resultado dentro dos parâmetros da Portaria 2.914.

Neste contexto, a partir do cruzamento dos dados existentes sobre controle realizadas pelo prestador do serviço de abastecimento de água, dos dados de monitoramento realizados pelo setor saúde, além das análises realizadas neste trabalho, buscou-se identificar e quantificar a presença de ferro, manganês, arsênio, cobre, chumbo, cromo e zinco em águas de diferentes sistemas de abastecimento do município.

A série histórica das análises de controle apontou para a presença de ferro e manganês acima do VMP em água tratada por processo convencional em ETAs. As análises de monitoramento encontraram valor para ferro acima do VMP em distrito abastecido por sistema com tratamento simplificado.

O Plano Municipal de Saneamento Básico de Ouro Preto aponta para a necessidade de implantação de novas etapas de tratamento, visando a eficiência de remoção de elementos e

substâncias para valores abaixo do máximo permitido nos sistemas operados pelo SEMAE com tratamento simplificado, como nestes casos. Para Santa Rita de Ouro Preto e Mota, o PMSB aponta para a necessidade de implantação de uma ETA. Para Lavras Novas, o plano orienta para a reativação de uma ETA já existente.

Concluindo, faz-se necessário ao prestador de serviço municipal de abastecimento de água monitorar constantemente todos os sistemas de abastecimento de água de Ouro Preto sob sua operação e responsabilidade, identificando a ocorrência destes e de outros elementos e substâncias elencadas na portaria. Caso estes elementos sejam encontrados em valores superiores ao máximo permitido, será necessária a busca de métodos de tratamento mais eficientes em sua remoção, visando assegurar à população o fornecimento de água que atenda aos parâmetros de potabilidade estabelecidos.

Cabe ainda ao setor saúde a realização contínua de análises de monitoramento destes elementos, em parceria com laboratórios de saúde pública, instituições de pesquisa e ensino, visando cumprir o papel de vigilância da qualidade da água para consumo estabelecido pela legislação vigente.

6. REFERÊNCIAS

1. ALONZO, H.G.A.; GOMES, R.Q.D; GIANESE; F.C; BRITO, A.B.C; PEREIRA, C. C.. **Saúde Ambiental e Atenção Primária à Saúde nos microterritórios**: a taxa de mortalidade infantil para subsidiar a atuação da equipe de saúde. *Revista Salud Ambiental* 2013;13(1):44-52.
2. ATSDR. **Toxicological Profile for Chromium**. Atlanta, Georgia (USA): ATSDR, 2012.
3. BARCELLOS, C.; QUITÉRIO, L.A.D.. **Vigilância ambiental em saúde**. *Revista de Saúde Pública*, 2006, 40(1).
4. BASTOS, A.R.R.; CARVALHO, J.G.; FERREIRA, E.V.O. & FARIA JUNIOR, L.A. **Métodos de extração para quantificação de Mn disponível em fertilizantes**. *Química Nova*, 30:1616-1622, 2007.
5. BERTOLO, R.; BOUROTTE, C.; ALMODOVAR, M.; HIRATA, R.. **Natural occurrence of hexavalent chromium in a sedimentary aquifer in Urânia, State of São Paulo, Brazil**. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* (2009) 81(2): 227-242
6. BORBA, R. P.; FIGUEIREDO, B. R.; CAVALCANTI, J. A.. **Arsênio na água subterrânea em Ouro Preto e Mariana, Quadrilátero Ferrífero (MG)**. *REM: Revista da Escola de Minas, Ouro Preto*, 57(1): 45-51, jan. mar. 2004.
7. BORGUESE, L.; BILO, F.; DALIPI, R.; BONTEMPI, E.; DEPERO, L. E.. **Total reflection X-ray fluorescence as a tool for food screening**. *Spectrochimica Acta Part B* 113 (2015) 1–15.
8. BRASIL. **Decreto 5.440, de 04 de maio de 2005**. Estabelece definições e procedimentos sobre o controle de qualidade da água de sistemas de abastecimento e institui mecanismos e instrumentos para divulgação de informação ao consumidor sobre a qualidade da água para consumo humano. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Decreto/D5440.htm>, acesso em 21 ago 2013.
9. _____. **Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância em Saúde Ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.

10. _____. **Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância em Saúde Ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano.** Brasília: Ministério da Saúde, 2014.
11. _____. **Guia de vigilância epidemiológica.** Brasília: Ministério da Saúde, 2009.
12. _____. **Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/19433.htm>, acesso em 20 ago 2013.
13. _____. **Lei 11.445, de 5 de janeiro de 2007.** Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm>, acesso em 20 ago 2013.
14. _____. **Manual prático de análise de água.** Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2009.
15. _____. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>, acesso em 10 ago 2015.
16. _____. **Textos de epidemiologia para vigilância ambiental em saúde.** Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2002.
17. _____. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano.** Brasília: Ministério da Saúde, 2006.
18. _____. **MINISTÉRIO DA SAÚDE. Documento base para elaboração da Portaria MS 2.914/2011.** Brasília: Ministério da Saúde, 2012.
19. _____. **Portaria 1.469, de 29 de dezembro de 2000.** Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Disponível em <http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/portaria_1469.pdf>, acesso em 23 ago 2013.

20. _____ . **Portaria 518, de 25 de março de 2004.**
Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Disponível em
<<http://dtr2001.saude.gov.br/sas/PORTARIAS/Port2004/GM/GM-518.htm>>, acesso em 22 ago 2013.
21. _____ . **Portaria 2.914, de 11 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. Disponível em
<http://bvsmis.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>, acesso em 21 ago 2013.
22. _____ . **Saúde ambiental: guia básico para construção de indicadores.** Brasília: Ministério da Saúde, 2011.
23. _____ . **Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (antiga versão).** Disponível em
<<http://portalweb04.saude.gov.br/sisagua>>, último acesso em 15 ago 2014.
24. _____ . **Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (nova versão).** Disponível em
<<http://sisagua.saude.gov.br/sisagua>>, último acesso em 10 ago 2015.
25. BUSS, P. M; MACHADO, J. M. H.; GALLO, E.; MAGALHÃES, D. P.; SETTI, A. F. F.; FRANCO NETTO, F. A.; BUSS, D. F.. **Governança em saúde e ambiente para o desenvolvimento sustentável.** Ciência & Saúde Coletiva, 17(6): 1479-1491, 2012.
26. CAPITANI, E.M. Revisão: aspectos relacionados ao arsênio – Toxicologia. In: DESCHAMPS, E.; MATSCHULLAT, J.. **Arsênio antropogênico e natural.** Um estudo em regiões do Quadrilátero Ferrífero. Belo Horizonte: FEAM, 2007.
27. _____; PAOLIELLO, M. M. B.; ALMEIDA, G. R. C.. **Fontes de exposição humana ao chumbo no Brasil.** Medicina (Ribeirão Preto) 2009; 42(3): 311-8.
28. CARMO, R.F.; BEVILAQUA, P.D.; BASTOS, R.K.X.. **Vigilância da qualidade da água para consumo humano: abordagem qualitativa da identificação de perigos.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v13 n.4, Rio de Janeiro, Out-Dez 2008.
29. CHOONG, T. S. Y.; CHUAH, T. G.; ROBIAH, Y.; KOAY, F. L. G.; AZNI, I. **Arsenic toxicity, health hazards and removal techniques from water: an overview.** Desalination, 2007, No. 217, p. 139-166.
30. CERSOSIMO, M. G; KOLLER, W. C.. **The diagnosis of manganese-induced parkinsonism.** NeuroToxicology 27 (2006) 340-346.

31. CONASS. **Vigilância em Saúde**. Brasília: CONASS, 2007.
32. DE LA CALLE, I; CABALEIRO, N.; ROMERO, V.; LAVILLA, I; BENDICHO, C.. **Sample pretreatment strategies for total reflection X-ray fluorescence analysis: A tutorial review**. Spectrochimica Acta Part B 90 (2013) 23–54.
33. DESCHAMPS, E.; MATSCHULLAT, J.. **Arsênio antropogênico e natural**. Um estudo em regiões do Quadrilátero Ferrífero. Belo Horizonte: Belo Horizonte: FEAM, 2007.
34. FERREIRA, A. C. S., PÁDUA, V. L.. Qualidade da água para consumo humano. In HELLER, L., PÁDUA, V. L. (org.). **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006.
35. FONSECA, A.; PRADO FILHO, J. F.. **Um esquecido marco do saneamento no Brasil: o sistema de águas e esgotos de Ouro Preto (1887-1890)**. História, Ciências, Saúde – Manguinhos, Rio de Janeiro v.17, n.1, jan-mar 2010, p. 51-66.
36. FREITAS, M. F., FREITAS, C. M.. **A vigilância da qualidade da água para consumo humano: desafios e perspectivas para o Sistema Único de Saúde**. Revista Ciência e Saúde Coletiva, out/dez 2005, v. 10 n. 4, p. 993-1004.
37. FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual Prático de Análise de Água**. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2009.
38. GOMES, L. E. M. **Avaliação do Atendimento da Legislação Brasileira sobre Qualidade de Água para o Consumo Humano por uma Companhia de Saneamento: O Caso da Copasa**. Belo Horizonte: UFMG, 2004. (Tese)
39. GONÇALVES, J. A. C.; LENA, J. C.. **Avaliação de risco à saúde humana por contaminação natural de arsênio nas águas subterrâneas e nos solos da área urbana de Ouro Preto (MG)**. Revista do Instituto de Geociências – USP Geol. USP, Série científica, São Paulo, v. 13, n. 2, p. 114-148, jun 2013.
40. GONÇALVES JR.; A. C.. **Descontaminação e monitoramento de águas e solos na região amazônica utilizando materiais adsorventes alternativos, visando remoção de metais pesados tóxicos e pesticidas**. Inclusão Social, v. 6, n. 2 (2013).
41. GUIMARÃES-SILVA, A. K.; MACHADO, D. A.; NALINI JR.; H. A.; LENA, J. C.. **A qualidade das águas na região dos garimpos de topázio imperial na sub-bacia do rio da Ponte, Ouro Preto-MG**. Revista Escola de Minas, Ouro Preto, 60(4): 603-611, out/ dez 2007.

42. HELLER, L., PÁDUA, V. L. (org.). **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006.
43. _____, REZENDE, S. C.. **O Saneamento no Brasil – Políticas e Interfaces**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2008. 2ed.
44. HELLER, P. G. B.. **Modelos de prestação dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário: uma avaliação comparativa do desempenho no conjunto dos municípios brasileiros**. Belo Horizonte: UFMG, 2012. (Tese)
45. HU, J.; MA, Y.; ZHANG, L.; GAN, F.; HO, Y.. **A historical review and bibliometric analysis of research on lead in drinking water field from 1991 to 2007**. Science of the Total Environment 408 (2010) 1738–1744.
46. IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE Diretoria de Pesquisas, 2010.
47. _____. **Atlas de saneamento 2011**. Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE Diretoria de Geociências, 2011.
48. _____. **Ouro Preto – MG. Histórico**. Disponível em <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/dtbs/minasgerais/ouropreto.pdf>>, último acesso em 13 jul 2014.
49. _____. **Censo 2010. Sinopse por setores**. Disponível em <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopseporsetores/?nivel=st>>, Acesso em 10 jul 2014 .
50. _____. **Estimativas populacionais para os municípios brasileiros em 01.07.2014**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2014/estimativa_dou.shtm>, acesso em 05 set 2014.
51. IMASHUKU, I.; PING, T.D.; HIROKO, S.; MIYAUCHI, B.; WADA, O.; KAWAI, J.. **Achievement of 1.4 ng detection limit of cesium with TXRF spectrometer by changing the X-ray detector and reducing noise**. Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 2013.
52. KHAN, K.; WASSEMAN, G. A.; LIU, X.; AHMED, E.; PARVEZ, F.; SLAVKOVICH, V.; LEVY, D.; MEY, J.; VAN GEEN, A.; GRAZIANO, J. H.; FACTOR-LITVAK, P.. **Manganese exposure from drinking water and children's academic achievement**. NeuroToxicology 33 (2012) 91–97.

53. KOHL, P. M.; MEDLAR, S. J.. **Occurrence of Manganese in Drinking Water and Manganese Control**. Washington D.C. (USA): AWWA, 2006.
54. LEITE, M. G. P.; FUJACO, M. A. G.; NALINI JR.; H. A.; CASTRO, P. T. A.. **Influence of geology in the geochemistry signature of Itacolomi State Park waters, Minas Gerais-Brazil**. *Environ Earth Sci* (2010) 60:1723–1730
55. LIBÂNIO, M.. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas: Editora Átomo, 2010.
56. LIMA, I. V.; PEDROZO, M. F. M.. **Ecotoxicologia do ferro e seus compostos**. *Cadernos de Referência Ambiental*. Centro de Recursos Ambientais v. 4, Bahia, 2001.
57. _____; MARTINS, I.. **Ecotoxicologia do manganês e seus compostos**. *Cadernos de Referência Ambiental*. Centro de Recursos Ambientais v. 4, Bahia, 2001.
58. MADEIRA, V. S.; JOSÉ, H. J.; MOREIRA, R. F. P. M. **Utilização de carvão adsorvente para a remoção de íons ferro em águas naturais**. Disponível em <http://www.enq.ufsc.br/labs/ldpt/artigo%20meio%20filtrante.pdf>, acesso em 10 out 2013.
59. MARGUÍ, E.; ZAWISZA, B.; SITKO, R.. **Trace and ultratrace analysis of liquid samples by X-ray fluorescence spectrometry**. *Trends in Analytical Chemistry* 53 (2014) 73–83.
60. MATTOS, R. C. O.; CARVALHO, M. A. R.; MAINENTI, H. R. D.; XAVIER JUNIOR, E. C.. **Avaliação dos fatores de risco relacionados à exposição ao chumbo em crianças e adolescentes no Rio de Janeiro**. *Ciência & Saúde Coletiva*. 14(6): 2039-2048. 2009.
61. MENDES, G. **Fotocatálise heterogênea na oxidação de Arsênio e sua remoção de águas da região do Quadrilátero Ferrífero – MG**. Universidade Federal de Viçosa, 2007. (Dissertação).
62. MING-HO, Y. **Environmental toxicology: biological and health effects of pollutants**. USA: CRC Press, 2005. 2 ed.
63. MOHOD, C. V.; DHOTE, J.. **Review of Heavy /metals in Drinking Water and Their Effect on Human Health**. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* Vol. 2, Issue 7, Jul 2013.
64. MORAIS, S., GARCIA, F.; PEREIRA, M. L.. **Heavy Metals and Human Health**. In OOSTHUIZEN, J. (edictor). *Environmental Health - Emerging Issues and Practice*. Disponível em <<http://www.intechopen.com/books/environmental-health-emerging-issuesand-practice/heavy-metals-and-human-health>>, acesso em 02 ago 2013.

65. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água Para Consumo Humano**. Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2004.
66. _____. **Comentários sobre a Portaria MS n.º 518/2004: subsídios para implementação**. Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2005.
67. OLSON, K. R.. **Manual de Toxicologia Clínica**. Porto alegre: AMGH, 2012. 6 ed.
68. PEREIRA, R. R.; PRADO FILHO, J. F.; CAMARGO, P. L. T.. **Avaliação química e física das águas nos distritos de Ouro Preto – MG**. Revista da Pesquisa & Pós-Graduação, v. 11, p. 5-18, 2011.
69. PIRES, V. G. R.. **Avaliação da Pré-Oxidação e da Clarificação em Escala de Bancada na Remoção de Arsênio e Manganês em Águas de Abastecimento**. Ouro Preto: UFOP, 2013. (Dissertação)
70. PREFEITURA MUNICIPAL DE OURO PRETO. **Plano Municipal de Saneamento Básico**. Ouro Preto, 2013. Disponível em < <http://cbhvelhas.org.br/plano-municipal-de-saneamento-em-ouro-preto> >, acesso em abr 2015.
71. PREFEITURA MUNICIPAL DE OURO PRETO. **Localização**. Disponível em <<http://www.ouropreto.mg.gov.br/localizacao>>, acesso em jan 2014.
72. QUARESMA, A. V.. **Monitoramento de Microcontaminantes Orgânicos por Métodos Cromatográficos Acoplados a Espectrometria de Massa e Elementos Inorgânicos por Fluorescência de Raios - X por Reflexão Total nas Águas da Bacia do Rio Doce**. Ouro Preto: UFOP, 2014. (Dissertação)
73. QUEIROZ, A. C. L., CARDOSO, L. S. M., SILVA, S. C. F., HELLER, L., CAIRNCROSS, S.. **Programa Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental Relacionada à Qualidade da Água para Consumo Humano (Vigiagua): lacunas entre a formulação do programa e sua implantação na instância municipal**. Revista Saúde e Sociedade. São Paulo, v.21 n. 2, 2012.
74. _____. **Articulação entre Vigilância da Qualidade da Água Para Consumo Humano e Vigilância Epidemiológica: desafios e possibilidades para a integração de indicadores**. Estudo em municípios de diferentes portes populacionais no estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: Escola de Engenharia, UFMG, 2011. (Tese)
75. RAMOS, M. H. C.. **Remoção de Cor, Ferro e Manganês de Águas com Matéria Orgânica Dissolvida por Pré-Oxidação Com Dióxido de Cloro, Coagulação e Filtração**. Ribeirão Preto – SP: UNAERP, 2010. (Dissertação)
76. RAZZOLINI, M.T.P.; GÜNTHER, W.M.R.. **Impactos na Saúde das Deficiências de Acesso a Água**. Revista Saúde e Sociedade, São Paulo, v.17, n.1, p.21-32, 2008.

77. RODOLFO JR., A.; MEI, L. H. I.. **Mecanismos de Degradação e Estabilização Térmica do PVC**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 17, nº 3, p. 263-275, 2007.
78. ROHLFS, D. B.; GRIGOLETTO, J. C.; FRANCO NETTO, G. F.; RANGEL, C. F.. **A construção da Vigilância em Saúde Ambiental no Brasil**. Cadernos de Saúde Coletiva, 2011, Rio de Janeiro, 19 (4): 391-8.
79. SILVA FILHO, C. J.; FREITAS, D. L.; SEOLATTO, A. A.. **Avaliação da eficiência da adsorção de chumbo, cádmio e crômio pela biomassa da casca do pequi**. In: 63ª Reunião Anual da SBPC, 2011, Goiânia. Anais/Resumos da 62ª Reunião Anual da SBPC, 2011.
80. SMEDLEY, P. L.; KINNIBURGH, D. G.. **A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters**. Applied Geochemistry 17 (2002) 517–568.
81. SOUSA, A.C.A.. **Política de Saneamento no Brasil: atores, instituições e interesse**. Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 2011. (Tese).
82. _____; COSTA, N.R.. **Incerteza e dissenso: os limites institucionais da política de saneamento brasileira**. Revista Administração Pública — Rio de Janeiro 47(3):587-599, maio/jun. 2013.
83. SOUSA, F. W.; MOREIRA, S. A.; OLIVEIRA, A. G.; CAVALCANTE, R. M.; NASCIMENTO, R. F.; ROSA, M. F.. **Uso da Casca de Coco Verde Como Adsorvente na Remoção de Metais**. Química Nova, v. 30, n. 5, 1153-1157, 2007.
84. STOSNACH, H. **Environmental Trace-Element Analysis Using a Benchtop Total Reflection X-Ray Fluorescence Spectrometer**. Analytical Sciences July 2005, Vol. 21(7), 873-876.
85. TAVARES, M. T.; CARVALHO, F. M.. **Avaliação de exposição de populações humanas a metais pesados no ambiente: exemplos do recôncavo baiano**. Química Nova 15(2), 1992
86. TOWETT, E. K.; SHEPHERD, K. D.; CADISCH, G.. **Quantification of total element concentrations in soils using total X-ray fluorescence spectroscopy (TXRF)**. Science of the Total Environment 463–464 (2013) 374–388.
87. UMBUZEIRO, G. A. (coord.). **Guia de potabilidade para substâncias químicas**. São Paulo: Limiar, 2012.
88. VAREJÃO, E. V. V.; BELLATO, C. R.; FONTES, M. P. F.; MELLO, J. W. V.. **Arsenic and trace metals in river water and sediments from the southeast portion of the Iron Quadrangle, Brazil**. Environmental monitoring and assessment, 2011 v. 172 iss:1 p. 631 -642.
89. WHO. **Chromium in Drinking-water**. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. Geneva, Switzerland: WHO, 2003.

90. _____. **Copper in Drinking-water.** Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. Geneva, Switzerland: WHO, 2004.
91. _____. **Guidelines for drinking-water quality.** Geneva, Switzerland: WHO, 2011. 4 ed.
92. _____. **Iron in Drinking-water.** Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. Geneva, Switzerland: WHO, 2003.
93. _____. **Lead in Drinking-water.** Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. Geneva, Switzerland: WHO, 2011.
94. _____. **Manganese in Drinking-water.** Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. Geneva, Switzerland: WHO, 2011.
95. _____. **Mercury in Drinking-water.** Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. Geneva, Switzerland: WHO, 2005.
96. _____. **Zinc in Drinking-water.** Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. Geneva, Switzerland: WHO, 2003.