

I-402 – ESTIMATIVA DO AUMENTO DO CUSTO DA POTABILIZAÇÃO PELO EMPREGO DE CARVÃO ATIVADO NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DO ESTADO DA PARAÍBA

Alaine Guerra

Bióloga (UEPB) e mestranda em Ciência e Tecnologia Ambiental - Universidade Estadual da Paraíba/UEPB (Campina Grande)

Patrícia Cruz

Bióloga e mestra em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba/UEPB (Campina Grande)

Silvania Nóbrega

Bióloga (UEPB) e mestranda em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba/UEPB (Campina Grande)

Beatriz S. O. de Ceballos

Bioquímica (Universidade Nacional de Tucumán/UNT – Argentina), Mestre em Microbiologia pela Universidade Federal de São Paulo/UFSP, Doutora em Microbiologia Ambiental pela Universidade de São Paulo/USP e Professora Titular da Universidade Estadual da Paraíba/UEPB.

Marcelo Libânio⁽¹⁾

Engenheiro Civil e Mestre em Engenharia Sanitária (UFMG), Doutor em Hidráulica e Saneamento (USP), Pós-doutorado pela Universidade de Alberta (Canadá), pesquisador do CNPq e da Fapemig, e Professor Associado do Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da UFMG.

Endereço⁽¹⁾: Av. Antônio Carlos, 6627 – Bloco I – Escola de Engenharia – Campus da UFMG - Belo Horizonte - MG – 30.110-060 - Brasil - Telefone: (31) 3409.1004 - E-mail: mllibanio@ehr.ufmg.br

RESUMO

O trabalho visa a evidenciar a perspectiva de inserção do emprego do carvão ativado pulverizado nas estações de tratamento de água da Paraíba. Tal perspectiva fundamenta-se na quase unânime utilização de reservatórios de acumulação como mananciais de abastecimento e nas frequentes florações de algas e cianobactérias em tais corpos d'água. Em cenário menos favorável no qual tais florações se tornem perenes e considerando-se apenas os custos do carvão ativado, estima-se que algo como 1,5% da arrecadação da prestadora do serviço de abastecimento de água do Estado seja direcionado à adsorção de cianotoxinas e outros produtos do metabolismo algal passíveis de conferir sabor e odor à água distribuída.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de água, cianobactérias, cianotoxinas, adsorção por carvão ativado.

INTRODUÇÃO

A Paraíba apresenta área da ordem 56,4 mil km², população estimada em 2010 em torno de 3,8 milhões de habitantes, sendo 75 % residentes na zona urbana dos 223 municípios do Estado. O abastecimento de água para consumo humano dá-se quase que exclusivamente por meio de reservatórios de acumulação – que na Região Nordeste recebe a denominação de *açudes*.

De acordo com estimativa da Agência Nacional de Águas (ANA) referente a 2000, Paraíba e Pernambuco constituem-se os dois estados que vivenciam a maior escassez hídrica no País, com disponibilidade superficial inferior a 1.500 m³/hab.ano, justificando o conceito de *situação crítica* em uma escala de seis níveis. Tal disponibilidade hídrica superficial dos estados brasileiros apresenta situações de *abundância* (>20.000 m³/hab.ano), *muito rico* (>10.000 m³/hab.ano), *rico* (>5.000 m³/hab.ano), *correta* (>2500 m³/hab.ano), *pobre* (<2500 m³/hab.ano) e *crítica* (>1500 m³/hab.ano). Adicionalmente, o Estado apresenta significativa variabilidade na precipitação pluviométrica, testificada por médias anuais da ordem de 1200 a 1400 mm na região do litoral, de 400 a 800 mm no agreste, de 200 a 400 mm na região central e 400 a 600 mm no oeste na fronteira com Ceará (SILVA, 1987).

As chuvas se concentram em poucos meses do ano, no máximo seis e em geral quatro, e apresentam veranicos intercalados, gerando ambiente de escassez hídrica nos meses sem chuva. As altas temperaturas provocam intensa evapotranspiração, resultando balanço hídrico negativo e a água acumulada se reduz significativamente, atingindo por vezes menos de 50% da capacidade máxima do açude. Esta escassez hídrica agrava-se pelas elevadas temperaturas médias anuais (da ordem de 26 °C) caracterizando o clima como tropical úmido na região litorânea e ocidental, e seco tipo de estepe (caatinga) no restante do Estado. Como consequência, aproximadamente 9.985 reservatórios de acumulação, 192 com volumes médios superiores a 300 mil m³, distribuem-se pelo Estado prestando-se também à irrigação, à pecuária e à piscicultura.

No que tange especificamente ao abastecimento de água, de acordo com a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (IBGE, 2009) estima-se que 77 % da população do Estado tenham acesso a redes de distribuição de água. Neste contexto, a Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (Cagepa) responde pelo abastecimento de 191 dos 223 municípios, perfazendo mais de 2,4 milhões de pessoas e disponibilizando vazão média superior a 5,4 m³/s.

Deste total, ainda segundo o IBGE, estima-se que 144 municípios sejam abastecidos por estações convencionais, dotadas de unidades de mistura rápida, floculação, decantação, filtração e desinfecção. O tratamento das águas efetua-se por meio de um conjunto de 102 estações, das quais 63 utilizam tecnologia convencional de potabilização e as demais filtração direta de escoamento ascendente. Desta forma, estima-se que de mais de 80 % (algo com 4,5 m³/s) da vazão distribuída à população do estado afluem às estações convencionais e descortina-se futura utilização do carvão ativado, em pó ou granular, visando a adsorver as toxinas (cianotoxinas) e outros produtos do metabolismo algal e das cianobactérias. Na Tabela 1 apresenta-se a relação dos 20 maiores reservatórios de acumulação do Estado utilizados para abastecimento. Deste conjunto de reservatórios, verificaram-se eventos de floração de algas e cianobactérias em 15 unidades durante o período de 2007 a 2008, compreendendo as estações chuvosa e de estiagem.

TABELA 1: Relação dos 20 principais açudes da Paraíba utilizados como mananciais de abastecimento (AES, 2011; MACEDO, 2009; IBGE, 2010).

Municípios	Reservatório	Capacidade (mil m ³)	População Urbana	População Rural
Coremas	Coremas / mãe d'água ^{(a) (d)}	1.358.000	11.419	3.730
Boqueirão	Epitácio Pessoa	411.686	12.008	4.881
Cajazeiras	Eng. Ávidos ^{(a) (d)}	255.000	47.489	10.948
Itatuba	Acauã ^{(a) (b) (d)}	253.142	5.955	4.246
Nova Olinda	Saco ^{(a) (c)}	97.488	3.227	2.843
Cajazeiras	Lagoa do arroz ^(a)	80.220	47.489	10.948
Catingueira	Cachoeira dos cegos ^{(a) (d)}	71.887	2.884	1.928
Olho D'água	Jenipapeiro ^{(a) (d)}	70.757	3.868	3.063
Congo	Cordeiro ^{(a) (b) (d)}	69.965	2.944	1.748
Araçagi	Araçagi ^{(a) (d)}	63.289	6.804	10.420
Conde	Gramame/Mamuaba	56.937	11.146	6.855
Santa Terezinha	Capoeira ^{(a) (c)}	53.450	2.208	2.373
Camalaú	Camalaú ^{(a) (d)}	48.107	2.887	2.862
Sumé	Sumé ^(a)	44.864	12.240	3.832
Sousa	São Gonçalo ^(a)	44.600	51.885	13.922
São José do Brejo da Cruz	Baião ^(a)	39.226	958	726
Curral Velho	Bruscas ^(a)	38.206	1.410	1.095
Condado	Eng. Arcoverde ^{(a) (b)}	36.834	4.564	2.023
Conceição	Condado ^{(a) (b) (d)}	35.016	11.436	6.930
Jerico	Carneiro ^{(a) (d)}	31.285	4.729	2.809

^(a) Reservatório com presença de cianobactérias potencialmente toxigênica;

^(b) Reservatórios com florações de cianobactérias (clorofila *a* > 20µg/l);

^(c) Reservatório com concentrações de microcistinas < 0,5µg/L;

^(d) Reservatório com concentrações de microcistinas > 1,0µg/L.

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho consiste em estimar o aumento do custo da potabilização decorrente da perspectiva de aplicação do carvão ativado em pó e granular, visando à remoção de cianotoxinas e de subprodutos do metabolismo algal passíveis de conferir sabor e odor às águas de consumo.

FLORAÇÕES DE ALGAS E CIANOACTÉRIAS E OS DESAFIOS PARA POTABILIZAÇÃO DAS ÁGUAS

As algas e as cianobactérias exibem nítida ubiquidade nas águas superficiais, fazendo-se presentes em lagos, reservatórios de acumulação e cursos d'água, respondendo por meio da fotossíntese por parcela significativa da concentração de oxigênio dissolvido do meio aquático. Os últimos, pela própria aeração natural e pelo material em suspensão, salvo em situações muito específicas, acabam apresentando concentrações (ou densidades) de algas e cianobactérias menos pronunciadas.

A interferência da presença de algas e cianobactérias manifesta-se no próprio corpo d'água, nas dificuldades operacionais inerentes à potabilização e à manutenção da qualidade no sistema de abastecimento como um todo, e nos riscos à população abastecida, conforme mostrado na Tabela 2.

TABELA 2: Principais efeitos da eutrofização dos corpos d'água (Adaptada de Walker, 1983).

Manancial	Sistema de Abastecimento	População Abastecida
Aumento da concentração de compostos orgânicos dissolvidos e particulados (fitoplâncton, bactérias, fungos e detritos)	Formação de flocos de menor sedimentabilidade, maior dispêndio de coagulantes e dificuldade de definição do pH de coagulação	Reclamações decorrentes de eventos de sabor e odor na água tratada
Aumento da amplitude de variação do pH	Redução das carreiras de filtração ¹	Maiores riscos à saúde pela possível presença de cianotoxinas e de microrganismos patogênicos
Depleção do oxigênio dissolvido na interface água/sedimento (favorecendo a mineralização anaeróbia/anóxica da matéria orgânica e consequente liberação de H ₂ S, CH ₄ , NH ₄ ⁺ , CO ₂ , e formas solúveis de P, Fe e Mn)	Aumento da demanda de cloro, e perspectiva de formação de subprodutos da desinfecção. Perspectiva de crescimento microbiano e de formação de biofilmes, aumento da deposição de ferro e manganês na rede de distribuição.	Perspectiva de elevação nas tarifas resultante da inserção de novas etapas no tratamento e de substituição de trechos da rede de distribuição motivada pela deposição de ferro e manganês

Estima-se que dos aproximadamente 150 gêneros de cianobactérias descritos, 40 sejam capazes de produzir cianotoxinas passíveis de causar algum dano à saúde. As cianotoxinas apresentam toxicidade variável, podendo levar a morte por parada respiratória (neurotoxinas), logo após a exposição, ou produzir danos de efeitos mais prolongados (hepatotoxinas). Segundo o seu modo de ação as toxinas produzidas por cianobactérias podem ser divididas nos seguintes grupos: hepatotoxinas, neurotoxinas e dermatotoxinas. As cianotoxinas são comumente endotoxinas liberadas ao meio ambiente aquático após lise celular. Os efeitos tóxicos relacionados às toxinas produzidas e os gêneros de cianobactérias responsáveis pela sua produção estão apresentados na Tabela 3.

¹ Tempo decorrido, comumente em horas, entre duas lavagens consecutivas de uma unidade filtrante.

TABELA 3: Principais efeitos sobre a saúde e cianobactéria e cianotoxinas responsáveis (AWWA, 2003)

Cianotoxina	Gênero de cianobactéria responsável	Efeitos tóxicos
Microcistina	<i>Anabaena spp, Microcystis, Nostoc, Planktothrix, Hapalosiphon, Anabaenopsis</i>	Danos ao fígado e desenvolvimento de tumores.
Nodularina	<i>Nodularia</i>	Danos ao fígado
Cilindrospermopsina	<i>Cylindrospermopsis, Planktothrix, Aphanizomenon, Umezakia</i>	Danos aos rins, fígado e outros órgãos, e desenvolvimento de tumores.
Saxitoxina	<i>Anabaena, Aphanizomenon, Cylindrospermopsis, Lyngbya</i>	Danos ao sistema nervoso, falhas respiratórias e sintomas agudos*.
Anatoxina	<i>Anabaena, Aphanizomenon, Planktothrix</i>	Danos ao sistema nervoso, falhas respiratórias e sintomas agudos*.

*Os sintomas agudos manifestam-se por febre, distúrbios gastrointestinais, irritações na pele, garganta, olhos e nas vias respiratórias

Algumas dúvidas ainda persistem em relação à possível vantagem adaptativa na produção de cianotoxinas pelas cianobactérias. A hipótese mais aceita sustenta que estas substâncias tóxicas tenham função de defesa, como anti-herbívoros produzidos por algumas plantas, que inibem a ação de predadores ou de algas e cianobactérias competidoras. Em caso de acesso direto à corrente sanguínea a sua atuação é geralmente fatal, como demonstrou o conhecido caso dos pacientes de uma clínica de hemodiálise na cidade de Caruaru-PE em 1996, que receberam hepatoxinas por via intravenosa, considerado marco na comprovação dos danos à saúde humana por cianotoxinas.

O histórico de intoxicações por cianotoxinas, em particular as intoxicações em Caruaru, concorreram para a inserção das cianobactérias e das cianotoxinas, à época de forma inédita em relação aos padrões internacionais, no padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria 1469/2000 e mantidos na Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde (2004). Destaca-se a concentração máxima para microcistina - 1,0 µg/L, sendo aceitável 10 µg/L em até 3 amostras em período de 12 meses. Há também a recomendação da determinação de cilindrospermopsina e saxitoxina, com concentrações máximas de 15 µg/L e 3 µg/L de equivalentes saxitoxina/L (equivalentes STX/L), respectivamente. Por fim, a Portaria 518 enfatiza que o monitoramento de cianobactérias na água bruta deverá ser mensal quando o número de células for menor que 10.000 células/mL e semanal se superior. Caso a densidade de cianobactérias na água bruta exceder 20.000 células/mL, o monitoramento deverá se estender para o efluente da estação de tratamento, entrada de clínicas de hemodiálise e indústrias de injetáveis. Esta ampliação do monitoramento torna-se dispensável caso os bioensaios com camundongos atestem a ausência de toxicidade.

Embora ainda sejam casos raros no Brasil, sucessivas florações culminaram com mudanças da qualidade da água do manancial e, ainda menos frequentemente, com a alteração da tecnologia de tratamento (quando do uso da filtração direta) com o emprego da flotação por ar dissolvido, devido à mencionada baixa sedimentabilidade dos flocos formados.

A proliferação de algas e cianobactérias nos reservatórios de acumulação da Paraíba, e por extensão no semiárido nordestino, justificam-se pela conjunção de ampla gama de fatores. A forma dendrítica dos reservatórios, associada com pouca movimentação da água e o elevado tempo de detenção hidráulica – decorrente dos elevados volumes e baixas vazões afluentes dos cursos d'água – favorecem e a deposição de partículas e de nutrientes, permitindo maior penetração da luz solar nesses corpos hídricos. A transparência apresenta-se em média da ordem de 0,5 m, significando zona fótica de 1,5 m. A menor transparência se verifica no verão (ou estiagem) pela maior densidade do fitoplâncton. Outro fator a ser considerado é que os açudes em geral são rasos, a maioria com 15 a 20 m de profundidade máxima e extensa área de espelho de água. A tais fatores morfológicos somam-se algumas características das águas, tais como temperatura e pH elevados, e significativa concentração de nutrientes (fósforo e nitrogênio) decorrente das atividades antrópicas nas bacias de drenagem e da elevada evapotranspiração, em particular na estiagem (ou verão), quando também se verifica a maior biomassa fitoplanctônica.

Uma das alternativas de controle da floração de algas consiste na pré-cloração ou aplicação de algicidas, tais como compostos de cobre, sulfato de cobre em maior escala, e permanganato de potássio. Também são usados em menor frequência compostos de prata, sais orgânicos de zinco, ozônio, solventes aromáticos e peróxido de hidrogênio (água oxigenada). Nestas circunstâncias, o rompimento da parede celular das algas ou das cianobactérias pode causar a liberação das diversas cianotoxinas, deletérias à saúde humana e de outros animais. Adicionalmente, pode ocorrer o aproveitamento do material celular das algas mortas como substrato para outros microrganismos, também passíveis de conferir sabor e odor às águas. Entretanto, a legislação brasileira (Portaria 518/2004) proíbe o uso de algicidas em mananciais com densidades de cianobactérias superiores a 20.000 células/ml ou 2 mm³/ml de biovolume.

Quando da liberação das toxinas na massa líquida – ou de subprodutos do metabolismo algal capazes de fomentar sabor e odor –, as possibilidades de remediação convergem para o emprego de carvão ativado granular (CAG) ou em pó (CAP). As vantagens e limitações das distintas formas de carvão ativado listam-se na Tabela 4.

TABELA 4: Vantagens e limitações das distintas formas de carvão ativado no tratamento de água.

	Tipos de carvão ativado	
	Granular	Pulverizado
Vantagens	Fácil regeneração	Menor custo inicial comparado ao CAP
	Recomendável na presença contínua de microcontaminantes	Possibilidade de alteração da dosagem e emprego sazonal
Desvantagens	Maior custo comparado ao CAP	Impossibilidade de regeneração
		Eventual dificuldade de disposição do lodo
		Eventuais sobredosagens quando aplicado na captação ou na unidade de mistura rápida

Os filtros de carvão ativado praticamente não são empregados nas estações de tratamento de águas de consumo humano no País, a despeito da extensiva aplicação nas unidades domiciliares de potabilização. Desta forma, para adsorção de cianotoxinas e de outros microcontaminantes a opção comumente recai para o emprego do CAP. Neste viés, por praticidade operacional, nas estações dotadas de tecnologia convencional de potabilização a aplicação comumente efetua-se na unidade de mistura rápida e, mais raramente, na primeira câmara de floculação ou no efluente dos decantadores.

Em relação ao carvão ativado em pó (CAP), faz-se necessário identificar por meio de testes em unidades-piloto ou escala de bancada o tipo de carvão mais efetivo para adsorção das cianotoxinas presentes na água, assim como a dosagem apropriada. Esta dosagem pode ser significativamente superior às usualmente adotadas para remoção de sabor e odor, e deve ser determinada levando-se em conta a presença de outros compostos orgânicos.

Aliado ao tipo e à dosagem de CAP, o ponto de aplicação também adquire relevância no emprego desta técnica. A dispersão do CAP pode suceder na captação, na unidade de mistura rápida e no afluente aos filtros. Na primeira alternativa, obtém-se maior tempo de contato – proporcional ao comprimento da adutora de água bruta – e maior dispêndio do produto pela adsorção de outras substâncias removíveis por coagulação. A alternativa mais empregada da dispersão do CAP na mistura rápida facilita o controle e a perspectiva de automação, mas pode ter a adsorção reduzida pela interferência dos coagulantes. Por fim, a dispersão no afluente aos filtros pode acarretar traspasse dos grãos de CAP na água filtrada (VIANA-VERONESI *et al.*, 2009).

ESTIMATIVA DE CUSTO DEVIDO À FUTURA APLICAÇÃO DO CAP

Conforme mencionado, embora as dosagens adequadas de CAP vinculem-se às características da água e ao ponto de aplicação – usualmente na unidade de mistura rápida –, é possível estimar dosagem média da ordem de 10 mg/L a ser empregada nas estações convencionais de potabilização. Corroboram esta premissa as dosagens de 20 mg/L inferidas em diversos estudos em escala de bancada e aplicadas na estação Alto da Boa Vista na cidade de São Paulo, visando a remover substâncias passíveis de conferir odor e sabor à água de consumo (FERREIRA FILHO & ALVES, 2006).

Em cenário mais desfavorável no qual as florações tornem-se mais constantes e de maior permanência e considerando o custo do CAP no território nacional da ordem de R\$2,50/kg e desconsiderando os custos dos dosadores – variável de acordo com o porte da estação -, sua aplicação às estações convencionais da Paraíba resultará em acréscimo no custo diário de potabilização da ordem de R\$9,7 mil (aproximadamente R\$0,026/m³). Este montante deve responder por algo como 1,5% da arrecadação da Companhia, passando a se constituir em um dos mais importantes insumos e justificando – inclusive economicamente – as futuras ações de preservação destes mananciais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AESA, Agência Executiva de Gestão das águas do Estado da Paraíba. Disponível em: <www.aesa.pb.gov.br>. Acesso em: 14 de maio de 2011.
2. AWWA – *Journal Opflow*, v.29, n.5, May 2003.
3. FERREIRA FILHO, S. S. & ALVES, R. – *Técnicas de avaliação de sabor e odor em águas de abastecimento: Método analítico, análise sensorial e percepção dos consumidores*, *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.11, n.4, p.362-370, outubro/dezembro 2006.
4. IBGE. Instituto de Geografia Estatística. 2011. Disponível em: http://www.censo2010.ibge.gov.br/primeiros_dados_divulgados/index.php?uf=25> Acesso em: 14/05/2011
5. 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 da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 103 p., 2009.
6. MINISTÉRIO DA SAÚDE - *Normas e Padrão de Potabilidade da Água Destinada ao Consumo Humano*, Portaria 518, Brasília, março 2004.
7. MOLICA, R. & AZEVEDO, S. – *Ecofisiologia de cianobactérias produtoras de cianotoxinas*, *Revista Oecologia Brasiliensis*, v. 13, n. 2, p. 229-46, 2009.
8. SILVA, M. A. V. – *Atlas Climatológico do Estado da Paraíba*, UFPB, Ed. Banco do Nordeste, 137 p., 1987.
9. VIANA-VERONESI, M. *et al.* – *Avaliação da remoção de saxitoxinas por meio técnicas de tratamento das águas de abastecimento*, *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.14, n.2, p.193-204, abril/junho 2009.
10. WALKER JR, W. W. – *Significance of eutrophication in water supply reservoirs*, *JAWWA*, v.82, n.1, p.38-41, January 1983.