

ASPECTOS ACERCA DO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO EM UMA ETA DO SERVIÇO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO DA CIDADE DE OURO PRETO/MG

Agmar José de Jesus Silva (Universidade Federal do Rio de Janeiro) E-mail: agmarster@gmail.com

Resumo: O presente trabalho é resultado de um projeto de acompanhamento, participação e vivência profissional realizado como requisito obrigatório da disciplina de estágio curricular supervisionado para obtenção do grau de bacharel em química industrial pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP/MG). A unidade industrial estudada foi a Estação de Tratamento de Água do Itacolomi (ETA—Itacolomi), no município de Ouro Preto/MG, pertencente ao Serviço Municipal de Água e Esgoto da cidade, o SEMAE—OP. O trabalho desenvolvido neste projeto de estágio curricular supervisionado teve como objetivo geral possibilitar o acompanhamento completo do processo industrial de tratamento de água convencional realizado na ETA em questão, buscando a compreensão plena da importância do tratamento de água e correlacionando o conhecimento prático vivenciado aos ensinamentos teóricos assimilados previamente na universidade. Os resultados obtidos nas atividades de estágio revelaram uma considerável eficiência no processo de tratamento de água desta unidade de produção, a qual oferecia um produto de qualidade satisfatória aos consumidores finais. Contudo, foi observado um consumo médio *per capita* elevado, o qual se deve em parte a não existência de sistema de hidrometração estabelecido no perímetro urbano da cidade. Finalmente foi possível concluir também que o trabalho na ETA, adicionado ao contato com os diferentes profissionais das áreas visitadas foi fundamental na compreensão dos procedimentos de tratamento de água como um todo, além de ter proporcionado uma boa familiarização com o ambiente de trabalho e com as atividades pertinentes ao dia a dia do químico que atua neste ramo da profissão.

Palavras-chave: Tratamento de água, Estágio curricular supervisionado, Química industrial, Ouro Preto (MG, Brasil).

ASPECTS ABOUT OF THE WATER TREATMENT FOR HUMAN CONSUMPTION IN AN ETA OF THE WATER AND SEWER MUNICIPAL SERVICE OF THE CITY OF OURO PRETO/MG

Abstract: The present work is result of a project of accompaniment, involvement and professional experience carried out as a mandatory requirement of the supervised curricular internship for obtaining the bachelor's degree in industrial chemistry at Federal University of Ouro Preto (UFOP/MG). The industrial plant studied was the Itacolomy Water Treatment Plant (WTP) (ETA—Itacolomy), located in the municipality of Ouro Preto/MG, which belongs to the Water and Sewer Municipal Service of this city, the SEMAE—OP. The work developed in this supervised curricular internship has the general goal to enable the complete accompaniment of the conventional industrial process of water treatment carried out in the ETA in question, aiming the full understanding of the importance of the water treatment and correlating practical knowledge's with theoretical contents previously assimilated in the university. The results obtained in the developing of these activities showed a reasonable efficiency in the water treatment process of this production plant, which produced water with satisfactory quality for the final consumers. However, a high average per capita consumption was verified, which is partly due to the nonexistence of a hydrometric system established in the urban perimeter of the city. Finally, it was also possible to conclude that the working in the ETA, added to the contact with professionals of the different sectors were decisive for a better understanding of the water treatment procedures as a whole, as well as provided a good familiarization with the working ambient and with the day-to-day activities of the chemists who acts in this field of the profession.

Keywords: Water treatment, Supervised curricular internship, Industrial chemistry, Ouro Preto (MG, Brazil).

1. Introdução

Em fevereiro de 2005, através da Lei nº 13, foi criado o Serviço Municipal de Água e Esgoto de Ouro Preto/MG, denominado de SEMAE—OP (LEI nº 13, 2005, VALENTE *et al*, 2018), o

qual se constitui numa autarquia municipal cuja a missão principal recebida foi a de nortear as ações de implantação e do monitoramento das atividades de saneamento deste município.

No tocante ao tratamento de água para consumo humano, Ouro Preto dispõe atualmente de um elevado número de captações, 65, conforme JÚNIOR *et al*, (2013). Existem captações superficiais e subterrâneas. A área total do município é de 1.245,86 km² (IBGE, 2016), abrangendo, além da sede, os distritos de Amarantina, Antônio Pereira, Cachoeira do Campo, Engenheiro Correia, Glaura, Miguel Burnier, Rodrigo Silva, Santa Rita de Ouro Preto, Santo Antônio do Leite e São Bartolomeu, assim como outras pequenas localidades. Todos os distritos e localidades possuem sistema próprio de captação e distribuição de água. Na sede do município de Ouro Preto/MG, a principal estação de tratamento de água para abastecimento humano é a ETA—Itacolomi, a qual é umas das ETA's pertencentes ao SEMAE—OP.

De acordo com BARBOSA, (2003), cerca de 97,5% da água do planeta está na forma de água salgada e 2,5% na forma de água doce, dos quais a maior parte sob a forma de gelo, e apenas 0,3% diretamente aproveitável, com predominância da água subterrânea. Nas águas naturais são inúmeras as impurezas que podem existir, muitas delas inócuas e pouco significantes, porém, outras extremamente perigosas e nocivas à saúde humana. Entre as impurezas nocivas encontram-se vírus, bactérias, parasitas, substâncias tóxicas e elementos radioativos.

Por este motivo, o tratamento de água para abastecimento público é um assunto de grande relevância principalmente na área química e de engenharia sanitária e ambiental, uma vez que o consumo de água não tratada pode causar sérios riscos à saúde da população. Nos países em desenvolvimento, parte significativa das internações hospitalares têm ligação com doenças de veiculação hídrica. Além disso, desde a muito tempo já se tem conhecimento de que o tratamento da água proporciona diversos benefícios à população, além de favorecer a economia dos municípios, reduzindo e até mesmo evitando gastos hospitalares excessivos (BARBOSA, 2003, BARBOSA *et al*, 2017, ZUCCARI, *et al*, 2005, VALENTE *et al*, 2018). Neste contexto, foram objetivos deste trabalho:

- (i) relatar a vivência e a prática cotidiana verificada durante um programa de estágio supervisionado realizado em uma ETA do sistema SEMAE—OP, correlacionando essa experiência aos ensinamentos teóricos obtidos na graduação;
- (ii) exercitar o desenvolvimento de uma consciência crítica e ambiental, buscando capacitação para saber questionar e aprimorar as atividades referentes ao tratamento e qualidade de água;
- (iii) buscar experiências reais, lidando com o trabalho em equipe, proporcionando um intercâmbio de experiências entre os membros da equipe de forma a fazer uma ligação de problemas práticos aos conteúdos assimilados no ambiente universitário, favorecendo o desenvolvimento profissional.

2. Referencial teórico e contextualização

2.1. Serviço municipal de água e esgoto de Ouro Preto (SEMAE — OP)

Um dos grandes desafios do setor de saneamento é sem dúvida a implantação e organização dos serviços de abastecimento de água, esgoto sanitário e gestão de resíduos sólidos, notadamente nos municípios cujos serviços são prestados pela administração direta das Prefeituras, as quais, salvo exceções, têm dificuldades em implementar um gerenciamento que assegure à população um atendimento pleno, com qualidade e continuidade.

De maneira geral, muitos municípios brasileiros têm como características marcantes a não percepção da dimensão real dos problemas locais de saneamento, ausência de planejamento e estratégia a curto, médio e longo prazo, além de descontinuidade administrativa, resultando

num gerenciamento ineficaz de recursos e tempo. A soma desses fatores contribui para que estes municípios se tornem os maiores responsáveis pelo déficit de cobertura em seus serviços de saneamento básico (BARBOSA, 2003, BARBOSA *et al*, 2017, VALENTE *et al*, 2018).

Conforme PEREIRA *et al*, 2016, a ETA—Itacolomi, em Ouro Preto, possui uma vazão média de $69 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$, embora ela tenha sido projetada para uma vazão nominal de $50 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$. É importante salientar que a produção de água tratada nesta ETA costuma sofrer variações ao longo do ano, as quais podem ocorrer devido tanto a fatores ambientais, e.g., secas e períodos chuvosos, como também por fatores antrópicos, tais como consumo descontrolado da população, alteração de consumo *per capita* devido a períodos festivos na cidade (e.g., carnaval e o festival de inverno) e índice de perdas do próprio sistema de produção.

A água fornecida à população de Ouro Preto de forma geral atende aos padrões de potabilidade exigidos pelo Ministério da Saúde, baseados na Organização Mundial da Saúde e na Portaria n° 518, de 25 de março de 2004 (PORTARIA 518, 2004). Como será visto adiante na discussão, os dados coletados nas atividades de rotina realizadas nesta ETA comprovaram uma boa eficiência do trabalho de acompanhamento contínuo e constante do funcionamento da ETA por parte da equipe de operação da mesma, uma vez que a adição de quantidades de produtos (por exemplo, cal, cloro e sulfato) no processo de tratamento pode sofrer alterações repetitivas e diárias em função tanto das condições climáticas (chuvas, secas, etc.) quanto de condições técnicas de operação (vazão de entrada de água na ETA, vazão de bombeamento da água tratada, números de filtros e decantadores ativos).

2.2. Norma de qualidade da água para o consumo humano

A Portaria n° 518/04 (PORTARIA 518, 2004), estabeleceu os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água, seu padrão de potabilidade e definiu os parâmetros de qualidade da água para o consumo humano. Foi estabelecido um rol de exigências técnicas amplo e detalhado, cujo cumprimento só é possível caso as entidades públicas e privadas que atuam na captação, tratamento e distribuição da água constituam equipes de profissionais e técnicos adequados em seus quadros funcionais, contendo entre estes os profissionais da química. A portaria reforça, portanto, os dispositivos legais que determinam aos profissionais da área química o exercício das atividades de gerenciamento e execução relacionadas ao tratamento de água (PORTARIA 518, 2004). Entretanto, é certo que a equipe de uma ETA exige concomitantemente o trabalho de muitos outros profissionais no seu corpo funcional, tais como técnicos de área, engenheiros e pessoal administrativo. Em 2007 foi criada a Lei Federal 11.445/07 (LEI 11.445, 2007), a qual instituiu que os municípios devem ter seus planos municipais de saneamento básico aprovados em audiência ou consulta pública, com reformulação de quatro em quatro anos. O município de Ouro Preto apresentou então o seu Plano Municipal de Saneamento Básico no ano de 2013, com elaboração aprovada pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas.

A norma introduzida pela Portaria n° 518/2004 definiu ainda deveres e responsabilidades a serem assumidos pelos órgãos da saúde (Federais, Estaduais e Municipais) e também por todos aqueles que se dispuserem a atuar no setor de abastecimento de água. De acordo com essa norma, a água potável, i.e., aquela que pode ser consumida sem risco para a saúde, precisa atender a determinados requisitos mínimos de natureza física, química e biológica. Neste contexto, alguns dos principais os requisitos físicos de potabilidade exigidos são:

- (i) ser inodora, i.e., sem cheiro;
- (ii) ser incolor, i.e., sem cor, quando em pequena quantidade, e azulada, quando em grande quantidade;
- (iii) ser fresca (sensação que depende da temperatura ambiente).

Alterações de cheiro na água podem ser indicativo de decomposição da matéria orgânica. Alterações na limpeza da água, i.e., na turbidez, pode ser indicativo da presença de argila, algas ou matéria orgânica. E alterações na coloração da água têm diversas causas, e.g., a água verde escura pode conter excesso de matéria orgânica. Por outro lado, quando a água tem cor leitosa (esbranquiçada) ou muito escura (cinzenta), pode conter restos industriais.

Já alguns dos importantes requisitos químicos de potabilidade são:

- (i) ser arejada, i.e., conter determinada quantidade de oxigênio;
- (ii) conter, em pequena quantidade, sais minerais, tais como cálcio e magnésio;
- (iii) não conter nenhum tipo sal tóxico.

As alterações químicas da potabilidade podem ocorrer em razão da presença de elementos estranhos ou tóxicos, tais como o arsênio, o chumbo, o cádmio e o mercúrio (que são metais pesados que podem, bioacumular em tecidos de plantas e peixes). Também infringem o requisito da potabilidade o excesso ou ausência de cálcio ou magnésio e sais minerais, os quais devem estar presentes, porém, em pequenas quantidades (PORTARIA 518, 2004).

Já com relação aos requisitos biológicos de potabilidade exigidos para que a água seja considerada potável, esta, em termos biológicos, não pode conter organismos patogênicos, i.e., causadores de doenças. A alteração biológica da potabilidade da água é causada pela presença destes agentes patogênicos vivos, e.g., vermes, bactérias, dentre outros. A água contaminada não é potável e, portanto, não deve ser usada para consumo humano, e deve ser também evitada para outras atividades, pois pode fomentar a propagação de doenças em animais e plantas e novamente voltar a contaminar o ser humano pela ingestão de alimentos.

A Portaria 518/2004 estabeleceu limites para vários parâmetros físico-químicos para a água potável. Alguns deles, de interesse maior neste trabalho, seguem listados na Tabela 1.

Tabela 1 – Alguns parâmetros físico-químicos e seus respectivos limites estabelecidos pela Portaria 518/2004.

Parâmetro	Limite permitidos	Unidade
Cor	< 15	uH ⁽¹⁾
Turbidez	< 5,0	NTU ⁽²⁾
Potencial Hidrogeniônico (pH)	6,5 – 9,0	-----
Cloro Residual	0,2 – 2,0	mg/L

NOTAS: (1) Unidade *Hazen* (mg Pt-Co/L). (2) Unidade Nefelométrica de Turbidez. Fonte: PORTARIA n° 518, 2004. (Fonte: Portaria 518/2014).

2.3. Situação ouro-pretana de produção e consumo de água de abastecimento

A cidade de Ouro Preto está situada no estado de Minas Gerais (MG), na latitude 20°23'08" sul, longitude 43°30'29" oeste (trecho meridional da Serra do Espinhaço, região pertencente ao Quadrilátero Ferrífero), a uma altitude média variando de 1.150 a 1772 metros (VALENTE *et al.*, (2018), distando 96 km da Capital do Estado, Belo Horizonte (MG). É uma cidade Patrimônio Cultural da Humanidade pela UNESCO, título concedido em 02/09/1980 (FONSECA e FILHO, 2010). Seu território urbano possui uma estrutura parcial de tratamento de água, i.e., não oferece água tratada à totalidade de sua população, o que evidencia a necessidade de estudos tanto sobre ampliação/melhoria da capacidade dos sistemas de abastecimento já existentes quanto da possibilidade de criação de novos. No total, esse município apresenta seis sistemas de tratamento e distribuição de água (somando sede e distritos) (Tabela 2), porém, devido em parte às características geográficas históricas da

cidade, torna-se complexo a implementação completa das redes de abastecimento. Assim, o que se observa na realidade é que parte da comunidade ouro-pretana, mesmo nos duas atuais, utiliza águas naturais captadas de mananciais locais, sendo feita apenas uma desinfecção com a adição de pastilhas de tricloro.

Tabela 2 – Estações de tratamento de água de Ouro Preto e distritos.

ID	Identificação	Localização
01	ETA—Itacolomi	Bairro Nossa Senhora do Carmo (Pocinho) – Sede de Ouro Preto
02	ETA—Jardim Botânico	Horto Botânico do Passa Dez – Sede de Ouro Preto
03	ETA—Antônio Pereira	Antônio Pereira
04	ETA—Vila Alegre	Cachoeira do Campo
05	ETA—Funil	Cachoeira do Campo
06	ETA—Amarantina	Amarantina

Fonte: Adaptado de SEMAE—OP, (2012) *apud in* JÚNIOR *et al*, (2013).

Segundo um estudo recente de PEREIRA *et al*, (2016), a população servida pela principal ETA da cidade (a ETA—Itacolomi), corresponde a cerca de 50% da população urbana do município (~ 31.000 habitantes), sendo o consumo *per capita* de cerca de 250 L/habitante.dia. Este valor está acima da média *per capita* do Estado de Minas Gerais, que é de 149 L/habitante.dia (PEREIRA *et al*, 2016). Essa comparação indica que há no município de Ouro Preto um consumo exagerado de água de abastecimento, o que pode ter ligação tanto com perdas do sistema de produção quanto com desperdício por parte de usuários, ou mesmo ambas as causas podem coexistir mutuamente. Conforme explica VALENTE *et al*, (2018), o sistema de distribuição do município, mesmo nos dias atuais, ainda não é hidrometrado, i.e., não há obrigatoriedade de cobrança estabelecida por Lei Municipal. De outra parte, deve ser levado em consideração o fato de que seria necessário um grande investimento financeiro para execução de todo o serviço de hidrometração da cidade. Dessa forma, o que é feito atualmente é a prática da cobrança de somente uma taxa básica de operação, a qual, no entanto é insuficiente para cobrir os gastos operacionais do tratamento, sendo então necessário complementação financeira por parte da prefeitura local. Assim, percebe-se que, de certa forma, é a própria gratuidade que implica boa parte do consumo populacional não consciente e exagerado, o que evidencia de alguma maneira necessidade de mais educação ambiental.

3. Materiais e métodos

3.1. Caracterização geográfica do ambiente em estudo

Em Ouro Preto, parte significativa da área urbana está situada em um vale formado entre a Serra do Itacolomi e a Serra de Ouro Preto. A ETA—Itacolomi está localizada nas proximidades da Rodovia MG 262, mais especificamente no logradouro Rua Boa Esperança, Ouro Preto/MG, CEP 35400—000, no sentido de Ouro Preto/MG em direção à Mariana/MG.

O clima da cidade, conforme a classificação internacional de KÖPPEN, é do tipo Cwb (tropical de altitude), i.e., mesotérmico úmido, com inverno seco e verão brando (JÚNIOR *et al*, (2013), o qual é de fato um clima característico das regiões montanhosas como Ouro Preto. Segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2019), uma das menores temperaturas registradas no município foi de 0°C, na data de 15 de junho de 1925. Já a média anual geralmente apresenta valores em torno de 18 — 20°C.

O manancial que abastece a ETA (Córrego Teixeira) é superficial e conta com proteção natural. O seu acesso é limitado, pois suas águas pertencem à área do Parque Estadual do

Itacolomi, criado pela Lei nº 4.495/67 (LEI nº 4.495, 1967), cujo sistema hídrico faz parte das sub-bacias Rio da Velhas/Rio Piranga e das bacias Alto Rio São Francisco/Rio Doce. A Figura 1, adquirida do *Google Maps* em 21/08/2019, mostra uma visão geográfica da localização real da estação de tratamento ETA—Itacolomi (canto direito inferior).

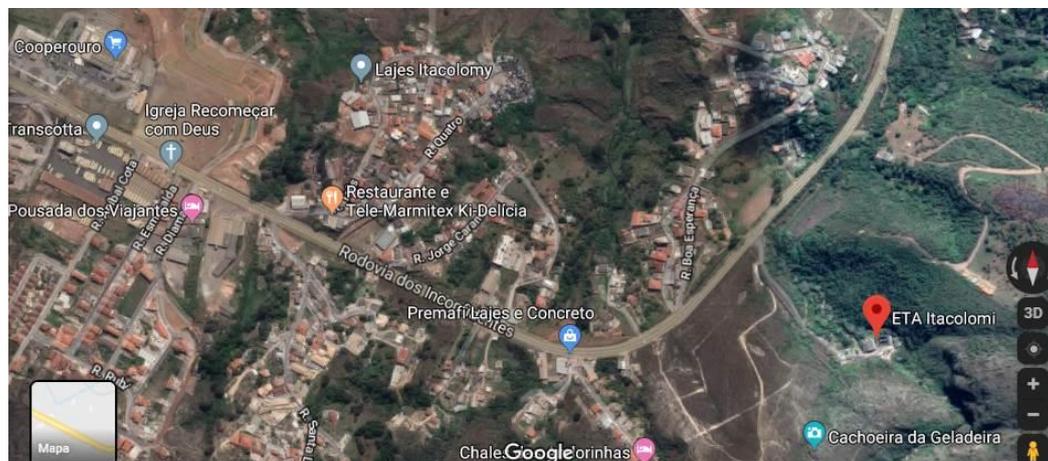


Figura 01 — Visão de satélite da localização geográfica da ETA—Itacolomi. (Fonte: retirada do *Google Maps*).

3.2. Processo de produção de água potável na ETA—Itacolomi

O processo de tratamento de águas é realizado em Estações de Tratamento de Água (ETA's) (DI BERNARDO, 1993, SHREVE e BRINK, 2012 e GAUTO e ROSA, 2011). Embora o processo geral seja o mesmo, cada ETA apresenta determinadas peculiaridades dependendo das características da água a ser tratada. O tratamento segue basicamente as etapas apresentadas no fluxograma da Figura 2, i.e., captação, adução, pré-alkalinização, coagulação, floculação, decantação, filtração, complexação de metais, desinfecção, reservação, redes de distribuição e ligações domiciliares. Uma discussão detalhada destas etapas está apresentada no subitem 4.1 da seção de resultados e discussões.

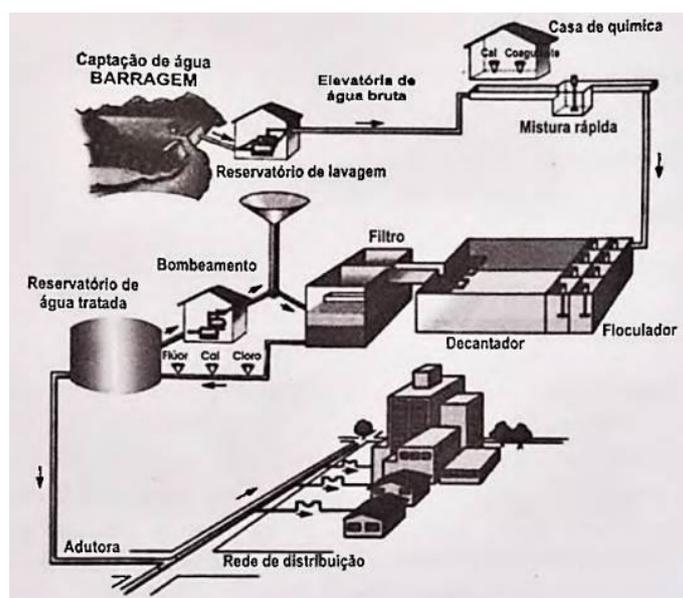


Figura 02 — Fluxograma simplificado do processo de produção de água potável para consumo humano. (Fonte: Adaptado de COPASA *apud* in GAUTO e ROSA, 2011).

3.3. Monitoramento de parâmetros físico-químicos de rotina

Na ETA—Itacolomi, é procedimento padrão a realização do monitoramento, em intervalos fixos de tempo, das características físico-químicas da água tanto bruta quanto tratada. Neste trabalho os monitoramentos foram feitos pelas manhãs, sendo as coletas efetuadas de duas em duas horas (às 07:00h, 09:00h e 11:00h), durante um período de 7 dias. As amostras de água coletadas tiveram seus parâmetros físico-químicos analisadas no laboratório da própria ETA.

Para a água bruta foram monitorados os parâmetros pH, cor e turbidez. Já no caso da água tratada os parâmetros foram turbidez, cor, pH e cloro residual livre. Foram adotados os devidos cuidados para manter os parâmetros físico-químicos de acordo com os limites estabelecidos pela Portaria 518/2014. Assim, conforme os ensaios indicassem alguma necessidade de ajuste no pH ou na qualidade da floculação, as dosagens de cal, $\text{Ca(OH)}_{2(\text{aq})}$, e sulfato de alumínio, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_{3(\text{aq})}$, poderiam ser modificadas para mais ou para menos.

A vazão da água bruta também foi monitorada a fim de se determinar a quantidade de hipoclorito de sódio, $\text{NaClO}_{(\text{s})}$, que seria necessário adicionar na etapa do processo de desinfecção, sendo que por padrão o valor desejado deveria estar no intervalo de 0,2—2 mg/L, conforme a Portaria 518/2014. Já o pH e a turbidez associados determinavam a quantidade de cal e sulfato de alumínio usados para que a floculação fosse feita de forma eficiente. Por fim, as temperaturas ambiente e da água tratada eram também monitoradas, uma vez que a eficiência do processo de desinfecção depende, além do pH, também temperatura.

A fluoretação seria uma etapa adicional que deve ser realizada logo após a desinfecção, e tem por finalidade reduzir a incidência de cárie dental 9 (GAUTO e ROSA, 2011). Contudo, a água tratada até a etapa de desinfecção já é também considerada potável e, portanto, apta ao consumo humano. Em Ouro Preto, atualmente apenas a ETA de Amarantina aplica o processo de fluoretação. A Tabela 3, a seguir, relaciona alguns dos parâmetros citados e a importância dos mesmos, além dos equipamentos utilizados em suas medições.

Tabela 3 – Relação de alguns parâmetros de água tratada utilizados, os quais são recomendados pela Portaria n° 518/2014 do Ministério da Saúde, sua importância e equipamentos de medição utilizados.

Parâmetro	Importância	Equipamento de medição
<i>Cloro residual</i>	Agente bactericida. É adicionado durante o tratamento com o objetivo de eliminar bactérias e outros microrganismos que podem estar presentes na água. Na água tratada recomenda-se um teor mínimo de 0,2 mg/L e máximo de 2,0 mg/L.	<i>Colorímetro Portátil Aqua Color Cloro</i> , da Fabricante <i>Poli Control</i> .
<i>Cor</i>	A quantidade de cor é originada pela presença de sólidos dissolvidos na água. Coloração elevada na água bruta é indicativo de necessidade de coagulação. A faixa recomendada de cor na água distribuída deve ser menor que 15 uH (unidade <i>Hazen</i>).	<i>Analizador de cor Aquacolor</i> (Fabricante: <i>Poli Control</i>).
<i>Turbidez</i>	É a medida da dificuldade de um feixe de luz atravessar uma certa quantidade de água. É provocada pela presença de material fino em suspensão na água. É um parâmetro de aspecto estético de aceitação ou rejeição do produto. Seu valor máximo na água tratada deve ser de até 5 NTU.	<i>Turbidímetro</i> , da Fabricante <i>Poli Control</i> .
<i>Potencial Hidrogeniônico (pH)</i>	É uma medida que estabelece a condição ácida ou alcalina da água. É um parâmetro de caráter operacional que deve ser acompanhado para otimizar os processos de tratamento e preservação contra corrosão ou entupimentos em tubulações do sistema de distribuição. Não indica um risco sanitário associado diretamente à sua medida. A faixa recomendada de pH na água tratada e distribuída é de 6,0 a 9,5.	<i>Dispositivo para determinação de pH</i> , de fabricação da <i>Dellab Laboratórios</i> ; e solução indicadora de pH, da mesma fabricante.

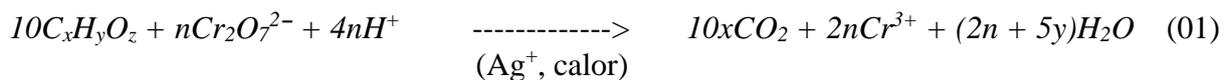
(Fonte: Autor, sendo parte adaptada da PORTARIA n° 518/2014).

3.4. Análises de demanda química de oxigênio (DQO)

A demanda química de oxigênio, DQO, é um parâmetro químico relacionado à quantidade de oxigênio que é consumido por determinadas substâncias (e.g., matéria orgânica) que se oxidam sob condições específicas. Apesar de não representar diretamente um indicativo de potabilidade da água, a DQO tem grande importância na estimação do potencial poluidor, i.e., o potencial consumidor de oxigênio tanto em efluentes domésticos quanto industriais. Assim, através da quantificação da DQO é possível analisar o estágio de poluição de um corpo d'água ou qualquer outro sistema aquático (ZUCCARI *et al.*, 2005).

Neste tipo de análise, seria complexo quantificar a demanda do oxigênio e, por este motivo, é feita uma substituição do oxigênio por substâncias químicas oxidantes que, tendo sua quantidade medida previamente e após o contato com o material em análise, revelam o potencial consumidor de oxigênio de tal material. Para servir a este propósito geralmente costuma-se empregar o sal de dicromato de potássio (ROCHA *et al.*, 1990, *apud in* ZUCCARI *et al.*, 2005).

O procedimento analítico consiste em usar o sal na oxidação de redutores por excesso conhecido de dicromato, a quente, em ácido sulfúrico. A reação é catalisada por íons prata e na presença de mercúrio (II) como complexante/eliminador de cloretos (LEME, 1990, DI BERNARDO, 1993 e ZUCCARI *et al.*, 2005). Dessa forma, supondo que $C_xO_yH_z$ seja uma substância orgânica redutora genérica contida na água em análise, a sua oxidação se processará conforme a reação expressa pela Equação 01, conforme ZUCCARI *et al.*, (2005):



Onde:

$$N = 4x + y - 2z.$$

Assim, verifica-se pela Equação 01, que crômio (III) forma-se em quantidade em mols equivalente ao dicromato reduzido (em mols) e, conseqüentemente, também equivalente (em mols) à demanda química de oxigênio que teoricamente seria “consumido ou demandado”, sendo então a determinação do parâmetro feita então através de medições de absorvância das soluções do cátion. Conforme explica ZUCCARI *et al.*, (2005), a DQO é obtida após medir-se a absorvância das soluções finais, i.e., após a redução do dicromato a crômio (III).

Portanto, com base nesta representação teórica descrita foram realizadas análises de DQO em duplicata de amostras de água da ETA—Itacolomi nos estágios “água bruta” e “água tratada” pelo processo da ETA em questão. As leituras das absorvâncias foram feitas em 585 nm, pois desta forma era possível detectar faixas de concentração de DQO entre 100 e 2000 ppm (mg/L). O procedimento envolveu o uso dos seguintes reagentes: dicromato de potássio 0,0125 mol/L; ácido sulfúrico concentrado; sulfato de prata; sulfato de mercúrio; solução padrão de biftalato de potássio 200 mg/mL (substância de referência). A solução de dicromato foi preparada pesando-se 3,6773 g de dicromato de potássio e diluindo-se para 1000 mL. A solução de ácido sulfúrico e sulfato de prata e sulfato mercurioso foi preparada pesando-se 10,12 g de sulfato de prata, juntando-se 0,5 g de sulfato de mercúrio II e adicionando-se a 1000 mL de ácido sulfúrico concentrado. Estas análises de DQO foram feitas em instalações do laboratório de análises de efluentes e águas do departamento de química da Universidade Federal de Ouro Preto (DEQUI/UFOP).

O procedimento experimental teve início com a adição, numa cubeta de DQO, de 3 mL da solução de ácido sulfúrico e sulfato de prata e sulfato mercurioso, 1,5 mL de dicromato de potássio 0,0125 mol/L e 3 mL da amostra (procedimento em duplicata). Em seguida, o termorreator foi aquecido por 10 minutos a 148°C e então os tubos de DQO foram inseridos

dentro do reator e mantidos neste por um tempo de 120 minutos. Após este tempo os tubos foram retirados para fora do reator e resfriadas naturalmente até a temperatura ambiente. Em seguida foram então centrifugadas e posteriormente submetidas às leituras de absorção (região do visível) em um espectrofotômetro *Femto Plus 600*, utilizando-se o comprimento de onda de 585 nm.

4. Resultados e discussões

4.1. Descrição do processo produtivo de água potável da ETA—Itacolomi

Conforme mostrado fluxograma da Figura 02, o tratamento da água para consumo humano na ETA—Itacolomi segue as etapas de captação, coagulação/floculação, decantação, filtração, desinfecção e distribuição para os reservatórios da cidade.

Etapa 1: Captação

A seleção da fonte abastecedora de água é um processo importante na construção de um sistema de abastecimento. Deve-se, portanto, procurar um manancial com vazão capaz de proporcionar abastecimento pleno à comunidade, além de ser de grande importância a localização da fonte, a topografia da região e a presença de possíveis focos de contaminação, os quais devem ser evitados. Na ETA—Itacolomi, a captação é feita superficialmente, por gravidade, sendo a água captada de uma barragem construída no leito do manancial (Córrego Teixeira), conforme mostram as Figuras 3a—b.



Figura 03 — Ponto de captação de água em (a), e transporte via dutos metálicos até a ETA—Itacolomi (adução) (b). (Fonte: Autor).

Etapa 2: Coagulação/floculação

O tratamento físico-químico da água com agentes coagulantes, para obter na sequência a floculação das impurezas, consiste em promover a redução de turbidez, cor e outros componentes indesejáveis, através da eliminação de sólidos suspensos. Estes sólidos são partículas coloidais dispersas uniformemente, as quais não sofrem sedimentação por ação direta da gravidade (DI BERNARDO, 1993, SHREVE e BRINK, 2012 e GAUTO e ROSA, 2011). A floculação, teoricamente, é composta (subdividida) em etapas, quais são, conforme DI BERNARDO, (1993), SHREVE e BRINK, (2012) e GAUTO e ROSA, (2011):

(i) *Neutralização* — a maioria das partículas insolúveis na água tem a superfície carregada eletricamente pela adsorção de íons, sendo o principal o íon hidroxila. Assim, a presença de cargas elétricas de mesmo sinal aumenta a repulsão entre as partículas, o que dificulta a formação de flocos para posterior sedimentação. A etapa de neutralização consiste, portanto, na busca pela eliminação destas cargas elétricas, a qual é feita pelo uso de um coagulante.

(ii) *Coagulação* — a adição do coagulante químico neutraliza a carga elétrica das partículas, eliminando o fenômeno de repulsão entre elas. O processo de coagulação geralmente é feito com sulfato de alumínio, mas ou outros agentes coagulantes também podem ser empregados. Todos eles promovem a aproximação entre as partículas, facilitando a formação de agregados.

(iii) *Floculação* — consiste em aglomerar as partículas agregadas na coagulação, formando flocos de tamanhos consideráveis. Na floculação, em geral, parte da matéria insolúvel precipita-se (sedimenta-se) com relativa facilidade mesmo quando a água não é agitada. Porém, a matéria mais finamente dividida é mantida em suspensão porque, além de ser muito pequena, possui cargas elétricas negativas que se repelem, conferindo-lhe turbidez.

A calha *Parshall* é o local onde é feita neutralização dessas cargas negativas da matéria em suspensão, seguida da aglutinação das partículas pela adição de solução de sulfato de alumínio, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, dando origem ao alumínio tri-hidratado (ou hidróxido de alumínio), $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$, que um ácido de *Lewis*, logo, possui carga superficial positiva. Esta carga positiva é que neutraliza as partículas de cargas negativas dos coloides em suspensão na água, encapsulando-as dentro de sua estrutura. Assim, as partículas tornam-se maiores e sedimentam-se rapidamente.

O processo é complementado pela adição de solução de hidróxido de cálcio, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, conhecido popularmente como cal, a qual tem a função de manter o pH da água no nível adequado (entre 6,5 e 9). A reação química que descreve este processo é descrita conforme a Equação 02:



As imagens das Figuras 4a—c relevam detalhes importantes da adição de produtos (sulfato e cal) através da calha *Parshall* (Figura 4c).

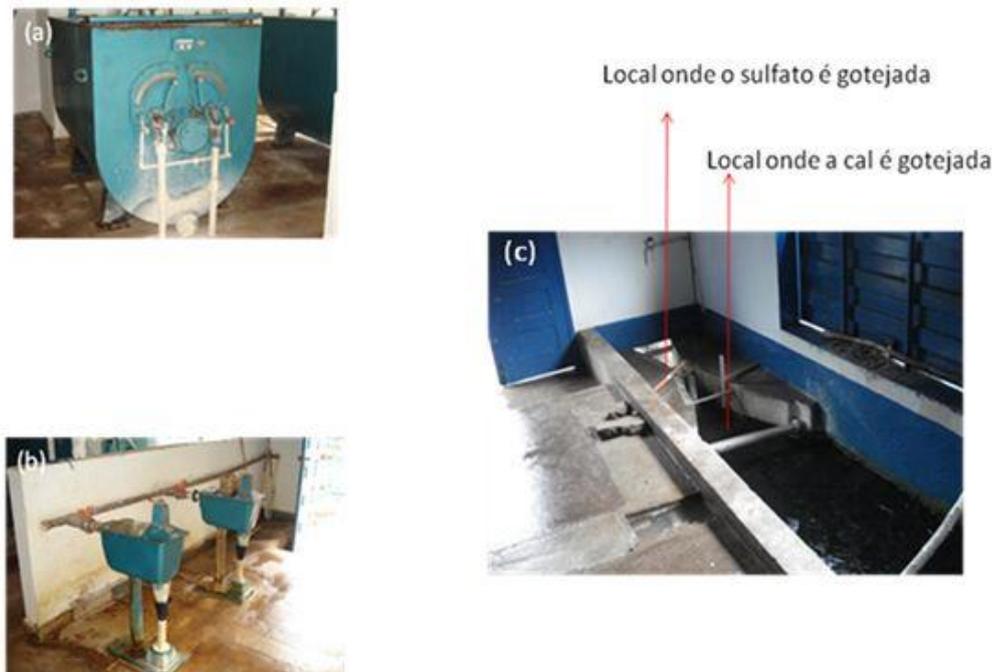


Figura 04 — Tanque de dosagem de cal (a), válvulas de dosagem de sulfato e cal (b), e setas indicando os locais onde estes produtos químicos são gotejados na água de entrada, através da calha *Parshall*, durante o tratamento (c). (Fonte: Autor).

A partir da calha *Parshall*, a água é transportada, por ação da gravidade, até os tanques flocladores, nos quais, já coagulada, movimenta-se também por gravidade, de modo que os flocos são misturados, ganhando peso, volume e consistência, conforme ilustrado nas Figuras 5a—b.

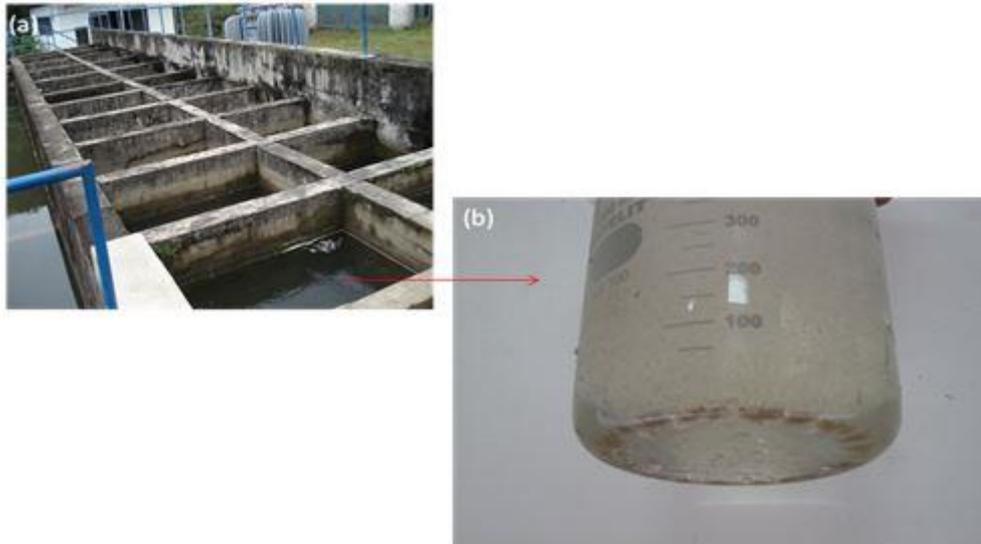


Figura 05 — Tanques de floclação (a), e béquer com uma amostra floclada, evidenciando a aparência macroscópica dos flocos formados (b). (Fonte: Autor).

É importante frisar que, para ocorrer uma distribuição uniforme das substâncias adicionadas durante a floclação (coagulantes e alcalinizantes), a água precisa ser submetida a uma forte agitação na entrada do floclador, sendo essa uma das importantes funções da Calha *Parshall*. Uma vez que as partículas estejam desestabilizadas, a etapa seguinte é a formação dos flocos. Para isso é necessário que se introduza energia ao meio, de forma adequada. A deficiência de energia provoca a formação de flocos com características precárias de sedimentação. Por outro lado, o uso de energia excessiva pode provocar ruptura de flocos formados. Quando o fornecimento de energia é adequado, obtém-se a formação de flocos grandes, densos e contendo ramificações, as quais pode entrelaçar entre si formando estruturas maiores e mais pesadas que então se sedimentam com maior facilidade.

Alguns fatores podem alterar qualidade de uma boa floclação. Os principais são o potencial hidrogeniônico da água (pH), onde existe um pH que melhor se ajusta à floclação. Esse pH é denominado pH ótimo de floclação, o qual varia de acordo com o agente floclante usado no tratamento. Os demais fatores que interferem são o tempo de mistura, a temperatura e o grau de agitação do sistema.

Etapa 3: Decantação

A decantação é o processo que ocorre nos tanques de sedimentação (ou decantadores), tal como ilustrado na Figura 6. Em termos práticos, a decantação consiste na utilização das forças gravitacionais para separar as partículas de densidade superior à da água, as quais se depositam na superfície interna no fundo do tanque, denominada zona de armazenamento ou zona de repouso, tal como pode ser visto no exemplo da Figura 6. As partículas que não são removidas no processo de sedimentação devido ao seu tamanho ou por possuírem valor de densidade muito próximo ao valor da água, serão removidas na etapa seguinte, a filtração.



Figura 06 — Demonstração das zonas típicas de um decantador similar ao da ETA—Itacolomi.
(Fonte: Adaptado de GAUTO e ROSA, 2011).

Conforme mostra a Figura 6, e de acordo com DI BERNARDO, (1993) e GAUTO e ROSA, (2011), o decantador é constituído por quatro zonas:

- (i) *zona de turbilhonamento*: é a zona situada na entrada da água. Observa-se nesta zona certa agitação onde a localização das partículas é variável;
- (ii) *zona de decantação*: nesta zona não há agitação, e as partículas avançam e descem lentamente na direção da zona de repouso;
- (iii) *zona de repouso*: é a zona onde o lodo formado se acumula, o qual precisa ser removido periodicamente. Esta zona não sofre influência da corrente de água do decantador em condições normais de operação;
- (iv) *zona de ascensão*: aqui os flocos que não alcançam a zona de repouso seguem o movimento da água e aumentam de velocidade, seguindo em direção à saída para a filtração.

Na ETA—Itacolomi existem dois decantadores como este exemplificado. Eles são, na verdade, tanques de fluxo horizontal, cujas principais vantagens residem na simplicidade, alta eficiência e baixa sensibilidade em caso de condições de sobrecarga.

Etapa 4: Filtração

A filtração consiste em fazer a água passar por substâncias porosas capazes de reter e remover algumas de suas impurezas. A água chega aos filtros da ETA, por gravidade, contendo ainda algumas impurezas que não foram sedimentadas no processo de decantação/sedimentação. Por isso ela precisa passar pelos filtros de leito poroso, similares ao apresentado na Figura 7, visando caminhar no sentido da obtenção de um grau potabilidade aceitável.

Conforme explicam GAUTO e ROSA, (2011), estes filtros são formados por duas camadas de areia (uma fina e outra grossa), cada uma delas medindo aproximadamente 75 cm de altura, as quais são depositadas sobre duas camadas de cascalho (uma de pedriscos e outra de pedras), cada uma com cerca de 30 cm de espessura, as quais repousam sobre uma base de tijolos especiais, i.e., tijolos contendo orifícios drenantes.

No processo, a água vinda do floculador/decantador alimenta o filtro, sendo então depositada sobre o leito filtrante, e daí atravessa os poros da camada de areia, nas quais as impurezas ficam retidas. Estes poros, mesmo que relativamente grandes, conseguem reter a maior parte das partículas suspensas. Isso ocorre porque em torno dos grãos de areia formam-se películas de matéria gelatinosa, geralmente de origem biológica, as quais retêm as impurezas da água. Entretanto, com o uso contínuo dos filtros na ETA e com a passagem de grandes quantidades

diárias de água, tanto essa gelatina como as impurezas fixadas corroboram para a obstrução dos poros da areia, dificultando a passagem da água e reduzindo a vazão do filtro, o que requer lavagem do mesmo.

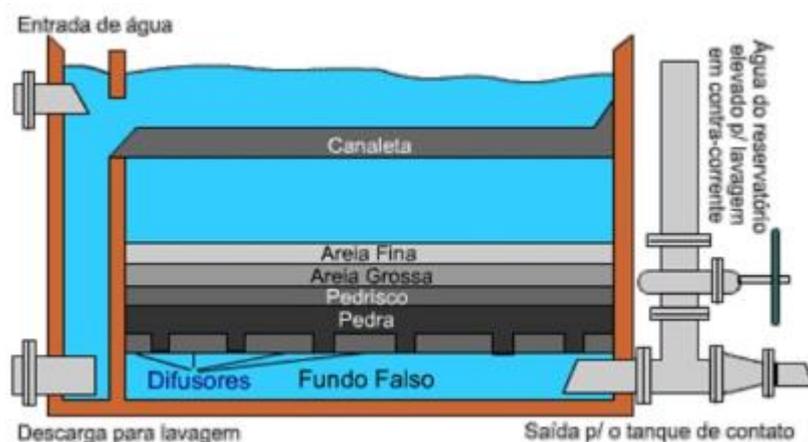


Figura 07 – Demonstração de um típico filtro horizontal de areia e pedras similar ao da ETA—Itacolomi.
(Fonte: Adaptado de GAUTO e ROSA, 2011).

A lavagem dos filtros é feita pela injeção de um fluxo de água limpa em contracorrente, i.e., a água da lavagem entra pelo fundo do filtro e atravessa o leito poroso no sentido de baixo para cima, saindo pela tubulação de água de lavagem e esgoto. É importante salientar que lavagens feitas de forma inadequada podem levar à obstrução completa do filtro ou ainda à formação de bolas de lodo, que são agregados de areia e flocos de forma esférica, fato que demandaria a troca do meio filtrante.

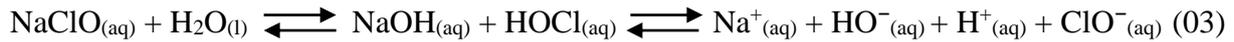
O tempo de lavagem varia de acordo com a turbidez da água, i.e., quanto maior a turbidez, maior a frequência de lavagem dos filtros. Na ETA—Itacolomi as lavagens dos filtros eram feitas uma vez ao dia, sendo um filtro lavado por dia, de forma que todos os filtros eram lavados pelo menos uma vez por semana.

Etapa 5: Desinfecção

A desinfecção tem por finalidade, a destruição de microorganismos patogênicos presentes na água, tais como bactérias, protozoários, vírus e vermes. A desinfecção é necessária porque não é possível assegurar a remoção total dos microorganismos pelos processos físico-químicos utilizados no tratamento de água.

A etapa de desinfecção na ETA—Itacolomi era feita num tanque chamado caixa de contato, onde a água filtrada recebia aplicação de cloro na forma de solução de hipoclorito de sódio, $\text{NaClO}_{(aq)}$. A dosagem do hipoclorito de sódio era determinada de modo que o teor de cloro livre na água tratada estivesse em torno de 0,2 a 0,9 mg/L, conforme estabelece a Portaria nº 518/2004 do ministério da saúde.

A utilização do cloro como desinfetante é vantajosa, pois este produto é de fácil aquisição, principalmente quando na forma sólida (hipoclorito), é barato e de fácil aplicação devido à sua boa solubilidade em água, e deixa uma quantidade residual em solução que é também de fácil determinação em laboratório. Além disso, apresenta baixa toxicidade ao homem e tem alto poder de destruição da maioria dos microorganismos patogênicos que podem estar presentes na água. A reação química envolvida no processo de desinfecção com o cloro está descrita na Equação 03:



Em geral, os agentes químicos de desinfecção agem pela inativação de enzimas essenciais para a vida, as quais são existentes no citoplasma dos microorganismos.

Etapa 6: Distribuição

Após percorrer o processo completo de tratamento da ETA, a água tratada é distribuída à população da cidade. Para chegar aos domicílios, essa água passa por canalizações (dutos) subterrâneos nas ruas pavimentadas da cidade, formando as redes de distribuição de água de abastecimento. Ocorre que devido ao relevo altamente irregular da Cidade de Ouro Preto, em alguns bairros a pressão de chegada da água é insuficiente, necessitando, portanto, do uso de bombas tipo *boosters* para bombear a água para locais mais altos (estações elevatórias), de onde ela é distribuída para as residências. Por outro lado, existem na cidade também trechos de redes com pressão em excesso, os quais requerem a instalação de válvulas redutoras.

Cabe ainda salientar que o sistema de abastecimento de água da cidade/município de Ouro Preto apresenta alguns problemas antigos na sua estrutura e funcionamento, os quais vão desde redes não cadastradas no sistema até à necessidade de substituição de redes antigas com funcionamento comprometido ou fabricadas com materiais não mais permitidos por Lei, e.g., o amianto. Além disso, conforme reportado por VALENTE *et al*, (2018), existe a necessidade de melhorias nos projetos de estações elevatórias de água e dos reservatórios e de ampliação da rede de abastecimento até populações mais periféricas ainda não contempladas.

No entanto, o que sem tem verificado nas últimas gestões municipais da cidade é que os gestores têm tido dificuldades no desenvolvimento melhorias e implementações de novos projetos de saneamento devido a complicadores diversos, tais como a idade avançada de parte significativa da canalização, o relevo complexo de muitas ruas da cidade e também as limitações existentes para realizações de obras, as quais decorrem do fato da pavimentação de parte grande da cidade estar tombada pelo patrimônio histórico da UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura).

O problema de abastecimento de água potável na cidade é ainda mais agravado pela ausência da obrigatoriedade em Lei, da instalação de hidrômetros nas residências dos consumidores, sendo cobrada apenas uma tarifa básica com vistas a cobrir custos operacionais que, no entanto, como já mencionado, não é suficiente para a manutenção dos serviços essenciais.

4.2. Resultados das análises de DQO

A Figura 8 mostra a curva padrão de calibração obtida para análise de DQO, a qual abrangeu uma faixa de concentração entre 100 e 2000 ppm (mg/L). A curva foi obtida com um coeficiente de correlação linear de $R^2 = 0,9975$, i.e., foi feito um ajuste linear de qualidade.

Como resultado deste ajuste, obteve-se a equação da reta (ou equação da curva de calibração) descrita pela Equação 04:

$$\text{Equação da curva de calibração: } Y = -0,00539 + 0,00032x \quad (04)$$

Com essa equação da reta ajustada, e utilizando-se os valores de absorção das amostras de água bruta e tratada, foram determinados os valores de DQO apresentados na Tabela 4. Observa-se por essa tabela, que as amostras de água bruta apresentaram um valor da DQO de $144,2 \pm 3,32 \text{ mg.L}^{-1}$. Esse valor foi superior ao valor obtido para as amostras de água tratada, $115,32 \pm 2,19 \text{ mg.L}^{-1}$, i.e., houve uma redução de 20,02% no valor da DQO original. Isto significa que o processo de tratamento de água feito na ETA—Itacolomi removeu matéria orgânica eventualmente presente na água captada da nascente. Contudo, os valores

encontrados foram um pouco superiores aos esperados (esperava-se algo como DQO < 50 mg.L⁻¹). Mesmo assim, estes valores de DQO encontrados são baixos se comparados a valores reportados para corpos d'água contaminados (CARVALHO *et al*, 2004). Uma possível justificativa pode estar relacionada ao período chuvoso em parte dos dias em que a coleta de dados foi realizada, o que pode ter influenciado tanto a necessidade de adição de maior quantidade de produtos químicos quanto a vazão de trabalho da ETA.

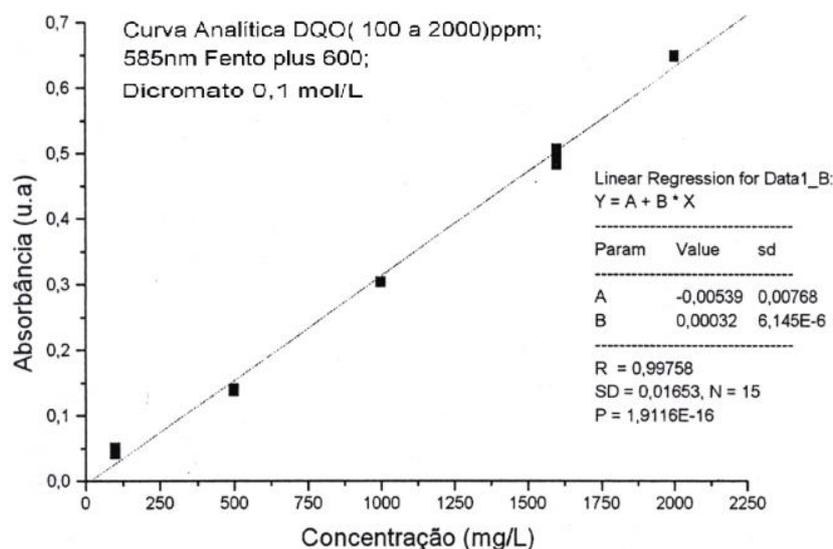


Figura 08 — Curva analítica padrão de calibração para a quantificação da DQO em 585 nm. (Fonte: Autor).

Embora a literatura não apresente um consenso absoluto na legislação ou nas discussões sobre um valor ideal de DQO esperado em águas potáveis, acredita-se que o valor encontrado, de 115,3 mg.L⁻¹ não signifique contaminação grave da água por matéria orgânica, uma vez que, de acordo com a curva de calibração trabalhada poderiam ser detectados níveis de DQO de até 2000 mg.L⁻¹ de concentração, i.e., a concentração encontrada situa-se ainda próxima ao limite mínimo detectável pelo método aplicado. Além disso, conforme reportado por CARVALHO *et al*, (2004), a água de rio, quando contaminada, e.g., com despejo inadequado de esgoto doméstico não tratado, pode atingir valores de DQO de 700 a 1000 mg.L⁻¹ ou até superiores, situação que é consequência da impossibilidade de diluição, pelas águas do rio, da carga de efluente recebido, caracterizando desta forma contaminação acentuada. Geralmente em corpo d'água de rios, os valores de DQO podem aumentar ainda mais quando ocorre despejo de efluentes industriais, e.g., de movelarias, de matadouros, de curtumes, dentre outros.

Tabela 4 — Valores de DQO encontrados nas amostras de água bruta e tratada da ETA—Itacolomi.

Tipo da amostra	Faixa (mg.L ⁻¹)	Comprimento de onda (nm)	Absorção (u.a.)	DQO (mg.L ⁻¹)	DQO média (mg.L ⁻¹)
Bruta	100–2000	585	0,040	141,8	144,2 ± 3,32
Bruta	100–2000	585	0,045	146,5	
Tratada	100–2000	585	0,031	113,7	115,32 ± 2,19
Tratada	100–2000	585	0,032	116,8	

(Fonte: Autor).

4.3. Análise de parâmetros físico-químicos de rotina

A Figura 9 apresenta o comportamento da vazão média de produção de água da ETA—Itacolomi no período de dias em questão. É possível observar claramente que a vazão de produção oscilou entre os valores, mínimo, de cerca de 67 L.s^{-1} , e máximo, de cerca de 73 L.s^{-1} . Cabe frisar que todos os valores médios de vazão de produção observados são superiores ao valor nominal de trabalho projetado para a ETA, de 50 L.s^{-1} (Figura 9). De fato, PEREIRA *et al*, (2016), relataram uma relação de consumo *per capita* de cerca de 250 L/habitante.dia para a cidade Ouro Preto, contra uma média de apenas 149 L/habitante.dia para o estado de Minas Gerais, i.e., esse dado é condizente com a alta vazão de produção verificada para esta ETA, de $67\text{--}73 \text{ L.s}^{-1}$. Talvez a falta de hidrometração na cidade, citada por VALENTE *et al*, (2018), seja um dos motivos que estejam levando a este consumo *per capita* elevado, embora seja sempre de crucial importância a verificação periódica das condições gerais de funcionamento da ETA, para saber que percentual desta vazão elevada de produção tem também relação com perdas do próprio sistema de produção.

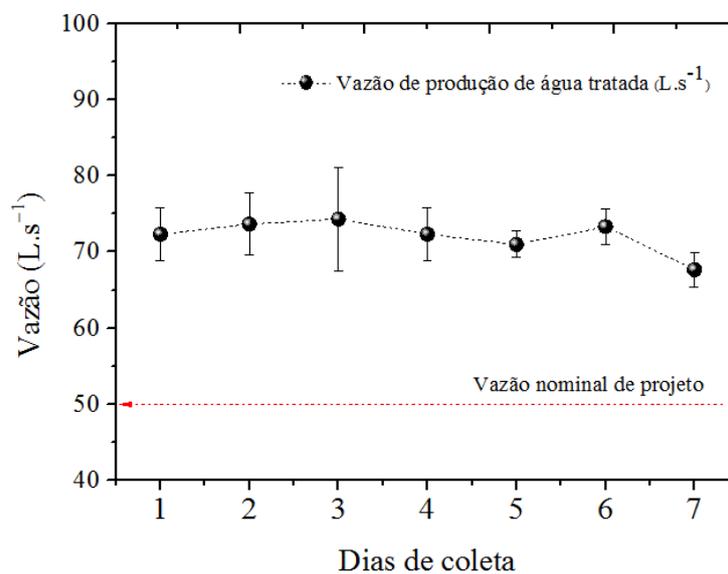


Figura 09 — Comportamento da vazão média (em L.s^{-1}) de produção de água tratada da ETA—Itacolomi no período avaliado. (Fonte: Autor).

Já a Tabela 5 apresenta as variações de parâmetros físico-químicos das amostras de água bruta e tratada, assim como as dosagens de diferentes produtos químicos utilizados no seu tratamento nas instalações da ETA—Itacolomi, os quais foram coletados durante os sete dias de análise e acompanhamento realizados.

O estado físico da água de entrada na ETA definia fundamentalmente as quantidades e vazões de produtos químicos a serem adicionadas na mesma, visando assegurar um processo de tratamento seguro e eficiente.

Observa-se, de acordo com os dados da Tabela 5, que a adição de sulfato de alumínio, agente promovedor da coagulação das impurezas, foi de zero nos dias 2° ao 6°. Por outro lado, nos dias 1° e 7° a dosagem desse componente foi elevada, em virtude de forte mudança climática ocorrida no dia anterior (chuva intensa). Dessa forma, foi verificado que nos dias em que a água de entrada na ETA era de estado límpido, as etapas de adição de cal e sulfato eram dispensáveis, realizando-se conseqüentemente apenas as etapas de filtração e cloração. Estas duas etapas, independentemente de qualquer situação climática e/ou condição/estado da água de entrada, eram obrigatoriamente e devidamente executadas.

Tabela 5 – Variações de parâmetros físico-químicos das amostras de água bruta e tratada e dosagens de diferentes produtos químicos utilizados no seu tratamento durante o período de análise e acompanhamento.

Dias de coleta	Dia 1			Dia 2			Dia 3			Dia 4			Dia 5			Dia 6			Dia 7		
	07 h	09 h	11 h	07 h	09 h	11 h	07 h	09 h	11 h	07 h	09 h	11 h	07 h	09 h	11 h	07 h	09 h	11 h	07 h	09 h	11 h
Turbidez Bruta (NTU)	15,50	13,70	13,90	0,02	2,39	2,25	3,93	5,04	4,22	1,47	1,45	2,67	1,97	2,18	2,05	2,94	4,55	2,45	56,40	64,30	52,00
Turbidez Tratada (NTU)	11,60	11,50	9,44	2,05	1,84	0,58	2,81	3,85	2,38	0,05	1,87	0,87	0,67	0,57	1,03	0,60	0,24	1,62	44,30	34,30	23,10
Cor Bruta (U.C.)	51,00	47,00	46,00	17,00	24,00	27,00	25,00	24,00	21,00	24,00	21,00	25,00	26,00	30,00	22,00	24,00	25,00	25,00	124,00	122,00	118,00
Cor Tratada (U.C.)	31,00	31,00	26,00	28,00	18,00	16,00	13,00	13,00	14,00	11,00	18,00	13,00	14,00	14,00	10,00	13,00	14,00	16,00	91,00	71,00	49,00
pH Bruta	6,50	6,50	6,80	6,80	6,80	6,80	7,20	7,20	7,00	7,70	6,80	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	6,80	6,80	6,80
pH Tratada	6,80	3,80	6,50	6,80	6,80	7,00	7,20	7,20	7,00	7,20	7,80	7,20	7,20	7,20	7,40	7,40	7,20	7,20	7,20	6,80	7,00
Cloro Residual Tratada (mg/L)	1,00	0,80	0,50	0,80	0,80	1,50	0,80	0,80	0,50	1,40	1,50	0,80	1,00	1,00	1,50	2,50	1,00	0,50	0,80	0,50	0,30
Temperatura da água (°C)	18,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	18,00	18,00	19,00	18,00	19,00	19,00	19,00	18,00	20,00	18,00	19,00	19,00	18,00	19,00	19,00
Temperatura ambiente (°C)	18,00	20,00	24,00	20,00	21,00	24,00	18,00	20,00	24,00	19,00	21,00	24,00	19,00	24,00	26,00	19,00	25,00	24,00	19,00	21,00	22,00
Dosagem de Cloro (mL/15 s)	35,00	45,00	70,00	75,00	65,00	65,00	0,00	60,00	43,00	30,00	50,00	45,00	60,00	30,00	65,00	80,00	50,00	30,00	35,00	30,00	30,00
Dosagem de Cal (mL/15 s)	0,00	80,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40,00	40,00	60,00
Dosagem de Sulfato (mL/15 s)	0,00	280,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	190,00	190,00	300,00

(Fonte: Autor).

Com relação ao cloro residual, a análise da Tabela 5 mostrou que este parâmetro foi rigorosamente mantido dentro dos padrões da Portaria n° 518/2004, com exceção apenas de uma amostra, a qual foi coletada no 6° dia e apresentou dosagem de 2,5 mg/L de cloro residual na água tratada. No entanto, valor foi rapidamente corrigido nas dosagens seguintes, voltando as concentrações desta substância a figurar dentro dos limites legais.

O parâmetro temperatura da água foi mantido durante todo o tempo na faixa de 19 – 20°C, a qual é uma faixa de temperatura boa e que mantém a água fresca, garantindo um adequado processo de desinfecção.

De forma semelhante, o pH das amostras tanto de água bruta quanto tratada flutuaram em uma faixa de valores dentro dos parâmetros estabelecidos pela legislação (Portaria n° 518/2004), com exceção de uma única amostra no dia 1°, a qual apresentou um valor de pH igual 3,8. Contudo, o valor foi logo identificado e devidamente corrigido.

Com relação ao parâmetro cor, observou-se pela Tabela 5 que as amostras de água bruta no geral tinham valores bastante superiores ao valor máximo permitido pela legislação, que é de 15 uH (unidade *Hazen*). Após o tratamento da água, observou-se que todos os valores de cor foram bastante reduzidos no sentido de alcançar o limite permitido pela legislação, porém, algumas amostras ainda permaneceram com valores de cor um pouco acima de 15 uH. Uma situação muito similar ocorreu também com a turbidez. Isto significa que, embora estes dois parâmetros sozinhos, da forma que variaram, não sejam suficientes para reprovar a qualidade da água, são indicativos de que ajustes possam estar sendo necessários.

5. Conclusões

Esta atividade apresentou um resultado considerado positivo no sentido de ter possibilitado o acompanhamento e a vivência profissional e cotidiana de um processo de tratamento de água convencional que é feito em ETA's, o que levou, através da correlação entre prática profissional e ensinamentos teóricos, a uma plena compreensão da importância do tratamento de água para abastecimento humano.

Foi observado que a ETA—Itacolomi produz água tratada com qualidade suficiente para atender à legislação vigente, apesar de que, no período de trabalho em questão, tenham ocorrido alguns pequenos desvios da normalidade (cor, turbidez e DQO). No entanto, estas alterações não foram consideradas suficientes para reprovação de todo processo de tratamento realizado, uma vez que ocorreram somente para algumas amostras num conjunto de muitos testes realizados. Tais alterações muito provavelmente têm associação com a ocorrência de fortes chuvas em alguns dias durante o intervalo de tempo da pesquisa realizada. Em todo caso, embora o tratamento tenha sido aprovado, foi deixado uma alerta à equipe da ETA com relação às observações verificadas.

Por fim, foi constatado que em todos os dias da pesquisa a ETA—Itacolomi trabalhou com vazões de produção de água de 25,3–31,5% superiores à vazão de projeto estabelecida, o que pode estar associado tanto a um consumo desmedido e não consciente por parte de consumidores finais, como também à prováveis perdas relacionadas ao sistema de produção.

6. Referências

- BARBOSA, C.C.** *Avaliação da qualidade de água do sistema Itacolomi em Ouro Preto/MG*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da UFOP. Ouro Preto, MG, 2003.
- BARBOSA, C.C., CASTRO, M.C.F.M. & GUARDA, V.L.M.** *Parasitoses intestinais e qualidade sanitária da água potável distribuída no Sistema Itacolomi, no distrito de Ouro Preto (MG)*. Além dos Muros da Universidade (ALEMUR) – Revista da Cátedra AMDE. Vol. 2, n. 2, pp. 118–125, 2017.
- CARVALHO, C.F., FERREIRA, A.D. & STAPELFELDT, F.** *Qualidade das águas do ribeirão Ubá – MG*. Revista da Escola de Minas (REM). Vol. 57, n. 3, pp. 165–172, 2004.
- DI BERNARDO, L.** *Métodos e técnicas de tratamento de água*. Rio de Janeiro: ABES, Vols. I e II, 1993.
- FONSECA, A. & FILHO, J.F.P.** *Um esquecido marco do saneamento no Brasil: o sistema de águas e esgotos de Ouro Preto (1887–1890)*. História, Ciências, Saúde – Manguinhos, Vol. 17, n. 1, pp. 51–56, 2010.
- GAUTO, M.A. & ROSA, G.R.** *Processos e operações unitárias da indústria química*. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2011.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE)**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/ouro-preto/panorama>>. Acessado em 22 de agosto de 2019.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET)**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acessado em 23 de agosto de 2019.
- JÚNIOR, A.M., FURLAN, A.C.P., SOUZA, A.T., MATSUOKA, C., ARDUIN, E.M.A., ALVES, L.A.B, PEREIRA, L.F., BOUNASSAR, M., DI NALLO, M., FAITA, M.M., GENARO, S.P., NETO, T.G. & HAWTHORNE, W.D.** *Plano municipal de saneamento básico*. Ouro Preto, MG, Vol. 1, 2013.
- LEI ESTADUAL.** *Lei 4.495/1967 – Cria o Parque Estadual do Itacolomi, nos Municípios de Ouro Preto e Mariana, em terrenos devolutos do Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte, MG, 1967.
- LEI FEDERAL.** *Lei Federal 11.445/2007 – Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico*. Brasil, 2007.
- LEI MUNICIPAL.** *Lei nº 13/2005 – Cria o Serviço Municipal de Água e Esgoto de Ouro Preto – SEMAE-OP, como entidade autárquica de direito público da administração indireta e dá outras providências*. Ouro Preto, MG, 2005.
- LEME, F.P.** *Teorias e técnicas de tratamento de água*. Rio de Janeiro: ABES, 1990.
- PEREIRA, J.O., SILVA, S.B.F., FARIA, P.C., COSTA, T.T. & PIRES, V.G.R.** *Impacto do consumo descontrolado de água na produção de resíduos em estação de tratamento de água. Estudo de caso: ETA—Itacolomi, Ouro Preto (MG)*. Revista Brasileira de Ciências Ambientais – RBCIAMB. Nº 39, pp. 2–13, 2013.
- PORTARIA MINISTERIAL.** *Portaria nº 518/2004 – Estabelece as responsabilidades por parte de quem produz a água, a quem cabe o exercício do controle de qualidade da água e das autoridades sanitárias, a quem cabe a missão de “vigilância da qualidade da água” para consumo humano*. Ministério da Saúde, Brasil, 2004.
- SHREVE, R.N. & BRINK, Jr., J.A.** *Indústrias de processos químicos*. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 4ª Edição, 2012.
- VALENTE, L.M., VIEIRA, P.C., PEREIRA, L.G. & KNUPP, M.E.C.G.** *Condições do saneamento básico na cidade histórica de Ouro Preto*. Encontro Técnico AESABESP. 29º Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente, pp. 1–13, 2018.
- ZUCCARI, M.L., GRANER, C.A.F. & LEOPOLDO, P.R.** *Determinação da demanda química de oxigênio em águas e efluentes por método calorimétrico alternativo*. Energia na Agricultura. Vol. 20, n. 4, pp. 69–82, 2005.