



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE QUÍMICA**

Vanessa de Almeida Bezerra Maia

**TRATAMENTOS ALTERNATIVOS PARA REMOÇÃO
DE MIB E GEOSMINA DA ÁGUA POTÁVEL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Brasília – DF

2.º/2012



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE QUÍMICA**

Vanessa de Almeida Bezerra Maia

**TRATAMENTOS ALTERNATIVOS PARA REMOÇÃO
DE MIB E GEOSMINA**

Trabalho de Conclusão de Curso em Ensino de Química apresentada ao Instituto de Química da Universidade de Brasília, como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciada em Química.

**Orientador: Wildson Luiz Pereira dos Santos
Co-Orientadora: Fernanda Vasconcelos de Almeida**

2.º/2012

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus, pela sua infinita bondade, misericórdia e fidelidade para comigo. Ele é a minha fonte de forças, de alegria e de paz. Sem Ele, nada de bom na minha vida teria sido possível. Agradeço ao meu avô Maia, por sua dedicação em investir em minha educação, sua fé em meu potencial e seus grandes ensinamentos juntamente com a minha avó Socorro, que foram de grande valia para a formação do meu caráter. Agradeço ao meu pai, José Francisco, por ter acreditado em mim e contribuído para que não me faltasse nada juntamente com minha mãe, Rossânia Maia, que além de todo o apoio emocional diário, intercedia por mim em orações. Agradeço a minha irmã, Renata Maia, por seu apoio emocional e espiritual diário e a sua enorme boa vontade e paciência comigo, mesmo nos dias mais difíceis. Agradeço a minha amiga Andressa de Souza Silva, companheira de apartamento, por sua enorme paciência, apoio e boa vontade, sua amizade e conversas diárias que me aliviavam o peso de viver longe da família e ao meu grande amigo Everaldo Lima, por seu grande apoio emocional e intelectual e toda sua paciência que com certeza foram extremamente importantes à minha formação acadêmica. Aos meus amigos em Cristo, que também me apoiaram emocionalmente e espiritualmente, como Renata Alvim, Marcela Alvim, Michelle Leão, Tuani Duarte, entre tantos outros, principalmente à Pastora Estael e sua filha Tamirys, que intercederam juntamente com a minha família por mim nos momentos de aflição. Agradeço também aos professores Maria Lucília dos Santos, Joice Baptista Aguiar, Wildson Luiz Pereira dos Santos e Fernanda Vasconcelos Almeida, por me ajudarem sempre, tirarem minhas incontáveis dúvidas com paciência e dedicação e transmitirem a mim o amor que sentem pela química e pelo ensino. Por fim, agradeço grandemente ao meu amado namorado Eden dos Santos Teixeira, por todo apoio, paciência, carinho, orações, jejuns, força e amor que tem dedicado a mim. Sei que não foi nada fácil suportar o meu cansaço, angústia, estresse, irritação, tristeza, entre outros sentimentos difíceis que me acometiam principalmente nos finais de semestre. Você esteve sempre comigo todos esses momentos e nunca me deixou sentir abandonada. Obrigada a todos por terem tanta confiança e fé em mim, por tão boas expectativas ao meu respeito e nunca me deixarem desistir. Foi por causa de vocês e Deus que eu pude continuar.

SUMÁRIO

Introdução.....	5
Capítulo 1 – Água.....	6
1.1 Água para consumo humano	6
1.2 Água Potável.....	7
1.2.1 Sabor e Odor na Água Potável: tipos e origens	7
1.2.2 A determinação do odor e sabor da água potável.....	9
CAPÍTULO 2 – O Tratamento da água.....	12
2.1 O tratamento convencional da água.....	13
2.2 Alternativas de Tratamento de Águas com Sabor ou Odor.....	15
Considerações finais.....	20
Referências.....	21

RESUMO

Várias pesquisas têm sido feitas no sentido de encontrar a melhor solução de tratamento para remoção de compostos causadores de gosto e odor na água tratada e que são resistentes aos métodos convencionais de desinfecção do tratamento de água. Nesse trabalho, são relacionados alguns dos mais recentes/utilizados tratamentos alternativos utilizados em adição ao tratamento convencional, como o uso do carvão ativado em pó e granular, biodegradação através de bactérias que consomem MIB e Geosmina obtidas através de enriquecimento de cultura em filtros de areia ou carvão ativado, desenvolvimento de cerâmica adsorvente mais barata que o carvão ativado, degradação induzida por ultrassom e processos oxidativos avançados com base em irradiação UV utilizando lâmpada de mercúrio de baixa pressão ou ozônio ou peróxido de hidrogênio.

Palavras-chaves: MIB, geosmina, remoção

INTRODUÇÃO

Este trabalho tem por objetivo explorar um pouco do assunto de gosto e odor na água potável, os principais tipos e origens, os legislados e não legislados, focando nos compostos de origem biogênica não legislados MIB e Geosmina, causadores de odor e sabor na água potável para consumo humano e resistentes ao tratamento convencional da água, reunir informações sobre suas origens e os principais tratamentos alternativos para remoção desses compostos. Desde sempre pude perceber pequenas ou maiores mudanças no gosto ou odor da água, conforme variavam as regiões de origem, porém, não podia entender quais eram as causas. No ensino médio, não aprendi sobre os processos de tratamento de água, sabia apenas que a água deveria ser incolor, inodora e insípida, mas não era o que eu percebia. A curiosidade por entender como funciona o tratamento convencional da água e por que as águas têm gosto e muitas vezes odor motivaram-me a escrever esse trabalho e dessa forma, tornar-se uma fonte com material interessante para utilização do professor junto aos alunos, que podem interessar-se por conhecer mais sobre a água que bebem diariamente e a partir daí observar melhor as sensações palatáveis desta. A partir desse trabalho, o aluno toma conhecimento da existência da união entre química e tecnologia para resolução do problema do tratamento eficaz da água, com remoção de gosto e odor. Ainda, pode perceber o quanto importante é o entendimento da química e o quanto é aplicável ao cotidiano, pois a água potável é velha conhecida. Finalmente, transformar esse trabalho em artigo da Química Nova na Escola para ser utilizado por professores na área de química e sociedade.

CAPÍTULO 1 – ÁGUA

A água está envolvida direta ou indiretamente em tudo que nos rodeia, além do fato de que nós, seres humanos, temos a água contribuindo com mais da metade da nossa massa corporal. Mesmo contribuindo com um grande volume no planeta, a água necessária para os principais tipos de utilizações é escassa. É encontrada sob a forma de água doce ou salgada onde 97,4% da água do planeta é salgada, e apenas 2,6% é doce; 2,3% está nas geleiras ou águas subterrâneas com mais de 800 metros de profundidade. Finalmente, sobra ao homem uma parcela de cerca de 0,3% de água doce, disponível em rios e lagos com 0,01% e o restante (0,29%) é subterrânea (LENZI et al., 2009).

1.1 Água para consumo humano

A água para consumo humano é a água potável destinada à ingestão, preparação de alimentos e higiene pessoal, independente da origem. Essa água deve ter um alto padrão de qualidade se comparado ao padrão necessário para outras utilidades, uma vez que está diretamente relacionado com a saúde humana. Mas nem sempre foi assim. Desde os tempos antigos a humanidade tem buscado territórios com fonte de água onde possa habitar e se desenvolver ao redor destes. Dessa forma, muitas cidades se desenvolveram ao longo de rios, como Londres, Paris, São Paulo, Manaus, entre outras. Porém, a preocupação com a qualidade da água girava em torno apenas das características sensíveis pela percepção humana, como cor, turbidez, gosto e odor. Com o aumento das populações, o conseqüente aumento da contaminação das fontes e a falta de saneamento, começaram a desconfiar de que muitas doenças tivessem origem na má qualidade da água, e que a água, mesmo esteticamente agradável, podia estar contaminada. A partir do século XIV foram feitos alguns trabalhos para a melhoria do saneamento das cidades, mas apenas no século XIX, iniciou-se na Inglaterra, depois da epidemia de cólera, o desenvolvimento de uma moderna engenharia sanitária, tendo sido criada a primeira

lei sanitária em 1848 (PÁDUA, 2009). A partir daí, os procedimentos para análise e tratamento de água foram evoluindo progressivamente.

1.2 Água Potável

De acordo com a portaria 2914-11 do ministério da saúde, a água potável é definida como a água que atenda ao padrão estabelecido nesta portaria e não oferece riscos à saúde. Esta água é utilizada em vários seguimentos da sociedade, como agricultura e pecuária, indústrias, transporte, lazer e recreação, entre outros, além do uso mais nobre – dessedentação humana e higiene pessoal. A captação da água para possível tratamento e distribuição é feita a partir de mananciais, que são quaisquer fontes de água utilizadas para consumo humano. Estes enquadram-se em três tipos: águas superficiais, que constituem os rios, lagos, córregos, ribeirões, reservatórios artificiais etc; águas subterrâneas, que constituem os aquíferos e lençóis freáticos; e a água da chuva, captada antes de atingir a superfície. (BRASIL, 2006)

A água captada, passa por tratamento para que não ofereça risco à saúde dos consumidores. É submetida a processos físicos, químicos, ou uma combinação destes, visando atender aos padrões de potabilidade da portaria do Ministério da Saúde, que incluem parâmetros organolépticos como cor, turbidez, gosto e odor; microbiológicos como coliformes totais e *Escherichia coli*; físico-químicos, como temperatura, condutividade, dureza, sólidos totais dissolvidos, oxigênio dissolvido, alcalinidade, pH, componentes químicos, entre outros (BRASIL, 2006).

1.2.1 Sabor e Odor na Água Potável: tipos e origens

O tratamento da água deve ter como resultado uma água incolor, insípida e inodora, mas nem sempre isso acontece. Muitas vezes, consumidores percebem na água potável odores indesejáveis e até mesmo gosto. Esse tipo de percepção acaba levando o consumidor a desacreditar na qualidade da água gerando uma insatisfação com o consumo desta, provocando muitas vezes a busca por outras fontes de água, nem sempre mais seguras. É válido lembrar que gosto e odor na água não necessariamente compromete sua potabilidade, assim como a ausência destes não significa que uma água está livre de substâncias patogênicas.

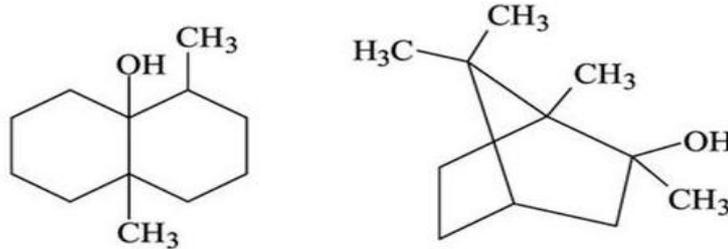
Gosto e odor na água pode ter relação com a presença de uma variedade de compostos. Cada fonte apresenta diferentes concentrações destes, de forma que cada fonte pode ter um gosto ou odor dependendo da sua composição. Pode-se ter uma maior concentração de matéria orgânica em uma fonte, enquanto que outra fonte pode ter uma grande concentração mineral; ao mesmo tempo, outras fontes podem não apresentar gosto ou odor perceptível. A maioria desses compostos é eliminada no tratamento convencional da água, sendo encontrados apenas na água bruta. Dessa forma, podemos dividi-los em compostos causadores de gosto e odor exclusivos da água bruta e compostos que necessitam de um tratamento especial para serem retirados da água tratada.

Causadores de gosto e odor encontrados na água bruta incluem compostos inorgânicos que contêm os íons de ferro, manganês, cobre, zinco, cloretos, sulfatos, entre outros. Todos estes constituem parâmetro organoléptico com limite máximo de concentração em legislação (MS portaria 2914/11). Muitos compostos orgânicos são eliminados ou reduzidos a um valor aceitável de acordo com a portaria do Ministério da Saúde através do tratamento convencional. Porém, alguns compostos orgânicos não são eficientemente eliminados, necessitando de formas alternativas adicionais ao tratamento, que acabam por encarecer o processo. Entre os compostos orgânicos que se constituem parâmetro organoléptico com limite máximo de concentração para potabilidade estipulado em legislação estão os clorofenóis, clorobenzenos, etilbenzeno, tolueno e xilenos. São substâncias encontradas principalmente em mananciais superficiais expostos aos poluentes de indústrias e automóveis para os quais acabam escoando através da chuva (CETESB, 2013).

Alguns compostos causadores de gosto e odor não encontram-se legislados, porém constituem problemas de aceitação dos consumidores, uma vez que costumam resistir ao tratamento convencional da água e estão cada vez mais presentes nos mananciais devido ao crescimento urbano e conseqüente aumento de despejos residenciais e industriais nestes. Dentre eles, 2 – metilisoborneol (MIB) e Geosmina são os compostos mais comumente relatados na literatura quando se trata de causadores de gosto e odor de origem biogênica e que não são eliminados no tratamento convencional da água. Quando os mananciais encontram-se eutrofizados, ou seja, com grande concentração de nitrogênio e fósforo devido a despejos de esgotos domésticos, drenagem urbana, águas residuárias industriais e drenagem agrícola, ocorre a floração de cianobactérias (algas azuis) e actinomicetos, que têm como resíduos metabólicos esses alcoóis terciários alifáticos resistentes aos processos de desinfecção convencionais, gerando gosto e odor de terra/morfo. Além disso, o tratamento

convencional pode quebrar esses micro-organismos liberando mais desses metabólitos na água tratada. Possuem um valor limiar de percepção olfativa e de sabor muito baixos, 4 – 10 ngL⁻¹ para MIB e geosmina respectivamente (Song; O'shea, 2007).

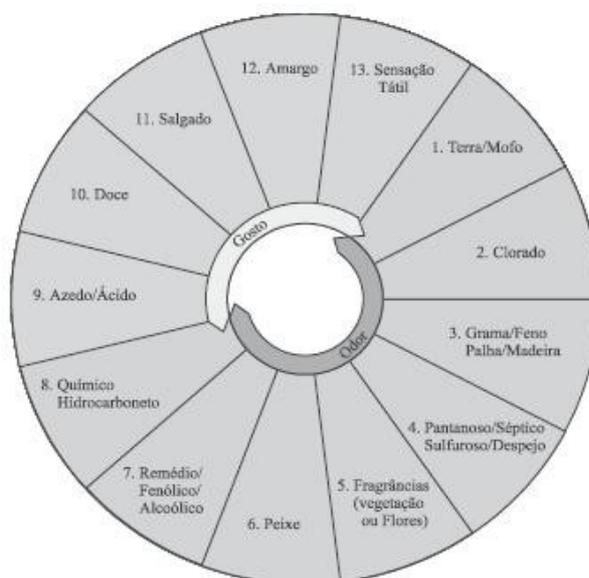
Figura 1: Geosmina à esquerda e 2-Metilisoborneol à direita.



1.2.2 A determinação do odor e sabor da água potável

Existem duas técnicas sensoriais qualitativas utilizadas para a análise da determinação do gosto e odor da água obtidas através dos Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, uma publicação da AWWA, APHA e WEF: Threshold Odor Number (TON) e Flavor Profile Analysis (FPA). A primeira aquece a amostra coletada a 40 graus Celsius e dilui com água isenta de gosto e odor, somando sempre 200 ml, independente da razão amostra/água padrão. Utiliza-se a equação $TON = A+B/A$, onde A é o volume da amostra, B é o volume da água padrão e A+B é sempre igual a 200ml. Calcula-se TON a partir da menor relação A/B com gosto e odor perceptível. FPA difere da primeira em vários sentidos: primeiramente não há diluição da amostra, há um painel sensorial elaborado pela American Water Works Association (AWWA) que destaca os odores e sabores de água potável que se têm documentado e é utilizado pelos analistas de gosto e odor (painelistas) para destacar a intensidade de cada gosto e odor separadamente, ou seja, a água terá um valor de intensidade para cada gosto e odor percebido.

Figura 2: Roda de gosto e odor simplificada para avaliação das análises sensoriais efetuadas por meio de Painel Sensorial para as águas de abastecimento das ETA's, ABV e TAT.



Fonte: (MAUTONE et al, 2004 *apud* FERREIRA FILHO, 2006)

A escala de intensidades do método FPA utiliza os números pares de 0 a 12, com 7 níveis de intensidade, como mostrado na tabela:

Intensidade	Valor
isento	0
limiar	2
fraco	4
fraco a moderado	6
moderado	8
moderado a forte	10
forte	12

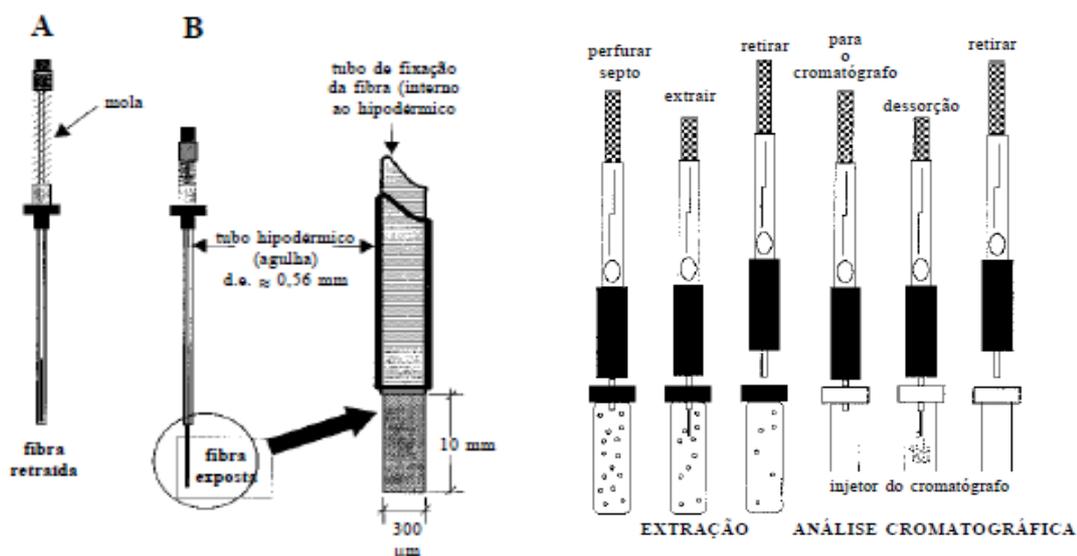
O método FPA é utilizado para análise da intensidade e característica de gosto e odor pelo Ministério da Saúde, sendo que o valor máximo permitido pela atual portaria 2914/11 do Ministério da Saúde é 6 – fraco a moderado (BRASIL, 2011).

Além dessas técnicas sensoriais, existe a análise qualitativa e quantitativa desses componentes. Para detectar a presença de contaminantes traço, com os métodos convencionais como extração líquido-líquido, seria necessário um volume muito grande de amostra, além de demandar muito tempo. Dessa forma, foi utilizada a técnica de

microextração em fase sólida, aliada à cromatografia gasosa acoplada com espectrômetro de massa, onde não há necessidade de grandes volumes de amostra e pode ser utilizado para compostos voláteis e não voláteis. (JULIANO, 2010) Esse método consiste na utilização de um bastão de fibra ótica, recoberto com filme fino de polímero ou de um sólido adsorvente. Esse bastão possui 300 micrômetros de diâmetro, e fica retraído no interior de um tubo hipodérmico, chamado de agulha. Na extração, a a fibra de 10mm de extensão agora exposta é mergulhada na amostra, onde o material a ser analisado é adsorvido e depois desorvido no injetor do cromatógrafo, conforme a figura ilustrada a seguir. (VALENTE; AUGUSTO, 1999).

Figura3: Sistema de microextração em fase sólida

Fonte: (VALENTE; AUGUSTO, 1999)



À esquerda, dispositivo da fibra de SPME: (A) Posição com a fibra retraída na agulha (tubo hipodérmico de diâmetro externo 0,56 mm), (B) posição com a fibra exposta. No detalhe são mostradas as dimensões típicas da seção com recobrimento de 100 mm de espessura. À direita, Uso do amostrador de SPME para o processo de extração e o de desorção do material extraído para análise por CG.

CAPÍTULO 2 – O TRATAMENTO DA ÁGUA

A água potável que chega em nossas casas é captada de uma fonte natural e passa por um tratamento, visando a retirada de compostos que podem comprometer a saúde dos consumidores além de melhorar as características biológicas, físico-químicas e organolépticas da água e levar a uma aceitação dos consumidores.

A escolha da fonte envolve uma análise minuciosa de suas características, seu potencial de tratabilidade, a viabilidade de captação, entre outras características. Dependendo do tipo de manancial, exige-se um determinado tratamento para a água. Mananciais subterrâneos costumam ter menor risco de contaminação, e a água que chega até estes passa por rochas porosas que funcionam como filtros, eliminando grande parte de sua impureza. Geralmente, esses mananciais precisam apenas de tratamento para oxidar substâncias inorgânicas que encontram-se em maior concentração devido à dissolução de componentes das rochas, porém a captação é menos viável do que em águas superficiais (OLIVEIRA, 2012). A água de mananciais superficiais está mais exposta à contaminação antropogênica, além de constituir ambiente característico para proliferação de microrganismos patogênicos. Dessa forma, o tratamento tende a ser mais complexo. Nesse capítulo será tratado o assunto tratamento de água, incluindo o tratamento convencional, onde será explicado de forma resumida a pré-cloração, Coagulação, Floculação, Decantação, Filtração, Desinfecção, Fluoretação e Correção de pH. Na segunda parte serão discutidos alguns dos mais recentes tratamentos alternativos analisados nacional e internacionalmente para remoção de MIB e Geosmina, como a adsorção em carvão ativado, biodegradação dos compostos odorantes por bactérias de culturas enriquecidas através de biofilme formado em filtros de areia ou carvão ativado utilizando a água dos reservatórios que apresentam esses compostos, adsorção em nova cerâmica feita a partir da lama de Akadama no Japão, degradação através de ultrassom e processos oxidativos avançados utilizando luz ultravioleta.

2.1 O tratamento convencional da água

O tratamento de mananciais superficiais tem várias etapas, e pode variar dependendo das características da água captada, com mais ou menos etapas. A baixo, tem uma ilustração de uma das estações de tratamento de água da CAESB, situada na cidade de Brazlândia – DF. Uma forma convencional de tratamento de água compreende as etapas a seguir.

Figura 4: ETA Brazlândia CAESB -



Fonte: <http://www.caesb.df.gov.br/index.php/agua/unidades-de-tratamento8.html>

Pré-cloração:

É a primeira fase do tratamento. Assim que a água bruta chega à estação de tratamento, recebe uma quantidade de cloro líquido ou hipoclorito de sódio, afim de evitar proliferação de algas e bactérias, além de oxidar a matéria orgânica e alguns componentes inorgânicos como ferro e manganês. (FUNASA, 2006).

Coagulação:

Nessa etapa são utilizadas substâncias coagulantes que desestabilizam as cargas superficiais negativas das partículas presentes na água, invertendo a situação de repulsão por atração, levando a uma aglutinação de materiais responsável pela formação de micelas, para melhorar (remover) a turbidez e a cor da água. Os coagulantes utilizados geralmente são sais de alumínio ou ferro (FUNASA, 2006).

Floculação:

As partículas, após passarem pela coagulação e terem sua carga desestabilizada, devem passar por um processo onde vão se agrupar, ganhar peso e tamanho, geralmente ocorre em uma mistura lenta com tempo determinado, para serem posteriormente removidos em um processo posterior de extração sólido-líquido (FUNASA, 2006).

Decantação:

Nessa etapa, os flocos mais densos que a água vão para o fundo, resultando na sedimentação do material pela força da gravidade, enquanto a água agora clarificada passa para a próxima etapa (FUNASA, 2006).

Filtração:

Nessa fase, os flocos menos densos que a água, que não foram separados na decantação, serão removidos da água quando esta passa por meio de um material poroso estacionário que será o filtro, podendo ser constituído de materiais com areia, antracito, pedregulho, etc, onde ficarão retidos por aderência ao meio filtrante ou às partículas previamente aderidas (FUNASA, 2006).

Desinfecção:

Nesse momento, a água já tem mais de 90% de suas impurezas patogênicas removidas. A desinfecção irá destruir e inativar o restante desses microrganismos patogênicos – com exceção dos compostos odorantes MIB e Geosmina entre outros - através de um processo químico de oxidação com compostos desinfetantes, geralmente são usados compostos clorados, ozônio e luz ultravioleta. (FUNASA, 2006)

Fluoretação:

Essa etapa consiste em adicionar flúor na água potável, com o objetivo de prevenir a cárie dentária. Geralmente usa-se o fluorsilicato de sódio ou o ácido fluorsilícico. (FUNASA, 2006)

Correção de pH:

Na correção de pH, é adicionado hidróxido de cálcio na água tratada, a fim de remover o gás carbônico livre que torna a água ácida, corroendo as tubulações. Além disso, forma uma película de carbonato de cálcio protegendo estas. (FUNASA, 2006)

2.2 Alternativas de Tratamento de Águas com Sabor ou Odor

MIB e Geosmina são os compostos odorantes de difícil remoção mais documentados em todo o mundo (SONG; O'SHEA, 2007). No Brasil, há na literatura estudos que avaliam o potencial do carvão ativado em remover a presença de compostos odorantes. Segundo Juliano (2010), Carvão ativado é uma substância carbonácea inerte com alta porosidade e área superficial interna, comportando-se como excelente adsorvente usado para purificar, desintoxicar, desodorizar, filtrar, descolorir, declorificar e remover vários materiais líquidos e gasosos. Pode ser obtido de vários materiais com alto teor de carbono, como o osso, casca de coco, madeira e betume. Segundo Juliano (2010), pelo tamanho dos poros, a IUPAC classifica os carvões em macroporos, com diâmetro maior que 50nm; mesoporos, com diâmetro entre 2 e 50nm; microporos secundários, com diâmetro entre 0,8 e 2nm e microporos primários, com diâmetro menor que 0,8nm. O tamanho dos poros está diretamente relacionado com a massa molecular das substâncias orgânicas a serem adsorvidas. O CAP pode ser adicionado em três momentos distintos no tratamento de água: Na captação da água bruta, devido ao maior tempo de contato com a água, porém seria necessária maior quantidade de CAP, já que substâncias que seriam removidas nas próximas etapas podem ser adsorvidas pelo carvão, e dessa forma saturá-lo; No momento da coagulação, onde é mais comumente aplicado, porém o coagulante deve ser aplicado trinta minutos depois da aplicação do carvão, para evitar possíveis interferências do coagulante no processo de adsorção; por último pode ser aplicado na entrada dos filtros, onde as interferências na adsorção seriam minimizadas, porém há o risco de o carvão passar pelos filtros. O CAG é aplicado após a filtração ou como meio filtrante (Juliano, 2010).

Ferreira Filho e Fernandes (2003) analisaram a eficácia de algumas marcas de CAP na remoção dos compostos MIB e Geosmina presentes na água bruta do reservatório de Guarapiranga, que abastece a Estação de Tratamento de Água do Alto da Boa Vista (ETA-

ABV), responsável pelo abastecimento de cerca de 30% da população da região metropolitana de São Paulo, e apresenta eventos de floração de algas azuis e cianobactérias, causando o aumento da concentração de MIB e geosmina e levando à insatisfação dos consumidores. O ponto de aplicação do CAP foi junto à captação da água, devido ao tempo suficientemente alto de detenção hidráulica de 60 minutos entre a captação e a unidade de mistura rápida, que gera um tempo suficiente de contato entre o CAP e a água bruta. Os ensaios cinéticos de adsorção para cada um dos 6 tipos de CAP foram feitos em reatores estáticos com 90 minutos de tempo de contato, onde em cada ensaio foram coletadas amostras da água bruta após 15, 30, 45, 60 e 90 minutos de contato para análise. Coletadas, as amostras foram filtradas em membrana de 0,45mm para separar o CAP da fase líquida, sendo o filtrado acondicionado em frascos de cromatografia para análise da concentração de MIB e Geosmina. Como resultado, concluíram que os compostos MIB e Geosmina tiveram a maior parcela de remoção em até 30 minutos de contato com a água bruta, onde uma dosagem de CAP de 10 mg l^{-1} resultou na redução de 60% de uma concentração inicial de 100 ng l^{-1} de MIB enquanto uma dosagem de CAP de 20 mg l^{-1} resultou uma redução de 80% da mesma concentração inicial de MIB, sendo este último usado como parâmetro de eficiência devido ao fato de apresentar maior dificuldade de remoção. Dessa forma, concluiu-se que a dosagem ideal de CAP a ser adicionada no tratamento deve ser sempre analisada em ensaios testes, podendo variar dependendo da concentração dos compostos na água bruta. Além disso, concluiu-se que os CAP's de origem vegetal foram mais eficientes na remoção dos compostos odorantes do que os de origem mineral.

Juliano e Cybis (2010) avaliaram o potencial de algumas marcas de Carvão Ativado Granular (CAG) de madeira, casca e osso na remoção dos compostos odorantes MIB e Geosmina separadamente em água pura. Os carvões foram pulverizados até que 95% deles passassem pela peneira de 325 mesh, pois quanto menor o tamanho do grão, maior a área superficial e conseqüente incremento de locais de adsorção. Foram utilizadas concentrações iniciais de 1200 ng l^{-1} de MIB e Geosmina respectivamente. Como resultado, os CAG's de origem vegetal demonstraram melhor eficiência na remoção de MIB e Geosmina a baixo dos limites de detecção olfativos (LDO), onde o CAG de madeira demonstrou maior eficiência em remover MIB enquanto o CAG de casca de coco removeu melhor Geosmina, ambos removeram mais de 99% dos compostos respectivamente.

Juliano *et al* (2008) e Ho *et al* (2006) estão entre os mais recentes trabalhos publicados sobre a biodegradação de MIB e Geosmina. O primeiro teve como objetivo avaliar

o potencial de degradação desses compostos a partir de duas bactérias isoladas do Lago Guaíba no Rio Grande do Sul, na ausência de um substrato sólido. Por ser um importante manancial de abastecimento localizado na região metropolitana de Porto Alegre e sofrer com eventos sazonais de florações de algas e cianobactérias responsáveis pelo aumento das concentrações de MIB e Geosmina, esse manancial foi escolhido como fonte para o isolamento e enriquecimento das culturas de bactérias. O enriquecimento de culturas foi feito em sistema de colunas contendo carvão antracitoso montadas em capela de fluxo laminar. Após o crescimento do biofilme, o carvão foi retirado e agitado em água peptonada em 150 rpm por 30 minutos para retirar as bactérias, sendo após isso, isoladas as colônias e caracterizadas. Os testes de biodegradação foram realizados em duplicata, em banho de água, com agitação de 140 rpm e temperatura de 30°C e as soluções continham 30 ml de meio mineral, 3 ml do pré-inóculo de bactérias e concentrações de 1000 ng l⁻¹ de MIB e Geosmina. A biodegradação foi avaliada a cada 24 horas durante 120 horas e a massa celular bacteriana determinada pela medida do peso seco. A análise das concentrações residuais de MIB e Geosmina foram feitas por cromatografia gasosa acoplada ao espectrômetro de massa, através da microextração em fase sólida. De 15 colônias caracterizadas como consumidoras de MIB e Geosmina, duas foram escolhidas para analisar a biodegradação: F1 – bacilo com esporo Gram + e F2 – bacilo Gram -. Como resultado, a bactéria F1 removeu 89% de MIB e 93% de Geosmina, enquanto a F2 removeu 96% de ambas, a partir da concentração inicial, o que indica a possibilidade de utilizar bactérias previamente escolhidas e enriquecidas em Filtros biológicos de Carvão ativado ou areia.

Quanto à biodegradação desses compostos com biofilme a partir em filtro de areia, na Austrália, Ho *et al* (2006) analisaram essa possibilidade. Foi utilizada para formação do biofilme areia retirada dos filtros do Morgan Water Treatment Plant (WTP), estação de tratamento de água do sul da Austrália, que é abastecida pelo rio Murray, onde são encontrados compostos odorantes como MIB e Geosmina. A água tratada nessa estação tem sido historicamente livre desses compostos apenas utilizando tratamento convencional, onde presumiu-se que a remoção desses compostos odorantes estivesse ocorrendo por processos biológicos dentro dos filtros rápidos de areia. A areia coletada foi colocada em coluna de vidro e procedeu-se para a formação do biofilme com amostras de água tratada do Morgan WTP enriquecida com MIB e Geosmina de forma semelhante ao caso anterior. O biofilme foi retirado e as bactérias isoladas para biodegradação em biorreator. Foram usados biorreatores de vidro contendo 2 litros de água tratada esterilizada, juntamente com concentrações de MIB

e Geosmina e as bactérias isoladas do biofilme. As concentrações residuais desses compostos odorantes foram realizadas com microextração em fase sólida e análise de cromatografia gasosa acoplada ao espectrômetro de massa. Como resultado, MIB e Geosmina foram removidos e suas concentrações encontraram-se abaixo dos limites de detecção. A taxa de degradação aumentou quando o biofilme foi re-exposto a MIB e Geosmina. As bactérias *Pseudomonas* sp, *Alphaproteobacterium*, *Sphingomonas* sp e *Acidobacteriaceae* foram identificadas como as bactérias provavelmente envolvidas na biodegradação.

Xue *et al* (2011) desenvolveram recentemente no Japão uma nova cerâmica adsorvente fabricada a partir da lama de Akadama, depósito de cinzas vulcânicas do Japão tão comum e barata, amido de trigo e Fe_2O_3 em pó. Esse material seria uma alternativa ao carvão ativado de mais baixo custo. Os testes de adsorção foram realizados com MIB, e resultaram em remoção de até 80% do composto, podendo a cerâmica ser regenerada algumas vezes por dessorção térmica em mufla a $600^\circ C$ por 45 minutos sem perder muito de sua eficiência.

Song e O'shea (2007) avaliaram nos EUA o potencial de degradação de MIB e Geosmina induzida por ultrassom. A degradação foi induzida em uma frequência de 640 kHz com solução aquosa diluída de ar saturado. Após 40 minutos de irradiação, mais de 90% de decomposição dos dois compostos pôde ser observada. Os efeitos químicos do ultrassom são devidos à cavitação acústica, processo onde a irradiação ultrassônica promove o crescimento e colapso de bolhas de gás com simultânea liberação de calor. Há três diferentes caminhos de degradação dependendo das propriedades químicas das moléculas a serem degradadas, isto é, hidrofobicidade, volatilidade e constante de Henry. Essas reações ocorrem em regiões específicas: pirólise dentro das regiões de vapor da bolha, oxidação via radical hidroxila no meio exterior da bolha e oxidação supercrítica e hidrólise na interface hidrofóbica. Esse método de degradação mostrou-se eficiente e rápido, porém não é um método barato.

Ainda em relação aos processos de oxidação avançada, Zoschke *et al* (2012) compararam na Alemanha o potencial, custo e os subprodutos de alguns processos baseados em irradiação ultravioleta. São avaliados os processos de irradiação ultravioleta com lâmpada de mercúrio de baixa pressão – vacuum UV – (VUV), irradiação UV/ O_3 e UV/ H_2O_2 em água pura e água bruta. Processos oxidativos avançados produzem radicais hidroxila que degradam os compostos odorantes. A ferramenta utilizada para avaliar os custos dos tratamentos foi a energia elétrica por ordem, que é a energia necessária para provocar a degradação de um contaminante por uma ordem de magnitude em mil litros de água contaminada ou ar. No método UV/ H_2O_2 , o peróxido de hidrogênio dissocia-se sob irradiação UV formando radicais

hidroxila que degradam MIB e Geosmina. Já no método UV/O₃, o ozônio perde um oxigênio excitado pela irradiação UV, que reage com o vapor de água formando radicais hidroxila. Esse mesmo oxigênio reage também com a água líquida formando peróxido de hidrogênio, que reage com o ozônio formando radicais hidroxila. Os compostos odorantes podem ser reduzidos em 90% com 2 – 3mg l⁻¹ de ozônio e irradiação de 5000 – 6000 jm⁻² (joule por metro quadrado) em contato de 2 – 3 minutos. VUV foto-oxidação forma radicais hidroxila através da fotólise da água em comprimentos de onda abaixo de 190nm. Adicionalmente ao VUV, utiliza-se ozônio para evitar a formação de subprodutos tóxicos como nitritos, oriundos de nitratos presentes na água bruta. Esse ozônio necessário pode ser formado pelo próprio método VUV, o que barateia o processo. Um subproduto indesejável formado pela ozonização de brometo é o bromato, subproduto esse que não ocorre quando usado o peróxido de hidrogênio ao invés de ozônio. Como resultado, o processo UV/O₃ demonstrou ter o mais baixo custo operacional, seguido de VUV e com mais alto custo resultou o tratamento UV/H₂O₂, tanto na água pura quanto em água bruta.

Todos esses tratamentos alternativos oferecem vantagens e desvantagens, não existindo ainda um método que possa ser utilizado em todos os reservatórios como características diversas. Cabe a cada estação de tratamento avaliar, a partir das características do manancial, do fator econômico entre outros, a aplicabilidade da alternativa que melhor contemple a ocasião.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os compostos MIB e Geosmina encontram-se geralmente juntos e tendem a obter resultados semelhantes em cada tratamento, uma vez que têm estrutura semelhante – álcool terciário alicíclico – ainda com o MIB demonstrando maior resistência. . Existem pesquisas internacionais e nacionais que resultam em diferentes métodos para o tratamento alternativo de MIB e Geosmina, e apesar de não se constituírem parâmetros organolépticos com limite de concentração definido em legislação, há de se observar a necessidade de se testar métodos para remediar as águas contaminadas com esses compostos que levam à reclamação dos consumidores. Os métodos apresentados neste trabalho são alguns dos mais recentes da literatura e estão em constante pesquisa para aperfeiçoamento em vários países, assim sendo, esse trabalho reúne informações interessantes para a abordagem no ensino de química, levando os alunos a refletir e perceber de forma mais atenta o gosto e odor da água que bebem, levando-os a entender que existem vários tipos de água potável, onde algumas podem conter sensações palatáveis. É um problema relativamente conhecido e um assunto tangível, já que leva em consideração um material tão conhecido e apreciado diariamente pelos alunos: a água.

REFERÊNCIAS

- APHA, AWWA & WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, Clesceri, L. S.; Greenberg, A.E.; Eaton A.D., 20th Ed., Washington-USA, 1998.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria MS Nº 2914 DE 12/12/2011 (Federal). Disponível em: <<http://www.novaambi.com.br/portaria-2914-potabilidade>>. Acesso em 20 de jan. 2013.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Boas práticas no abastecimento de água**: Procedimentos para a minimização de riscos à saúde. Brasília, 2006.
- CETESB. Variáveis de Qualidade das Águas. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guas-Superficiais/34-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-das-%C3%81guas#topo>>. Acesso em 20 de jan. 2013.
- FERREIRA FILHO, S. S.; ALVES, R. Técnicas de avaliação de gosto e odor em águas de abastecimento: método analítico, análise sensorial e percepção dos consumidores. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. Rio de Janeiro, v. 11, n. 4, p. 362-370, out./dez. 2006.
- FERREIRA FILHO, S. S.; FERNANDES, A. N. Remoção de compostos orgânicos causadores de gosto e odor em águas de abastecimento: aplicação de carvão ativado em pó. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22, Joinville. **Anais...** 14 a 19 de Set. 2003.
- FUNASA. **Manual prático de análise de água**. 3. Ed. Brasília, DF, 2009. 144 p.
- JULIANO, V. B. **Remoção dos compostos 2-metilisoborneol e geosmina da água de abastecimento por carvão ativado granular e ação microbiana**. 2010. 141 f. Tese - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- HO, L. et al. Biodegradation rates of 2-methylisoborneol (MIB) and geosmin through sand filters and in bioreactors. **Chemosphere**, Oxford, v. 66, p. 2210-2218, 2007.
- LENZI, E. et al. **Química da Água: Ciência, Vida e Sobrevivência**. Rio de Janeiro: LTC, 2009. 604 p.
- OLIVEIRA, C. P. **Caderno Técnico Número 5: Águas Subterrâneas - Fontes Legais e Seguras de Abastecimento**. São Paulo: ABAS, 2012. 109 p. Disponível em:<<http://www.abas.org/arquivos/caderno5.pdf>>. Acesso em: 03 fev. 2013.
- PÁDUA, V. L. (Coord.). **Remoção de microorganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano**. Rio de Janeiro: ABES 2009.
- SONG, W.; O'SHEA, K. E. Ultrasonically induced degradation of 2-methylisoborneol and geosmin. **Water Research**, Oxford, v. 41, p. 2672-2678, 2007.
- XUE, Q. et al. Development of a ceramic adsorbent for the removal of 2-methylisoborneol from aqueous solution. **Desalination**, Amsterdam, v 281, p. 293-297, 2011.

VALENTE, A. L. P.; AUGUSTO, F. **Microextração por fase sólida**. Campinas, 1999. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v23n4/2653.pdf>>, Acessado em 22 fev. 2013.

ZOCHKE, K. et al. UV-based advanced oxidation processes for the treatment of odour compounds: Efficiency and by-product formation. **Water Research**, Oxford, v 46, p. 5365-5373, 2012.