

Eixo Temático ET-01-012 - Gestão Ambiental

REMOÇÃO DE CIANOTOXINAS DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO POR ADSORÇÃO EM CARVÃO ATIVADO.

Maria Virgínia da Conceição Albuquerque¹, Elaine Gurjão de Oliveira²
Amanda da Silva Barbosa³, Railson de Oliveira Ramos⁴, Roberta Milena Moura Rodrigues⁵,
Josivaldo Rodrigues Sátiro⁶, Wilton Silva Lopes⁷

¹ Bióloga, Mestranda em Ciência e Tecnologia Ambiental – UEPB;

² Engenheira Sanitarista e Ambiental, Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental
Doutoranda em Engenharia Ambiental – UEPB;

³ Bióloga, Mestranda em Ciência e Tecnologia Ambiental – UEPB;

⁴ Químico Industrial, Mestrando em Ciência e Tecnologia Ambiental – UEPB;

⁵ Química Industrial, Mestranda em Ciência e Tecnologia Ambiental – UEPB;

⁶ Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental – UEPB;

⁷ Prof. Dr. do Departamento de Engenharia Ambiental - UEPB

Endereço ⁽¹⁾: Av. Juvêncio Arruda, S/N. Bairro Universitário, Campina Grande – PB. Centro de Ciências e Tecnologia – CCT - UEPB, CEP: 58109-790 – Brasil. Cel: +55 (83) 99935-0593. E-mail: virginia.albuquerque@yahoo.com.br.

RESUMO

A ocorrência de florações de cianobactérias, em mananciais utilizados para abastecimento público, é cada vez mais frequente. Alguns gêneros de cianobactérias possuem espécies potencialmente produtoras de cianotoxinas, que podem afetar a saúde humana pelo contato direto através da pele ou por ingestão de água ou alimento contaminado. Classificadas de acordo com sua ação farmacológica, as cianotoxinas, são conhecidas como hepatotoxinas, neurotoxinas e dermatotoxinas. Dentre as hepatotoxinas comumente encontradas em amostras ambientais, tem-se a microcistina (MC), um heptapeptídeo cíclico que pode levar a morte em horas ou dias. Todavia, as dermatotoxinas de maior incidência no Brasil são as saxitoxinas (STX), que apresentam atividade neurotóxica e são também conhecidas por PSP (do inglês “Paralytic Shellfish Poisoning”), por terem sido identificadas como causa do envenenamento em humanos que consumiram mariscos contaminados. O conhecimento desse problema tem conduzido à necessidade de otimização das técnicas de tratamento que favoreçam uma elevada remoção de células intactas de cianobactérias, pois o uso de agentes oxidantes promove a lise celular a qual pode causar a liberação destas toxinas na água. O Carvão Ativado (CA) se apresenta como uma das melhores alternativas para a remoção de compostos orgânicos e inorgânicos devido a seu alto poder de adsorção. Nesta perspectiva, visando o cumprimento da portaria de potabilidade vigente, quanto à concentração de cianotoxinas extracelulares, o presente trabalho faz uma revisão de estudos utilizando o carvão ativado granular e em pó, na remoção destas cianotoxinas presentes em águas destinadas a abastecimento público do estado da Paraíba.

Palavras-chave: Carvão Ativado; Cianotoxinas; Tratamento de água.

INTRODUÇÃO

O aumento do lançamento de nitrogênio e fósforo provenientes de diversas atividades antrópicas nas bacias hidrográficas, tem modificado as características dos corpos d'água. Uma consequência do aporte maior desses nutrientes no corpo d'água é o crescimento acelerado de microrganismos produtores, predominantemente as cianobactérias por sua capacidade de assimilação desses nutrientes. A alteração que ocorre nesse ambiente enriquecido é parte do processo de eutrofização que interfere na qualidade de possíveis mananciais e caracteriza-se por elevada densidade de algas e cianobactérias (10^6 - 10^8 cel/mL) que se tornam organismos dominantes.

Os primeiros registros de florações de cianobactérias na Paraíba foram reportados no parque Solón de Lucena, uma lagoa artificial, localizada na área urbana de João Pessoa, a capital paraibana. Em mananciais destinados ao abastecimento público, os primeiros registros de cianobactérias ocorreram no reservatório Argemiro Figueiredo (Acauã), no Médio Rio Paraíba, que apresentou florações de *Microcystis aeruginosa* e *Cylindrospermopsis raciborskii* (MENDES & BARBOSA, 2004).

A presença desses microrganismos em tais condições dificulta e aumenta o custo do tratamento da água para o consumo humano, pois, comumente, produzem substâncias que conferem sabor e odor à água. Ademais, cianobactérias dos gêneros *Microcystis*, *Anabaena*, e *Cylindrospermopsis* podem se tornar produtoras de toxinas de acordo com indeterminadas alterações ambientais capazes de causar prejuízos à saúde humana dependendo da dosagem do tempo de exposição (AZEVEDO et al., 2002). O efeito bioacumulativo das cianotoxinas pode ser, também, um fator responsável pela intoxicação de algumas populações humanas consumidoras de animais que entram em contato com água contaminada (FIGUEREDO et al., 2004).

O conhecimento desse problema tem conduzido à necessidade de otimização das técnicas de tratamento que favoreçam uma elevada remoção de cianobactérias e cianotoxinas na água. A adsorção em carvão ativado tem sido usada como uma etapa complementar ao tratamento de água convencional, com o intuito de remover substâncias causadoras de cor, odor e gosto, como 2-metil-isoborneol (2-MIB), geosmina, agrotóxicos e cianotoxinas, como também pode ser usado no tratamento de efluentes industriais (DI BERNARDO e DANTAS, 2005; DRIKAS et al., 2009).

O processo de ativação do carvão pode ser químico ou físico com o objetivo de formar os poros e aumentar a superfície de contato do carvão, podendo ou não fornecer uma superfície redutora ou oxidante. Isso confere alto poder de adsorção de compostos orgânicos e é utilizado para remoção de impurezas presentes tanto na fase líquida quanto gasosa. A eficiência na remoção de determinada substância alvo por adsorção em carvão ativado depende de alguns fatores. Dentre eles destacam-se a matéria-prima do carvão, o modo de ativação, as características do composto a ser adsorvido e as variáveis físico-químicas do meio. O tamanho da partícula aderente aos poros em que quanto maior a compatibilidade entre partículas e poros, mais eficiente será o processo de remoção, a quantidade de poros equivalentes, granulometria dos grãos do carvão são outros fatores que influenciam na adsorção. O carvão ativado encontra-se com duas representações no mercado: o carvão ativado em pó (CAP) e granular (CAG). O tratamento avançado com o uso do carvão ativado, apresentado tanto em forma granular ou em pó, revela-se eficiente na remoção de diversos micropoluentes presentes no meio líquido.

OBJETIVO

Visando o cumprimento da portaria de potabilidade vigente, quanto à concentração de cianotoxinas extracelulares, o presente trabalho faz uma revisão de estudos utilizando o carvão ativado granular e em pó, na remoção de cianotoxinas presentes em águas destinadas a

abastecimento público, considerando a possibilidade de sua aplicação em escala real nas ETAs do Estado, pela sua efetividade e baixo custo.

ADSORÇÃO EM CARVÃO ATIVADO (CA)

O primeiro registro do uso de Carvão Ativado para fins de tratabilidade da água foi por volta de 1910 na Inglaterra, com a instalação de um filtro de Carvão Ativado a base de lignita visando remoção de subprodutos do cloro na água. Por volta do ano de 1960, países como Alemanha, Holanda, Dinamarca, Inglaterra e Estados Unidos utilizaram a filtração em Carvão Ativado em suas instalações de tratamento de água (MASSCHELEIN, 1992).

A adsorção em Carvão Ativado tem sido usada como uma etapa complementar ao tratamento de água convencional, com o intuito de remover substâncias causadoras de cor, odor e gosto, como 2-metil-isoborneol (2-MIB), agrotóxicos e cianotoxinas, como também pode ser usado no tratamento de efluentes industriais (DI BERNARDO e DANTAS, 2005; DRIKAS et al., 2009).

Produzido a partir de diferentes matérias-primas, utilizando-se madeira, osso, casca de coco, antracito e carvão betuminoso e subbetuminoso. Durante a preparação do Carvão Ativado, podem-se considerar duas etapas principais, sendo a primeira denominada de carbonização e realiza-se abaixo de 800 C. Nesta etapa muitos elementos como nitrogênio, oxigênio e hidrogênio são eliminados e saem como compostos denominados “voláteis” pela decomposição por pirólise do material. Os elementos que permanecem são arranjados em pilhas planas, em lâminas aromáticas agrupadas aleatoriamente, deixando entre si interstícios que formam os poros. Na etapa de ativação, geralmente se utilizam temperaturas de 800 a 900 C em atmosfera de ar, CO₂ ou vapor, ocorre a oxidação de algumas áreas em relação a outras e a estrutura porosa aleatoriamente desenvolvida na carbonização é ampliada. Isto acaba gerando poros de variados tamanhos e formas, aumentando a área superficial (BANSAL e GOYAL, 2005).

O Carvão Ativado é caracterizado por possuir área superficial interna e porosidade altamente desenvolvida, permitindo a adsorção de moléculas em fase líquida e gasosa, tendo como importância principal, para o processo de adsorção, o desenvolvimento de micro e mesoporos (KAWAHIGASHI, 2012). Os tamanhos do diâmetro dos poros são classificados, conforme a IUPAC (1985), (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação dos poros conforme seu tamanho.

Tipo de poros	Diâmetro (nm)
Microporo secundários	0,8 – 2
Mesoporo	2-50
Macroporo	> 50

Fonte: Newcombe, 2006.

Os parâmetros mais importantes para avaliar a capacidade adsorviva de um determinado tipo de carvão são:

- Número de iodo: grandeza que expressa a quantidade de iodo adsorvida pelo carvão sob condições específicas. Relaciona-se com a adsorção de pequena massa molecular, e expresso em mg de iodo por grama de carvão ativado;
- Índice de azul de metileno: parâmetro que fornece a mesoporosidade do carvão, expresso em mg de azul de metileno por grama de carvão ativado;

• Distribuição de tamanho e área superficial dos poros: grandezas representadas pela superfície específica geralmente expressa em m^2/g (área dos poros por grama de carvão), usualmente determinada pela medida da isoterma de adsorção de moléculas de nitrogênio. (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Podendo ser preparado e utilizado de duas formas: em pó ou granular. Sendo considerado carvão ativado em pó (CAP) aquele que possui tamanho de partículas de no máximo $100\mu m$, sendo que a maioria desse tipo de carvão no mercado passa por peneira de $44\mu m$ de abertura. BANSAL E GOYAL (2005), consideram carvão ativado pulverizado com granulometria aproximada de $44\mu m$, confirmando o produzido pelas empresas. É muito disseminado nas estações de tratamento de água por ter baixo valor de mercado se comparado ao granular e por ser versátil na aplicação.

Todavia, para utilização de CAG nas ETAs, são utilizadas colunas de carvão ativado granular instaladas, preferencialmente, após a etapa de filtração. Esse tratamento tem a desvantagem de necessitar de um leito fixo, contribuindo para uma menor flexibilidade de operação, apesar de possuir a versatilidade de operação (podendo desvinculá-la do tratamento de acordo com a necessidade de uso). Porém, a propriedade de reativação do CAG e não formação de lodo são vantagens que ampliam seu potencial uso em escala real. Apesar de possuir maior custo por peso (R\$10,90/kg em 2013), o custo benefício da aplicação do CAG pode ser mais favorável pelo tempo de duração do carvão. Ademais, o carvão ativado granular como meio suporte dos filtros pode servir como superfície de fixação para aderência de bactérias que irão degradar parte da matéria orgânica e remover compostos inorgânicos que permanecerem na água (MALHAUTIER et al., 1997).

De modo geral, o CAG é mais efetivo que o CAP, contudo esse é mais versátil e o custo por unidade de massa é menor, sendo, portanto, mais utilizado nas estações. Consequentemente, encontram-se muitos trabalhos desenvolvidos com carvão ativado em pó e em escalas cada vez menores aumentando a interferência na aplicação em escala real (LIMA, 2013).

A eficiência do carvão ativado na remoção depende de características do adsorvente e do adsorvato, além da presença de substâncias potencialmente removidas em concomitância, como matéria orgânica ou outros poluentes. Por isso, quanto mais clarificada estiver a água que se deseja remover determinado poluente dissolvido, melhores resultados poderão ser atingidos. Outros fatores que interferem no potencial de remoção pelo carvão ativado são a concentração dos compostos dissolvidos, condição de pH, temperatura e força iônica do meio.

Dentre os fatores que afetam a adsorção, levando-se em consideração o adsorvato, incluem concentração, massa molecular, tamanho molecular, estrutura molecular, polaridade molecular, forma ou configuração espacial, natureza e competitividade dos adsorvatos. Para o adsorvente o fator mais importante e determinante da capacidade no equilíbrio e da velocidade de se chegar a esta capacidade, inclui área superficial, natureza físico-química da superfície, disponibilidade da superfície para as moléculas ou íons do adsorvato, tamanho e forma das partículas do adsorvente. Os parâmetros do sistema, como temperatura, pH, também afetam a adsorção uma vez que eles afetam a carga de um ou mais parâmetros mencionados (SLEJKO, 1985).

ADSORÇÃO DE CARVÃO ATIVADO NA REMOÇÃO DE CIANOTOXINAS EM ÁGUA DE ABASTECIMENTO

No Estado da Paraíba, os principais sistemas de abastecimento de água para consumo humano são as represas ou açudes. De cerca de nove mil açudes registrados no Estado, apenas 121 são monitorados pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado (AES/A). Os 20 reservatórios com capacidade superior a 30 milhões de m^3 representam cerca de 80% da capacidade de armazenamento das águas superficiais no Estado (SILVA, 2015). Estudos

realizados por MACEDO (2009) nos 20 principais açudes do Estado no âmbito do Programa de Longa Duração (PELD Caatinga) demonstraram a ocorrência de cianobactérias potencialmente toxigênicas em 18 deles, com predomínio de *Plankthotrix agardhii*, *Microcystis aeruginosa* e *Cylindrospermopsis raciborskii* e em 16, especialmente no período seco. Em 13 açudes foi detectada a presença de microcistina, em concentrações inferiores a $0,5 \mu\text{g.L}^{-1}$ em 2 deles e em 11 os valores foram superiores a $1,0 \mu\text{g.L}^{-1}$. Com a grande seca iniciada em 2012, as florações por cianobactérias se generalizaram nos açudes da região nordeste, e conseqüentemente em todo o semiárido paraibano.

Há evidências que as tecnologias de tratamento usuais, envolvendo a coagulação química, floculação, sedimentação ou flotação, e filtração, não apresentam eficiência significativa na remoção de cianotoxinas dissolvidas na água. Tal fato, provavelmente, ocorra porque os coagulantes usualmente empregados são ineficazes na desestabilização e precipitação desses compostos, não sendo possível a separação das cianotoxinas nas etapas seguintes da potabilização.

Entretanto, diversos trabalhos relatam que a adsorção por Carvão Ativado sozinho ou combinado com o tratamento convencional é considerada efetiva na remoção de cianotoxinas. Estudos que revelam a eficiência de remoção com o uso do carvão ativado tanto pulverizado quanto granular têm sido desenvolvidos por pesquisadores de várias localidades (SATHISHKUMAR et al., 2010; VERONEZI et al. 2009; JURCZAK et al., 2005).

FERNANDES et al. (2009), estudaram a capacidade de um carvão ativado pulverizado em adsorver microcistinas. Foi observado 80% de remoção, em concentração de microcistina-LR inferior a $3 \mu\text{g/L}$, quando a dosagem de CAP aplicada foi de 20 mg/L , enquanto que para alcançar a remoção de 90% da toxicidade foi necessário aumentar a massa de CAP para 40 mg/L . Assim, os autores concluíram que esse tipo de carvão pode não ter sido o mais adequado para a remoção da microcistina-LR.

Por conseguinte, OLIVEIRA (2012) realizou ensaios em escala de bancada, de avaliação da eficiência de remoção de células inteiras de *Microcystis aeruginosa* e de uma de suas toxinas, por coagulação, floculação, sedimentação e filtração seguida de coluna de carvão ativado granular. O autor observou eficiência de até 90% de remoção de células para dosagem superior a 45 mg.L^{-1} de sulfato de alumínio e pH de coagulação de 5,5 na água decantada (para dosagens de 40 e 60 mg.L^{-1} do coagulante e pH de 7,5 o percentual de remoção de células foi de 35%). Na água filtrada e na água efluente a coluna de carvão ativado granular, a concentração média de células de *M. aeruginosa* foi de 3,8 e $3,6 \text{ cel.mL}^{-1}$ respectivamente. A concentração média de MC-LR extracelular na água efluente da Coluna de Carvão Ativado Granular (CCAG) foi de $0,15 \mu\text{g.L}^{-1}$ abaixo do limite de detecção do método ($0,16 \mu\text{g.L}^{-1}$) e após 60 horas variou de 0,18 a $0,28 \mu\text{g.L}^{-1}$ valores abaixo do valor máximo permitido pela portaria 2914/11 do Ministério da Saúde de $1 \mu\text{g.L}^{-1}$ de microcistinas na água de beber.

Avaliando a remoção de microcistina-LR de água para abastecimento, utilizando carvão ativado granular de casca de coco de dendê, VILLAR (2012) realizou-se um planejamento fatorial 2^3 , no qual foram estudados os seguintes fatores e níveis: concentração inicial de microcistina-LR ($14,56$ e $29,26 \mu\text{g.L}^{-1}$), pH (6,4 e 8,3) e tempo de contato (60 e 90 s). Cada tratamento consistiu na operação de três colunas, sendo que os tratamentos com tempo de contato de 60 s foram compostos por colunas de 20 gramas de carvão ativado granular, enquanto os experimentos que foram realizados com tempo de contato de 90 s, eram compostos por colunas com 30 gramas do carvão. Cada coluna foi monitorada durante 15 horas e as amostras eram coletadas a cada hora. A capacidade adsorptiva e a taxa de uso nessas condições foi de $21,2 \mu\text{g.g}^{-1}$ e $1,33 \text{ g.L}^{-1}$ respectivamente. O tempo de contato foi o fator que mais influenciou no processo de adsorção de microcistina-LR, este comportamento foi

observado a partir de 6 horas de monitoramento e se manteve até o final do monitoramento. O pH foi o fator que menos exerceu influência significativa na adsorção de microcistina-LR.

GUIMARÃES (2012), avaliou a remoção de saxitoxina de água de abastecimento em três etapas sequenciais, utilizando tratamento convencional seguido de adsorção por colunas (CC1 e CC2) de carvão ativado granular (CAG). Os resultados dos ensaios de coagulação mostraram boa eficiência de remoção (> 50 %) para água de estudo (AE) com pH natural da água (7,6), para uma dosagem de sulfato de alumínio de 25mg/L, tanto em termos de turbidez quanto de cor verdadeira remanescentes. Para os ensaios com polímeros sintéticos, o polímero catiônico, em geral, se destacou em relação ao polímero aniônico com percentuais médios de remoção de 57% para remoção de cor verdadeira. Quando avaliada a representabilidade dos dados, observou-se que as eficiências de remoções não se repetiram. Na terceira etapa, houve baixa remoção saxitoxina por parte tratamento convencional (7%), a remoção se processou nas colunas de adsorção. A CC1 e a CC2 obtiveram remoções entre 100 e 70%, entretanto, para percentuais máximos de remoção a CC2 removeu maior quantidade de saxitoxina por unidade de tempo em relação a CC1, praticamente seis horas de diferença.

As normas brasileiras que fundamentam o dimensionamento e manutenção de colunas de filtração por carvão ativado granular, bem como as características do meio filtrante, são importantes para difundir o uso dessa tecnologia para o tratamento avançado de água nas estações de tratamento no país. O desenvolvimento dessas normas, são cada vez mais requisitadas devido ao aumento crescente da poluição associado à diminuição de volume de água dos reservatórios e consequente floração de cianobactérias. Logo, SILVA (2014) objetivou avaliar a hierarquização da remoção de microcistina-LR e saxitoxina STX por meio da adsorção em CAG de natureza e granulometrias distintas. Foram utilizadas colunas de filtração com dois carvões de casca de coco de dendê com granulometrias 8x30mesh (FDG) e 12x40mesh (FDF) e um carvão mineral com granulometria 12x25mesh (FCM). Analisada a remoção de microcistina-LR pelos três tipos de carvão ativado foi observado que, no ensaio com água destilada, o filtro de carvão ativado de casca de coco de dendê de menor granulometria 12x40mesh (0,42-1,40mm) foi mais eficiente. Comparando os filtros de CAG de maior granulometria nas duas águas de estudo, observou-se que, de forma geral, o filtro de carvão ativado mineral 12x25mesh (1,30-1,60mm) teve melhor desempenho que o filtro de carvão ativado de casca de coco de dendê 8x30mesh (0,60-2,36mm) por ter permanecido com concentrações abaixo da máxima permitida pela Portaria 2914/2011 por maior tempo.

GUERRA *et al.*, (2015) avaliaram em escala de bancada a remoção de microcistina-LR em colunas de CAG de casca de coco de dendê de diferentes granulometrias (0,42 - 1,40 e 0,60 - 2,36 mm) usando água bruta de manancial coletada na entrada da ETA e adicionada de cianotoxina obtida por lise celular de cultura toxigênicas. A água de estudo foi previamente tratada por sistema convencional simulando um sistema convencional utilizando o Jar Test; o efluente final decantado foi aduzido aos filtros de areia cujo efluente foi distribuído nas duas colunas de carvão ativado granular. Todas as etapas do tratamento convencional foram pouco eficientes na remoção da microcistina-LR, já o CAG removeu entre 80 a 100%, com a maior eficiência daquele com menor granulometria, conseguindo remover a toxina até níveis inferior ao estabelecido pela Portaria 2914/2011 –MS.

LIMA (2015), verificou o valor de pH_{pcz} do Carvão Ativado Granular de casca de coco de dendê, e determinou os melhores tempos de contato em que ocorrem as maiores taxas de adsorção para remoção microcistina-LR. Comprovou que a adsorção foi eficiente para a remoção de MC-LR com eficiências médias acima de 90%. O Carvão Ativado Granular utilizado apresentou valor de pH_{pcz} favorável à adsorção de MC-LR nas condições dos experimentos. Os resultados obtidos dos testes com diferentes pHs confirmaram que a adsorção de MC-LR foi mais eficiente em pH ácido e próximo a 5,0.

Dessa maneira, para analisar a adsorção da microcistina-LR por carvão ativado é importante levar em consideração que se trata de uma molécula de alta massa molar, agregada de aminoácidos complexos com características hidrofóbicas e propriedades em solução aquosa, conseqüentemente, a correta seleção do carvão ativado para remoção dessa toxina da água, antes de se adotar qualquer medida de adsorção, se requer de uma avaliação dessas duas propriedades combinadas ao conhecimento detalhado das propriedades físicas do adsorvente e da sua superfície química (PENDLETON *et al.*, 2001; HUANG *et al.*, 2007).

CONCLUSÃO

Como resposta às exigências ambientais impostas pelo nível da qualidade da água, torna-se necessário buscar os desenvolvimentos de novas tecnologias capazes de eliminar a presença de cianotoxinas em águas potáveis. O tratamento de água do tipo convencional, compreendendo coagulação, floculação, sedimentação, filtração e cloração, embora seja o mais difundido no País, apresenta limitações em relação à remoção de algas e cianobactérias. Mesmo diante dos diversos problemas operacionais, se otimizado, o tratamento convencional poderá ser eficiente na remoção de células de cianobactérias, sendo, entretanto, ineficiente na remoção de metabólitos secundários dissolvidos liberados durante a lise celular, tais como as cianotoxinas.

Dos processos comumente inseridos na tecnologia convencional de tratamento de água, com alta eficiência na destruição de cianotoxinas, a adsorção em carvão ativado em pó (CAP) ou granular (CAG) têm apresentado resultados significativos. Estudos relatam a possibilidade de sua aplicação em escala real nas ETAs do Estado paraibano, por serem métodos economicamente viáveis, econômicos e como alternativas sustentáveis no tratamento de água.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, S. M. F. O.; CARMICHAEL, W. W.; JOCHIMSEN, E. M.; RINEHART, K. L.; LAU, S.; SHAW, G. R.; EAGLESHAM, G. K. Human intoxication by microcystins during renal dialysis treatment in Caruaru – Brasil. **Toxicology**. 181-182, p 441-446, 2002.

BANSAL, R. C.; GOYAL, M. **Activated carbon adsorption**. United States of American, Taylor and Francis Group. 2005.

DI BERNARDO, L; DANTAS, A. D. B. Métodos e técnicas de tratamento de água. 2 ed. São Carlos: Rima, 2005.1565p.

DRIKAS, M., DIXON, M.; MORRAM, J. Removal of MIB and gosmin using granular activated carbon with and without MIEX pre-treatment. **Water Research**. v. 43, p. 5151-5159, 2009.

FERNANDES, A. N., JUNIOR, E. P., FERREIRA FILHO, S. S. “**Remoção de microcistina-LR no tratamento de águas de abastecimento por processos de oxidação química e adsorção**”. 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, 2009.

FIGUEREDO, D. R.; AZEITEIRO, U. M.; ESTEVES, S. M.; GONÇALVEZ, S. J. M.; PEREIRA, M.J. Microcystins-producing blooms – a serious global public health issue. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. 59, p 151-163, 2004.

GUERRA, A. B.; TONUCCI, M. C.; CEBALLOS, B. S. O.; GUIMARÃES, H. R.C.; LOPES, W. S.; AQUINO, S. F. ; LIBÂNIO, M. Remoção de microcistina-LR de águas eutrofizadas

por clarificação e filtração seguidas de adsorção em carvão ativado granular. **Engenharia Sanitária e Ambiental (Online)**. V. 20, p. 603-612, 2015.

GUIMARÃES, H. R. C. Avaliação da remoção de saxitoxina no tratamento de água de abastecimento em sistema convencional seguido de adsorção em carvão ativado granular (CAG). **Dissertação de Mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande/PB, p.77. 2012.

HUANG, W.J; CHENG, B.L.; CHENG, Y.L. Adsorption of microcystin-LR by three types of activated carbon. **Journal of Hazardous Materials**. n.141, p. 115–122, 2007.

JURCZAK, T.; TARCZYNSKA, M.; IZYDORCZYK, K.; MANKIEWICZ, J.; ZALEWSKI, M.; MERILUOTO, J. Elimination of microcystins by water treatment processes – examples from Sulejow Reservoir, Poland. **Water Research**. 39, p 2394-2406, 2005.

KAWAHIGASHI, F. **Aplicabilidade do pós-tratamento de lixiviados de aterro sanitário por adsorção em carvão ativado granular e avaliação ecotoxicológica**. 2012. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

LIMA, D. R. S., **Remoção de fármacos e desreguladores endócrinos de águas naturais por clarificação associada à adsorção em carvão ativado em pó**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental da UFOP, Ouro Preto, MG, 126p., 2013.

LIMA, N.N.C. Remoção de microcistina-LR através de adsorção com de carvão ativado. **Dissertação de mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande/PB, p.86. 2015.

MACEDO, D.R.G. Microcistina na água e biomagnificação em peixes de reservatórios de abastecimento público do Estado da Paraíba. **Dissertação de mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba- João Pessoa – PB,p.92. 2009.

MALHAUTIER, L., J. R., DEGORCE-DUNAS, V. DEGRANCE, R. BARDIN, F. LE CLOIREC. Serological determination of Nitrobacter species in a deodorizing granular activated carbon filter. **Environmental Technology**. V.18, pp 275-283, 1997.

MENDES, J.S.; BARBOSA, J.E.L.O índice de estado trófico como ferramenta no monitoramento da qualidade de água da barragem de acauã: sistema recém construído sobre o rio Paraíba – PB. In: XI Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2004, Natal, Sociedade de Engenharia Sanitária, p. 54-64, 2004.

MASSCHELEIN, W. J. **“Adsorption.” In: Unit Processes in Drinking Water Treatment**, Marcel Dekker, Inc., Nova York, EUA. 321-363, 1992.

OLIVEIRA, S. N. Remoção de *Microcystis aeruginosa* e microcistina-lr por coagulação, floculação, sedimentação e filtração seguida de coluna de carvão ativado granular. **Dissertação de mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande/PB, p.82. 2012.

PENDLETON, P.; SCHUMANN, R.; WONG, S.H. Microcystin-LR adsorption by activated carbon. **Journal of Colloid and Interface Science**, n. 240, n. 1, p.1-8, 2001

SATHISHKUMAR, M.; PAVAGADHI, S.; VIJAYARAGHAVAN, K.; BALASUBRAMANIAN, S. L. Experimental studies on removal of microcystin-LR by peat. **Journal of Hazardous Materials**. n.184, p. 417–424, 2010.

SILVA, A. G. Avaliação do pH de oxidação do processo fenton na remoção de microcistina-LR de água de abastecimento. **Dissertação de mestrado**. Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Campina Grande. 2015.105p.

SILVA, N.M.C. Avaliação da hierarquização na remoção de cianotoxinas por meio da adsorção em carvão ativado granular. **Dissertação de mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande/PB, p.80. 2014.

SLEJKO, F.L. Adsorption technology: a step-by-step approach to process evaluation and application. New York: **Marcel Dekker Inc.**, 223 p., 1985.

VERONEZI, M. V.; GIANI, A.; MELO, C. S.; GOMES, L. L.; LIBÂNIO, M. Avaliação da remoção de saxitoxinas por meio de técnicas de tratamento das águas de abastecimento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. V.14, N.2, p 193-204, 2009.

VILLAR, S.B.B.L. Avaliação da remoção de microcistina-LR por adsorção em carvão ativado granular. **Dissertação de mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande/PB, p.58. 2012.