

Maria Cristina Canela
Wilson F. Jardim
Fernando Fabriz Sodré
Marco Tadeu Grassi
(editores)

CAFEÍNA EM ÁGUAS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO NO BRASIL



INCTAA

Instituto Nacional de Ciências e Tecnologias
Analíticas Avançadas

© 2014 Todos os direitos desta edição são reservados aos autores

Instituto Nacional de Ciências e Tecnologias Analíticas Avançadas – INCTAA
Cafeína em águas de abastecimento público no Brasil / Instituto Nacional de Ciências e Tecnologias Analíticas Avançadas – INCTAA; Maria Cristina Canela ... [et al.]. (editor). – São Carlos : Editora Cubo, 2014.
96 p. : il.

ISBN 978-85-60064-45-8
ISBN 978-85-60064-51-9 (e-book)

1. Cafeína. 2. Águas. 3. Contaminantes emergentes. 4. Indicador. I. Instituto Nacional de Ciências e Tecnologias Analíticas Avançadas – INCTAA. II. Canela, Maria Cristina, editor. III. Título.

Capa, projeto gráfico, diagramação e normalização

editora  cubo
soluções para o universo acadêmico



Sumário

PREFÁCIO	7
----------------	---

CAPÍTULO 1

A CAFEÍNA NO AMBIENTE	11
-----------------------------	----

Cassiana C. Montagner, Cristiane Vidal, Fernando F. Sodré, Igor C. Pescara e Wilson F. Jardim

Consumo de cafeína	12
A excre�o da cafeína consumida.....	13
A presença de cafeína em águas superficiais.....	15
Ecotoxicidade da cafeína	15
A presença de cafeína em água de abastecimento público.....	15
A cafeína como indicador químico.....	17
Legisla�o.....	18

CAPÍTULO 2

A ANÁLISE DE CAFEÍNA NAS AMOSTRAS COLETADAS NO BRASIL	25
---	----

*Cristiane Vidal, Maria C. Canela, Camila R. O. Nunes, Marco T. Grassi,
Kelly C. Machado e Wilson F. Jardim*

Panorama nacional.....	26
Trabalho de coleta e no laboratório.....	26
Aspectos gerais da análise.....	26
Padroniza�o do procedimento de coleta e extra�o	28

CAPÍTULO 3

O ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM CAPITALS DA REGIÃO SUL.....	33
--	----

Marco T. Grassi, Kelly C. Machado, Andreia N. Fernandes

Dados gerais das capitais da região Sul.....	34
Mananciais de abastecimento de água nas capitais da região Sul	35
Curitiba	35
Florianópolis.....	35
Porto Alegre.....	37
Abastecimento de água nas capitais da região Sul – ETA.....	37
Curitiba	37
Florianópolis.....	37
Porto Alegre.....	38



CAPÍTULO 4

O ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM CAPITALS DA REGIÃO SUDESTE..... 41

Igor C. Pescara, Camila R. O. Nunes, Maria C. Canela, Wilson F. Jardim

Dados demográficos e econômicos das capitais da região Sudeste.....	42
Mananciais de abastecimento de água nas capitais da região Sudeste	43
São Paulo.....	43
Rio de Janeiro.....	43
Belo Horizonte.....	44
Vitória.....	45
Estações de tratamento de água nas capitais da região Sudeste	46
São Paulo.....	46
Rio de Janeiro.....	46
Belo Horizonte.....	47
Vitória.....	47

CAPÍTULO 5

O ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM CAPITALS DA REGIÃO CENTRO-OESTE..... 51

Fernando F. Sodré, Fernanda V. de Almeida, Joyce S. Santana, Marco T. Grassi e Kelly C. Machado

Dados demográficos e econômicos das capitais da região Centro-Oeste.....	52
Mananciais de abastecimento de água nas capitais da região Centro-Oeste	53
Brasília.....	53
Goiânia.....	53
Cuiabá.....	54
Campo Grande.....	55
Estações de tratamento de água das capitais da região Centro-Oeste	55
Brasília.....	55
Goiânia.....	56
Cuiabá.....	56
Campo Grande	56

CAPÍTULO 6

O ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM CAPITALS DA REGIÃO NORDESTE..... 61

Kátia M. Bichinho, Teresa C. B. Saldanha, Flaviana J. R. Severo, Maria M. L. M. L cio, Maria C. Canela, Camila R. O. Nunes, Gilson L. da Silva, Marta M. M. B. Duarte, Valdinete L. da Silva

Dados demográficos e econômicos das capitais da região Nordeste.....	62
Mananciais de abastecimento de água nas capitais da região Nordeste	64
Recife.....	64
Fortaleza.....	64
Salvador.....	66
Natal.....	66
São Luís.....	68
João Pessoa.....	68
Teresina.....	69



Estações de tratamento de água nas capitais da região Nordeste	70
Recife	70
Fortaleza	70
Salvador	70
Natal	71
São Luís	71
João Pessoa	72
Teresina	72

CAPÍTULO 7

O ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM CAPITALS DA REGIÃO NORTE..... 75

Fernanda V. de Almeida, Fernando F. Sodré, Maria C. Canela, Wilson F. Jardim

Dados demográficos e econômicos das capitais da região Norte	76
Mananciais de abastecimento de água nas capitais da região Norte	76
Manaus	76
Belém	77
Palmas	78
Porto Velho	78
Estes de tratamento de água nas capitais da região Norte	79
Manaus	79
Belém	79
Palmas	79
Porto Velho	80

CAPÍTULO 8

AVALIANDO OS RESULTADOS OBTIDOS..... 83

*Fernando F. Sodré, Maria C. Canela, Cristiane Vidal, Wilson F. Jardim,
Kátia M. Bichinho e Marco T. Grassi*

CAPÍTULO 9

FINALIZANDO

Wilson de Figueiredo Jardim

Prefácio

Estamos no final do verão de 2014. Um verão atípico, seco e muito quente. Bastou que o clima alterasse um pouco em relação ao usual para que o fantasma do desabastecimento de água tratada mostrasse sua face. Cremos saber, agora, o quanto ele é assustador. No entanto, o alerta, amplamente divulgado por todo tipo de mídia será, provavelmente, esquecido em breve, à medida que o clima volte à normalidade e os reservatórios estejam novamente cheios, apesar de o evento mostrar claramente que as populações dos grandes centros urbanos estão sob ameaça permanente de racionamento e que a quantidade de água tratada, o que todo mundo sabe mas finge ignorar, é limitada.

Porém, mais preocupante ainda é que há outros fantasmas escondidos na água tratada distribuída à nossa população. Esses não mostram a cara com facilidade, pois não se associam à quantidade de água disponível, mas sim à sua qualidade. São fantasmas que somente podem ser vistos com as lentes da ciência e, em particular, com aquelas da moderna Química Analítica. Alguns foram identificados há muito tempo, mas outros são novos e foram reconhecidos somente mais recentemente. Esses fantasmas, alguns tão assustadores como o do desabastecimento, são denominados “contaminantes emergentes” e constituem uma classe de compostos químicos que estão presentes na água que nos é servida, mesmo a tratada de acordo com as normas mais rigorosas atualmente existentes. Eles estão presentes devido às atividades humanas e sua quantidade reflete a intensidade com as quais essas atividades são exercidas nos locais próximos aos pontos de captação da água para tratamento e consumo humano.

O número dessas substâncias é muito grande e, recentemente, algumas delas têm mostrado efeitos preocupantes associados à sua toxidez e atividade estrogênica.

Este livro apresenta os resultados de mais de quatro anos de pesquisa dedicados a ampliar e aprofundar nosso conhecimento sobre essas substâncias aqui no Brasil e mostra que nossos sistemas de tratamento precisam ser repensados e aperfeiçoados, para que possam lidar com essa classe de substâncias. Além de apresentar os resultados quantitativos em relação à cafeína, ele serve de referência para estudos semelhantes, mostrando a importância de se elaborarem ações de planejamento estratégico, que devem preceder o início dos trabalhos, e a necessidade de padronizar e validar procedimentos para que os resultados analíticos possam ter significado. Ou seja, a experiência adquirida neste estudo está disponibilizada para uso em estudos semelhantes que exijam esse mesmo grau de planejamento. Além

disso, o livro não apresenta os dados simplesmente, mas os contextualiza, agregando a cada resultado informações demográficas, socioeconômicas, dos mananciais de captação e dos sistemas de tratamento de água da região a que eles se referem.

As conclusões do estudo em relação à presença de cafeína em águas tratadas e a possibilidade de associá-la à sua atividade estrogênica constituem uma contribuição significativa para essa área de estudo, podendo auxiliar sobremaneira as ações visando mitigar os efeitos dos contaminantes emergentes e no controle de qualidade da água tratada.

O livro foi escrito para que tanto o grande público como aquele especializado possam se valer das informações nele contidas. Do grande público se espera, além de que permaneça alerta, sensibilização para a existência do problema, reflexão sobre ele e que contribua, com sua participação como cidadão esclarecido, nos assuntos relativos à qualidade da água que bebe e que seus filhos irão beber. Do público especializado, ações de política pública efetivas para que o problema seja atacado e resolvido.

A divulgação parcial dos resultados contidos neste livro gerou impactos e inúmeras reportagens nos mais diversos tipos de mídia e requerimentos muito bem-vindos do Mistério Público de vários estados e cidades onde a pesquisa foi realizada. O estudo feito é abrangente no que se refere à inclusão dos centros mais populosos do país, interessando diretamente a mais de 40 milhões de brasileiros que vivem nessas capitais das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e Norte.

O Instituto Nacional de Ciências e Tecnologias Analíticas Avançadas (INCTAA), apoiado por CNPq, FAPESP e CAPES, decidiu em sua primeira reunião geral ocorrida em outubro de 2011 que iria se dedicar ao tema dos contaminantes emergentes e estender para todo o país o estudo, que vinha sendo desenvolvido de forma localizada pelos seus pesquisadores do Instituto de Química da UNICAMP. Assim, demonstrou a importância da atuação em rede e da junção de especialidades do corpo de pesquisadores do INCTAA. Assim, também, cumpriu uma das suas premissas básicas, que é atender demandas reais da sociedade brasileira, mesmo aquelas que precisam ser identificadas pelos próprios cientistas que as atendem. Este livro, que consolida os resultados dessa ação, constitui o melhor produto gerado pelo INCTAA para a sociedade brasileira.

Campinas 18 de março de 2014

Celio Pasquini
Coordenador do INCTAA



01

A cafeína no ambiente

CASSIANA C. MONTAGNER¹, CRISTIANE VIDAL¹, FERNANDO F. SODRÉ²,
IGOR C. PESCARA¹ E WILSON F. JARDIM¹

¹ Laboratório de Química Ambiental, Universidade Estadual de Campinas

² Grupo de Automação, Quimiometria e Química Ambiental, Universidade de Brasília

A preocupação com a saúde ambiental é um tema cuja relevância cresce a cada dia. Ao longo do desenvolvimento da humanidade, muitas substâncias foram e ainda são utilizadas sem que se saiba o efeito que podem causar tanto ao homem quanto aos demais seres vivos. Muitos anos podem se passar até que efeitos indesejáveis sejam identificados e ações preventivas e/ou remediativas sejam tomadas para atenuá-los. É evidente que houve uma evolução no número de substâncias, objeto de legislação ao longo do tempo no Brasil e no mundo, como parâmetros de potabilidade de água, entretanto, apesar da evolução, é impraticável contemplar em legislações todas as substâncias que possam trazer algum risco à saúde, uma vez que a síntese, produção e lançamento de novos produtos têm uma dinâmica muito maior do que a elucidação de efeitos deletérios por meio de avaliações toxicológicas.

Essas substâncias, de origem natural ou sintética, assim como alguns micro-organismos, quando não inseridas em programas de monitoramento oficial mas suspeitas de potencialmente produzirem efeitos adversos, são denominadas contaminantes emergentes. São exemplos de contaminantes emergentes pesticidas, fármacos, hormônios, nanomateriais, produtos de higiene pessoal, plastificantes, entre outros. Esses efeitos adversos podem ocorrer tanto em seres humanos quanto em micro-organismos e animais selvagens expostos a esses contaminantes. A exposição pode se dar por dois meios distintos: eventos isolados em altas doses e que provocam efeitos imediatos (agudos), ou eventos contínuos, de baixa dose, que provocam efeitos notáveis apenas após longos períodos de exposição (crônicos).

Classificada como contaminante emergente e popularmente associada ao café cotidiano e à sensação de alerta, a cafeína é um composto da classe das metilxantinas, substâncias que apresentam a propriedade de estimular o sistema nervoso central, e é provavelmente a substância psicoativa mais consumida no mundo (Gardinali; Zhao, 2002; Diogo et al., 2013). Encontrada naturalmente em diversas espécies vegetais, tais como café, chás, guaraná, cacau, ervas, dentre mais de outras 60 espécies de plantas, a produção global de cafeína varia entre 10 e 15 mil toneladas por ano, incluindo 3 a 4 mil toneladas de cafeína natural (Buerge et al., 2003; OECD, 2003).

Consumo de cafeína

O consumo de cafeína ocorre majoritariamente através da ingestão de produtos alimentícios que contêm a substância. Estima-se que 70% da cafeína seja proveniente do café, a segunda bebida mais consumida no mundo (Butt; Sultan, 2011). O teor de cafeína no café depende de diversos fatores (tipo e grau de maturação do grão, grau de moagem e torra, preparo da bebida e outros) mas, em média, uma xícara de 240 mL de café contém 100 mg do composto. Cafés expressos são os que apresentam os maiores teores de cafeína variando entre 240 e 720 mg por xícara. Outras fontes de cafeína são chás, refrigerantes, chocolates e energéticos. Uma xícara de chá-mate apresenta maior teor de cafeína (78 mg) quando comparada a uma de chá-preto (55 mg) e a uma de chá-verde (35 mg) (Heckman et al., 2010).

No Brasil, uma estimativa baseada em dados da Pesquisa de Orçamentos Familiares de 2008-2009 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) revelou um consumo diário de cafeína de pouco mais de 115 mg por pessoa (Sartori; Silva, 2013). Revelou ainda que moradores da Região Sul apresentaram a maior ingestão média em comparação às demais regiões do país (Sartori; Silva, 2013). O consumo de cafeína em Campinas, SP, estimado em uma pesquisa de amostrou 600 indivíduos, combinando seu hábito de ingestão de bebidas e o teor de cafeína delas, apontou uma ingestão diária média de 2,74 mg kg⁻¹ massa corpórea, o que resultaria em 192 mg diários para um indivíduo de 70 kg (Camargo et al., 1999). Nos Estados Unidos, o consumo diário médio considerando toda a faixa etária foi estimado em 1,2 mg kg⁻¹ massa corpórea (Frary et al., 2005), sendo que para adultos o consumo é maior, de 4 mg kg⁻¹ massa corpórea (Barone; Roberts, 1996). Na Alemanha estima-se o consumo diário médio em 2,1 mg kg⁻¹ massa corpórea (Lachenmeier et al., 2013) e, no Reino Unido, em 1,72 mg kg⁻¹ (Fitt et al., 2013).

A cafeína também pode ser encontrada em medicamentos para resfriados, alergias e em analgésicos, em concentrações na faixa de 15 a 64 mg por unidade, moderadores de apetite apresentam de 50 a 200 mg por unidade e estimulantes contêm de 100 a 200 mg por unidade (Srisuphan; Bracken, 1986).

O consumo moderado de cafeína por seres humanos não apresenta riscos à saúde. Entretanto,

sua presença na biota e em corpos d'água pode trazer informações valiosas sobre a saúde ambiental. Estudos realizados demonstraram que o consumo de cafeína em quantidades específicas pode contribuir para a saúde tanto de seres humanos quanto de animais, como melhora no humor, no estado de alerta, desempenho físico, velocidade de processamento de informações, entre outros (Heckman et al., 2010). Contudo, o consumo elevado de cafeína pode desenvolver efeitos negativos à saúde de adultos e crianças, afetando o sono, provocando dores de cabeça, problemas cardíacos, ansiedade, náusea, entre outros (Nawrot et al., 2003). Também são apontadas como grupos de risco em relação ao consumo de cafeína as mulheres em período fértil, gestantes e aquelas em período de amamentação. Estudos indicam que o consumo de cafeína pode diminuir a fertilidade, provocar redução no ganho de massa corpórea do feto e contribuir para o aborto espontâneo (Heckman et al., 2010). Quando consumida pela mulher durante a amamentação, a cafeína pode ser encontrada no leite, o que pode provocar efeitos adversos no recém-nascido.

A quantidade de cafeína necessária para produzir um efeito adverso varia de indivíduo para indivíduo, pois está relacionada com a massa corpórea e a sensibilidade do indivíduo para cafeína. A agência reguladora de alimentos e medicamentos dos Estados Unidos (FDA) considera como seguro um consumo de até 400 mg de cafeína por dia para adultos. A agência de saúde do Canadá sugere um consumo diário de até 450 mg para adultos, 300 mg para gestantes e 85 mg para adolescentes (Heckman et al., 2010). Apesar de raros, existem casos de mortes atribuídas à *overdose* de cafeína, sendo que a dose fatal não foi completamente elucidada, mas alguns pesquisadores sugerem aproximadamente 10 g por dia (Heckman et al., 2010; Holmgren et al., 2004; Kerrigan; Lindsey, 2005).

A excreção da cafeína consumida

Após o consumo, a cafeína é rapidamente absorvida e metabolizada, atingindo um pico na corrente sanguínea após 1 a 2 horas. A excreção ocorre em até 48 horas principalmente pela urina, sendo que de 1 a 5% da cafeína não é metabolizada (Nawrot et al., 2003). Grandes quantidades de alimentos, tais como chá e café, podem ser descartados sem serem consumidos,

fazendo com que concentrações significativas do composto apareçam no esgoto sanitário bruto. A Figura 1 mostra as possíveis vias de transporte de cafeína a partir do seu descarte em sistemas de esgotamento sanitário.

A rota ① representa o enriquecimento do esgoto bruto com cafeína a partir da urina, além da contribuição do descarte de bebidas, alimentos e/ou medicamentos em pias, ralos e vasos sanitários. Os serviços de esgotamento sanitário são representados pelas rotas ② e ③, sendo que a primeira corresponde à canalização do esgoto até estações de tratamento de esgoto (ETE). A terceira rota indica o serviço de afastamento do esgoto bruto da população que, invariavelmente, culmina com seu descarte em sistemas de águas superficiais, sejam eles continentais ou costeiros. O descarte clandestino do esgoto, ou seja, aquele que não é realizado de maneira adequada pela concessionária responsável pelo serviço de esgotos, também é contemplado na rota ③.

Os níveis de concentração de cafeína no esgoto bruto variam em função de inúmeros aspectos, tais como padrão de consumo, temperatura, época do ano, número de habitantes atendidos, extensão e capacidade da rede de esgotamento sanitário. Por exemplo, concentrações médias de mais de 200 $\mu\text{g L}^{-1}$ foram determinadas no esgoto bruto de Berlim, na Alemanha (Heberer et al., 2002). Outro estudo realizado naquele país revelou que, dentre inúmeros contaminantes associados aos padrões de consumo da população, a cafeína foi dominante nas amostras de esgoto investigadas, atingindo concentrações de até 55 $\mu\text{g L}^{-1}$ (Weigel et al., 2004). Concentrações na faixa de microgramas por litro também foram encontradas em inúmeros países, como Canadá (Viglino et al., 2008), Coréia do Sul (Choi et al., 2008), Espanha (Pedrouzo et al., 2007), Estados Unidos (Swartz et al., 2006) e Suécia (Benz et al., 2005; Paxéus; Schröder, 1996). No Brasil, a cafeína foi encontrada no esgoto bruto do município de Campinas, SP, em níveis de mais de 290 $\mu\text{g L}^{-1}$ (Sodré et al., 2010).

Em ETE (estações de tratamento de esgoto) convencionais, os métodos de tratamento não foram projetados para a remoção completa de substâncias decorrentes do padrão de consumo adotado nas grandes cidades. Mesmo assim, inúmeros trabalhos têm demonstrado bons índices de remoção de cafeína em ETE convencionais. Na cidade de Berlim, índices de remoção superiores a 99% foram reportados, considerando-se a

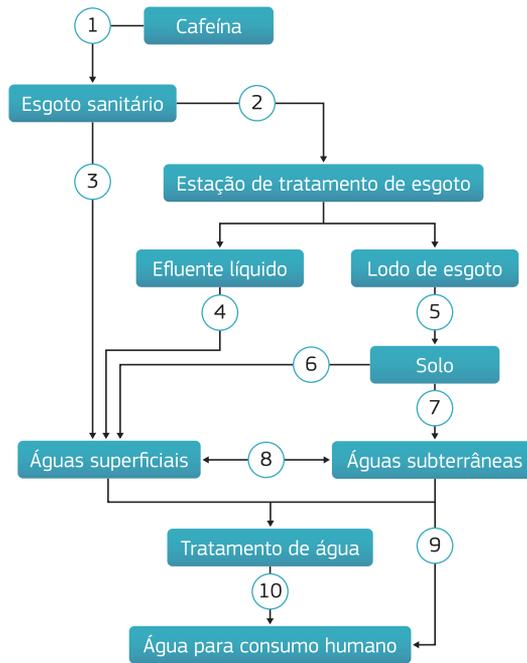


Figura 1: Possíveis vias de transporte de cafeína no ambiente

eficiência média de todas as ETE da cidade (Heberer et al., 2002). Porcentagens similares de remoção foram encontradas em ETE brasileiras localizadas em Campinas, SP (Sodré et al., 2010), e em Curitiba, PR (Froehner et al., 2011), operando tanto em modo aeróbico quanto anaeróbico. A eficiência de ETE convencionais para a remoção de cafeína também foi investigada por pesquisadores espanhóis (Camacho-Muñoz et al., 2012), os quais observaram que estações de tratamento usando lodo ativado foram capazes de remover até 98% de cafeína, enquanto que nas demais ETE a remoção média foi de cerca de 70%.

Mesmo apresentando alto índice de remoção, a elevada concentração de cafeína no esgoto bruto, reflexo do padrão de consumo e falta de saneamento adequado, gera concentrações residuais elevadas dessa substância após o tratamento. Por exemplo, no Canadá, esse valor variou entre 0,15 e 20 $\mu\text{g L}^{-1}$ (Vigilino et al., 2008; Comeau et al., 2008; Hua et al., 2006). Um estudo realizado em dez estados norte-americanos evidenciou a presença de cafeína em 73% das

amostras de efluentes de ETE investigadas em concentrações de até 8 $\mu\text{g L}^{-1}$ (Glassmeyer et al., 2005). A presença de cafeína em efluentes de ETE já foi confirmada em inúmeros países, incluindo Alemanha (Heberer et al., 2002; Weigel et al., 2004; Strauch et al., 2008), Austrália (Ying et al., 2009), Brasil (Sodré et al., 2010), China (Sui et al., 2010), Coreia do Sul (Choi et al., 2008), Espanha (Pedrouzo et al., 2007), França (Rabiet et al., 2006) e Grécia (Kosma et al., 2010). Esse fato pode ser explicado pelas características físico-químicas da substância, as quais controlam sua distribuição entre as fases líquida e sólida do esgoto. A cafeína possui elevada solubilidade em água, 20 g L^{-1} , uma pressão de vapor de $4,7 \times 10^{-6}$ Pa e um coeficiente de partição octanol/água (K_{ow}) de 0,81, sendo então preferencialmente encontrada no efluente líquido que é descartado nos corpos receptores (rota ④).

Eventualmente, contaminantes de origem doméstica, incluindo a própria cafeína, podem enriquecer o lodo de esgoto. Essa fração sólida tem sido utilizada para fertilização e condicionamento de solos agricultáveis no Brasil e no mundo

(rota ⑤). Contaminantes presentes no lodo de esgoto aplicado ao solo podem então surgir em águas naturais por meio do escoamento superficial (rota ⑥) ou da lixiviação (rota ⑦).

Em muitos países, efluentes de ETE representam a principal fonte de aporte de contaminantes de origem doméstica para águas superficiais. Estudos mostram que trechos de rios localizados à jusante de ETE apresentam níveis de cafeína superiores aos localizados à montante, evidenciando o papel dos efluentes gerados no aporte da substância (Choi et al., 2008; Camacho-Muñoz et al., 2012; Buszka et al., 1994). No Brasil, a principal via de aporte não está, necessariamente, relacionada à contribuição dos efluentes de ETE, uma vez que apenas 28,5% dos municípios realiza algum tratamento do esgoto. Os demais municípios descartam esgoto bruto diretamente nos rios (IBGE, 2010). Nesse caso, o aporte de esgoto bruto, representado pela rota ③, constitui a principal via de aporte de cafeína para sistemas de águas naturais.

A rota ⑧, mostrada na Figura 1, representa a interface existente entre os sistemas aquáticos superficiais e subterrâneos. A água subterrânea pode ser bombeada e utilizada para fins de consumo (rota ⑨) ou submetida a tratamento. Finalmente, a rota ⑩ representa a distribuição de água para consumo humano por meio de redes municipais de distribuição ou caminhões-pipa.

A presença de cafeína em águas superficiais

Em águas superficiais continentais, os níveis de cafeína variam em função de aspectos como sazonalidade, proximidade das fontes de aporte, condições hidrológicas e padrão de consumo. Concentrações mais elevadas de cafeína têm sido encontradas em águas superficiais brasileiras em comparação com estudos realizados em outros países. Um trabalho realizado em 2010, na cidade de Campinas, SP, evidenciou o papel do esgoto bruto como principal fonte de cafeína para águas superficiais utilizadas como mananciais para produção de água para consumo humano (Sodré et al., 2010). A Tabela 1 apresenta a concentração de cafeína reportada em mananciais de diferentes países. Nessa tabela estão apresentadas concentrações mínima de 0,6 ng L⁻¹

e máxima de 753,5 µg L⁻¹, ou seja, uma variação de cerca de seis ordens de grandeza.

Ecotoxicidade da cafeína

Quando presente nas águas naturais, a cafeína pode causar efeitos adversos tanto em micro-organismos quanto em peixes e anfíbios. Estudos empregando embriões de *Danio rerio*, o peixe bandeirinha ou paulistinha, demonstraram que a cafeína em concentrações superiores a 300 mg L⁻¹ provocava a morte dos embriões. Quando os embriões foram submetidos a uma exposição de 150 mg L⁻¹ de cafeína foram observados problemas na formação desses organismos, provocando efeitos no desenvolvimento e diminuição na capacidade de locomoção (Chen et al., 2008; Yeh et al., 2012). A exposição em meio contendo 100 mg L⁻¹ de cafeína interferiu no desenvolvimento de larvas de uma espécie de rã, a *Xenopus leavis* (Sakamoto et al., 1993). Contudo, trabalhos que avaliaram os efeitos da cafeína sobre exemplares de *Hydra attenuata* demonstraram que, para essa espécie, a cafeína na faixa de concentração 0 a 220 µg L⁻¹ não apresentou toxicidade (Quin et al., 2008; 2009).

A presença de cafeína em água de abastecimento público

As ETA (estações de tratamento de água) brasileiras normalmente produzem água de abastecimento por meio do tratamento de águas provenientes de mananciais de superfície. Assim como nas ETE, os processos convencionais de tratamento nas ETA não são eficientes para a eliminação de cafeína. Muitos estudos evidenciam que a remoção de cafeína em ETA depende, primariamente, do tipo de tratamento empregado.

Os processos convencionais de coagulação, floculação e decantação são ineficientes para a remoção total de alguns contaminantes orgânicos dissolvidos, incluindo cafeína (Ternes et al., 2002; Westerhoff et al., 2005; Kim et al., 2007). Processos oxidativos, tais como cloração, foto-oxidação e ozonização são eficazes para reduzir as concentrações de várias classes de contaminantes. No entanto, a eficiência de remoção depende da estrutura química do contaminante alvo, bem como da quantidade de oxidante utilizada. Um estudo

Tabela 1: Concentrações (ng L⁻¹) de cafeína em mananciais de diferentes países

<i>Concentração média (ng L⁻¹)</i>	<i>Concentração máxima ou faixa de concentração (ng L⁻¹)</i>	<i>País (cidade)</i>	<i>Referência</i>
137	1.467	Itália	(Loos et al., 2010)
	(0,6-1.056)	Itália	(Loos et al., 2007)
143		Alemanha	(Musolff et al., 2009)
	(10-152)	França	(Vystavna et al., 2012)
	(13-107)	França	(Togola; Budzinski, 2008)
	(675-13.167)	Espanha	(Valcarcel et al., 2011)
	(12,2-415)	Espanha	(Fernández et al., 2010)
1.926	2.991	Espanha	(Huerta-Fontela et al., 2007)
265,2	437,4	UK	(Baker; Kasprzyk-Hordern, 2011)
	(21,4-20.427)	Turquia	(Aydin; Talinli, 2013)
	(1,6-224,8)	EUA	(Wang et al., 2011)
14	270	EUA	(Focazio et al., 2008)
30	(18-176)	EUA	(Conley et al., 2008)
	190	EUA	(Stackelberg et al., 2007)
112	781	Canadá	(Daneshvar et al., 2012)
	(8,4-160)	Canadá	(Chen et al., 2006 b)
	(23,8-625,5)	China	(Zhu et al., 2013)
54	2.400	Japão	(Komori et al., 2013)
	(174-127.092)	Brasil (Campinas, SP)	(Montagner; Jardim, 2011)
	(1.410-753.500)	Brasil (Curitiba, PR)	(Frohener et al., 2010)
	(160-47.500)	Brasil (Teresópolis, RJ)	(Gonçalves, 2008)

realizado na Espanha revelou que a ozonização foi capaz de remover cerca de 70% de cafeína, sendo que uma etapa de pós-cloração, comumente empregada para desinfecção de águas no Brasil, foi capaz de elevar a taxa de remoção para 90% (Huerta-Fontela et al., 2008). Outro estudo revelou maiores taxas de remoção (cerca de 90%) para a simples ozonização em comparação ao processo combinado com o uso de peróxido de hidrogênio (Snyder et al., 2006a).

O uso de carvão ativado pode remover uma grande variedade de contaminantes orgânicos, mas a capacidade de remoção é limitada pelo tempo de contato, pela competição com a matéria orgânica natural e pela solubilidade do contaminante (Ternes et al., 2002; Snyder et al., 2007). Os

processos de osmose reversa e nanofiltração fornecem barreiras efetivas para a separação de contaminantes, enquanto que membranas de microfiltração e ultrafiltração podem ser eficientes para uma remoção seletiva de classes de contaminantes com propriedades específicas (Snyder et al., 2007).

A Tabela 2 apresenta a concentração de cafeína em amostras de água tratada de sete países, as quais variaram entre 1,2 e 396 ng L⁻¹. Nesse caso, as concentrações de cafeína estão relacionadas à qualidade do manancial e ao tipo de tratamento aplicado nas ETA (Rossner et al., 2009; Broséus et al., 2009; Snyder et al., 2007; Chen et al., 2006).

Tabela 2: Concentrações (ng L⁻¹) de cafeína em água tratada de diferentes países

<i>Concentração média</i>	<i>Concentração máxima ou faixa de concentração*</i>	<i>País</i>	<i>Referência</i>
23,7	(10,5-53)	Itália	(Loos et al., 2007)
	22,9	França	(Togola; Budzinski, 2008)
	(50-396)	Espanha	(Boleda et al., 2011)
	60	EUA	(Stackelberg et al., 2007)
	(1,2-180,8)	EUA	(Wang et al., 2011)
	(6,8-108)	Canadá	(Chen et al., 2006)
24,4		China	(Leung et al., 2013)
	(47-5.845)	Brasil	(Raimundo, 2011)

* Apenas as concentrações acima dos limites de quantificação foram consideradas

A cafeína como indicador químico

Além da cafeína, fármacos, produtos de higiene pessoal, hormônios naturais e sintéticos também têm surgido em sistemas de esgotamento sanitário. Entretanto, muitos desses contaminantes apresentam um padrão de consumo menor em comparação ao da cafeína. Além disso, a cafeína tem elevada solubilidade em água e é recalcitrante aos processos normalmente usados nas ETA, o que torna esse composto um indicador de contaminação antrópica em diversos estudos realizados em todo o mundo.

Embora a cafeína tenha sido detectada em águas naturais há mais de 30 anos, apenas em 1996 seu uso como um marcador químico de contaminação antrópica foi proposto de maneira mais consistente (Ogunseitan, 1996). Desde então, muitos outros estudos vêm construindo evidências para o uso dessa substância como indicadora de atividades antrópicas ou como marcadora de contaminação fecal, ou seja, proveniente do esgoto sanitário (Raimundo, 2011; Sodré et al., 2010; Glassmeyer et al., 2005; Buerge et al., 2003; Chen et al., 2002; Siegener; Chen, 2002; Piosos; De la Cruz, 2000; Stanley et al., 2000; Seiler et al., 1999). Um estudo realizado em 2002 no estuário do porto de Boston, nos Estados Unidos, mostrou que a presença de cafeína no esgoto bruto e tratado, além de ser consistente com dados sobre o padrão de consumo na região, era o principal contaminante encontrado naquele sistema aquático (Siegener; Chen, 2002). O

estudo mostrou também que o comportamento da cafeína em fun o do gradiente da salinidade no estuário corrobora seu uso como indicadora da contamina o fecal.

No Brasil, o uso da cafeína como indicador da qualidade de  guas foi advogado pela primeira vez em 2005 por pesquisadores da Funda o Osvaldo Cruz com base em estudos voltados à detec o de cafeína em águas superficiais do estado do Rio de Janeiro (Ferreira, 2005; Ferreira; Cunha, 2005). No mesmo ano, pesquisadores do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo também revelaram a presença de cafeína nas  guas da represa Billings (Almeida; Weber, 2005). Nos últimos anos, muitas outras evidências têm mostrado que a presença de cafeína em águas brasileiras está diretamente relacionada ao aporte de esgoto, muitas vezes bruto, em ambientes aquáticos naturais (Sodré et al., 2007; Froehner et al., 2010; 2011b; Montagner; Jardim, 2011; Gomes et al., 2013).

Em 2010, pesquisadores da Universidade Estadual de Campinas relacionaram, pela primeira vez no Brasil, a presença de cafeína na água para consumo humano como uma consequência direta do aporte de esgoto bruto no principal manancial de água do município (Sodré et al., 2010). Em 2011, Raimundo realizou um trabalho detalhado sobre a presença de inúmeros contaminantes emergentes e cafeína nos mananciais e na água tratada distribuída   popula o de Campinas, SP. A autora comparou o estoque químico de 16 contaminantes

emergentes pré-selecionados com o potencial estrogênico medido num bioensaio usando uma levedura geneticamente modificada. Foi um trabalho pioneiro no qual se mostrou a correlação entre as concentrações de cafeína e as respostas obtidas nos ensaios de estroginicidade (Montagner et al., 2014). Assim, a determinação de cafeína em águas de abastecimento público se revestiu de uma importância ímpar, pois poderia ser usada como um indicador da qualidade, em especial no tocante à possível atividade estrogênica presente nas amostras.

Tal fato motivou a investigação de cafeína apresentada neste trabalho, a qual não apenas funciona como um indicador da contaminação do manancial por esgoto sanitário mas também da presença de contaminantes emergentes e, mais especificamente, de interferentes endócrinos nas amostras de água da rede amostrada nas diferentes capitais do país. O fato de a concentração de cafeína poder ser correlacionada com o potencial estrogênico das amostras proporciona à análise exploratória um caráter mais dinâmico, uma vez que os bioensaios contemplam todos os possíveis contaminantes presentes na amostra analisada e não apenas os selecionados para serem quimicamente quantificados. Além disso, esses bioensaios são mais sensíveis quando comparados às análises químicas, podendo responder positivamente à estroginicidade em amostras que apresentem concentração de contaminantes em níveis inferiores aos limites de detecção do método analítico. Também acusam possíveis efeitos de sinergismo e antagonismo que ocorrem entre os diferentes compostos presentes em misturas complexas como as amostras ambientais (Montagner et al., 2014).

Montagner et al., 2014 realça que poder correlacionar as concentrações de cafeína, determinadas por métodos analíticos simples e de baixo custo, com a presença de compostos interferentes endócrinos e a atividade estrogênica em níveis de subnanogramas por litro, as quais muitas vezes estão abaixo da detectabilidade analítica do método empregado, só é possível porque as concentrações de cafeína são cerca de 100 vezes maiores que as concentrações de inúmeros contaminantes emergentes presentes na mesma amostra. No entanto, é importante que se diga que a presença de cafeína em água potável não é motivo de preocupação quanto à exposição ao composto, pois a concentração nessas amostras é da ordem de mil a cem mil vezes inferior ao que se encontra numa xícara de café. Portanto, ao se olhar a presença de cafeína como um indicador químico da qualidade da água distribuída à população deve-se ter em mente que

quanto maior a concentração de cafeína, maior a probabilidade de que uma dada amostra de água apresente atividade estrogênica.

Legislação

A seleção dos contaminantes que devem ser regulamentados não é trivial e envolve o trabalho de diversas áreas do conhecimento, em especial no cenário atual, onde a cada ano mais de mil novas substâncias são cadastradas. Primeiramente deve-se considerar a produção mundial de uma dada substância, a maneira como ela é utilizada, a classe a que pertence (antibióticos, pesticidas, retardantes de chama etc.), as características físico-químicas, dados sobre a toxicidade (se disponíveis), mecanismo de ação e o potencial de periculosidade ambiental. Além disso, é importante conhecer as concentrações medidas nos diversos compartimentos ambientais que se pretende proteger, sejam os mananciais, visando a garantia dos seus múltiplos usos, ou a saúde humana, pela qualidade da água do abastecimento público servida à população.

A presença de cafeína em diferentes produtos naturais em concentrações variadas dificulta o controle sobre o consumo dessa substância. Em produtos industrializados, nos quais a cafeína é adicionada, órgãos reguladores responsáveis estabelecem valores considerados seguros. No entanto, considerando as baixas concentrações com que a cafeína ocorre em águas de abastecimento frente ao elevado consumo humano diário propiciado por outras fontes, certamente há dezenas de outras substâncias cuja regulamentação na água potável deveria ser priorizada pelo Ministério da Saúde frente à cafeína. Porém é importante que se defenda o **monitoramento** da cafeína nas águas distribuídas à população a fim de que se possa ter um indicador de estroginicidade confiável, cuja análise química é de baixa complexidade e pode ser feita com instrumentação acessível. Além disso, a partir de um banco de dados existente sobre a concentração de cafeína em água tratada numa dada janela temporal, ele permitiria reconstituir não apenas a qualidade do manancial com respeito ao aporte de esgoto sanitário, mas também a estroginicidade a que esteve exposta a população atendida por aquele manancial (Brasil, 2011; USEPA, 2012; EC, 1998; Canadá, 2012).

Referências

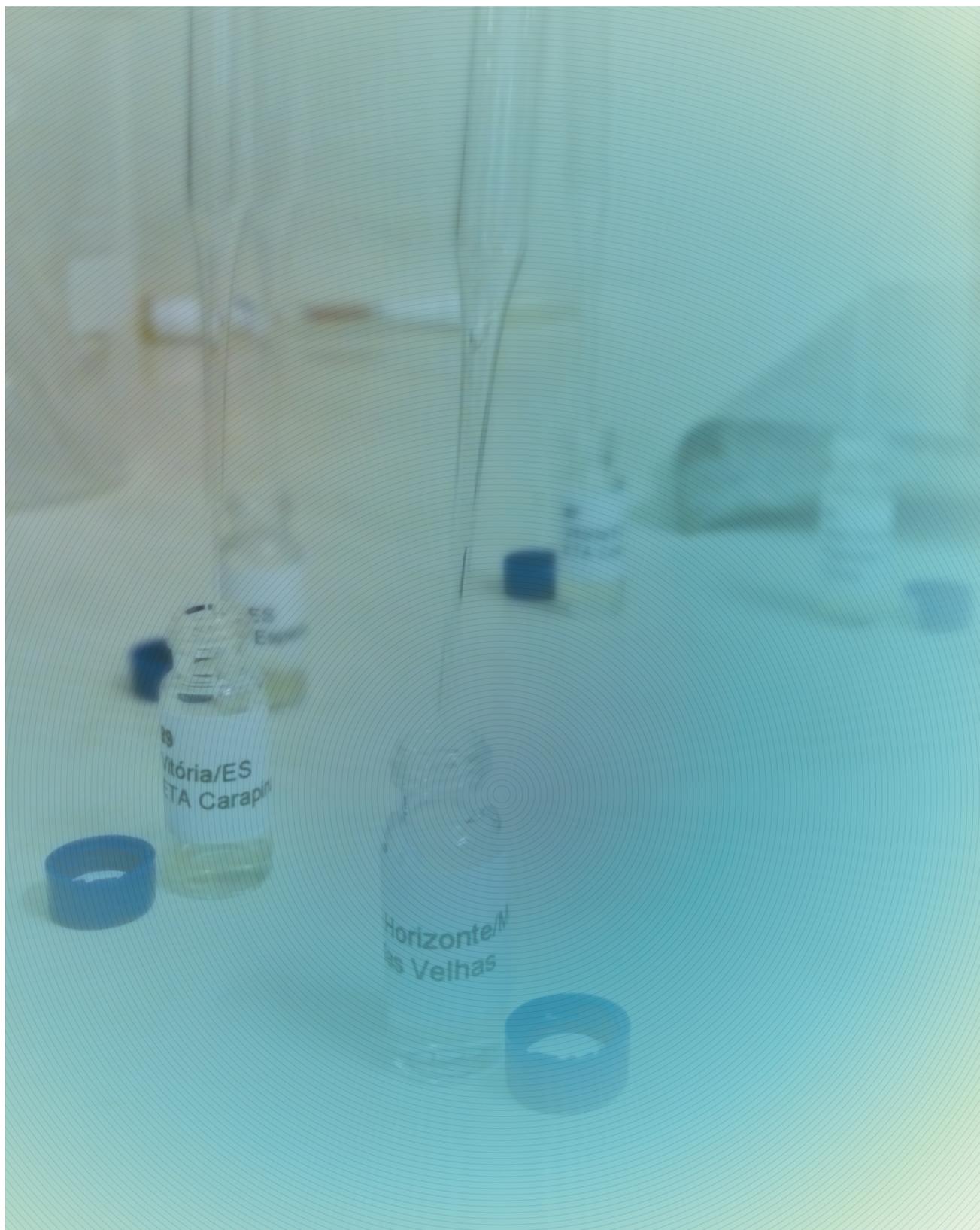
- ALMEIDA, G. A.; WEBER, R. R. Fármacos na Represa Billings. **Revista Saúde e Ambiente**, v.6, p. 7-13, 2005.
- AYDIN, E.; TALINLI, I. Analysis, occurrence and fate commonly used pharmaceuticals and hormones in the buyukcekmece Watershed, Turkey. **Chemosphere**, v.90, p. 2004-2012, 2013.
- BAKER, D. R.; KASPRZYK-HORDERN, B. Multi-residue analysis of drugs of abuse in wastewater and surface water by solid-phase extraction and liquid chromatography-positive electrospray ionization tandem mass spectrometry. **Journal of Chromatography A**, v. 1218, p. 1620-1631, 2011.
- BARONE, J. J.; ROBERTS, H. R. Caffeine consumption. **Food Chemistry Toxicology**, v. 34, p.119-129, 1996.
- BENDZ, D.; PAXÉUS, N. A.; GINN, T. R.; LOGE, F. J. Occurrence and fate of pharmaceutically active compounds in the environment, a case study: Höje River in Sweden. **Journal of Hazardous Materials**, v. 122, p. 195-204, 2005.
- BOLEDA, M. R.; HUERTA-FONTELA, M.; VENTURA, F.; GALCERAN, M. T. Evaluation of the presence of drugs of abuse in tap waters. **Chemosphere**, v. 84, p. 1601-1607, 2011.
- BUERGE, I. J.; POIGER, T.; MÜLLER, M. D.; DUSER, H. R. Caffeine, an anthropogenic marker for wastewater contamination of surface waters. **Environmental Science Technology**, v. 37, p. 691-700, 2003.
- BUSZKA, p. M.; BARBER II, L. B.; SCHROEDER, M. P.; BECKER, L. D. Organic compounds downstream from a treated-wastewater discharge near Dallas, Texas, U.S. Geological Survey, *March 1987*, 1994.
- BUTT, M. S.; SULTAN, M. T. Coffee and its Consumption: Benefits and Risks. **Critical Review Food Science**, v. 51, p. 363-373, 2011.
- BRASIL, Portaria MS nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011, Ministério da Saúde, Secretaria de vigilância em Saúde, Coordenação Geral de Vigilância em Saúde Ambiental, Brasília, 2011, 32p.
- BROSÉUS, R.; VINCENT, S.; ABOULFADL, K.; DANESHVAR, A.; SAUVÉ, S.; BARBEAU, B.; PRÉVOST, M. Ozone oxidation of pharmaceuticals, endocrine disruptors and pesticides during drinking water treatment. **Water Research**, v. 43, p. 4707-4717, 2009.
- CANADÁ, Guidelines for Canadian Drinking Water Quality, Health Canada, Ontario, 2012.
- CAMACHO-MUÑOZ, D.; MARTÍN, J.; SANTOS, J. L.; APARICIO, I.; ALONSO, E. Effectiveness of Conventional and Low-Cost Wastewater Treatments in the Removal of Pharmaceutically Active Compounds, **Water Air and Soil Pollution**, v.223, p. 2611-2621, 2012.
- CAMARGO, M. C. R.; TOLEDO, M. C. F.; FARAH, H. G. Caffeine daily intake from dietary sources in Brazil. **Food Addition Contamination**, v.16, p. 79-87, 1999.
- CHEN, Z.; PAVELIC, P.; DILLON, P.; NAIDU, R. Determination of caffeine as a tracer of sewage effluent in natural waters by on-line solid-phase extraction and liquid chromatography with diode-array detection. **Water Research**, v. 36, p. 4830-4838, 2002.
- CHEN, M.; OHMAN, K.; METCALFE, C.; IKONOMOU, M. G.; AMATYA, p. L.; WILSON, J. Pharmaceuticals and endocrine disruptors in wastewater treatment effluents and in the water supply system of Calgary, Alberta, Canada. **Water Quality Research Journal Canada**, v. 41, p. 351-364, 2006.
- CHEN, Y. H.; HUANG, Y. H.; WEN, C. C.; WANG, Y. H.; CHEN, W. L.; CHEN, L. C.; TSAY, H. J. Movement disorder and neuromuscular change in zebrafish embryos after exposure to caffeine. **Neurotoxicology and Teratology**, v. 30, p. 440-447, 2008.
- CHOI, K.; KIM, Y.; PARK, J.; PARK, C. K.; KIM, M. Y.; KIM, H. S.; KIM, p. Seasonal variations of several pharmaceutical residues in surface water and sewage treatment plants of Han River, Korea. **Science of the Total Environment**, v. 405, p. 120-128, 2008
- COMEAU, F.; SURETTE, C.; BRUN, G.L.; LOSIER, R. The occurrence of acidic drugs and caffeine in sewage effluents and receiving waters from three coastal watersheds in Atlantic Canada. **Science of the Total Environment**, v. 396, p. 132-146, 2008.
- CONLEY, J. M.; SYMES, S. J.; SCHORR, M. S.; RICHARDS, S. M. Spatial and temporal analysis of pharmaceutical concentrations in the upper Tennessee River basin. **Chemosphere**, v.73, p.1178-1187, 2008
- DANESHVAR, A.; ABOULFADL, K.; VIGLINO, L.; BROSÉUS, R.; SAUVÉ, S.; MADOUX-HUMERY, A.; WEYHENMEYER, G. A.; PRÉVOST, M. Evaluating pharmaceuticals and caffeine as indicators of fecal contamination in drinking water sources of the Greater Montreal region. **Chemosphere**, v. 88, p. 131-139, 2012
- DIOGO, J. S. G.; OLIVEIRA, S. L.; PENNA, A.; LINO, C. M. Risk assessment of additives through soft drinks and nectars consumption on Portuguese population: A 2010 survey. **Food Chemistry Toxicology**, in press, <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2013.09.006>
- EC, Quality of water intended for human consumption. **European Communities**, v. 330, p. 32-54, 1998.

- FERNÁNDEZ, C.; GONZÁLEZ-DONCEL, M.; PRO, J.; CARBONELL, G.; TARAZONA, J. v. Occurrence of pharmaceutically active compounds in surface waters of the Henares-Jarama-Tajo River system (Madrid, Spain) and a potential risk characterization; **Science of the Total Environment**, v. 408, p. 543-551, 2010.
- FERREIRA, A. P.; Cunha, C. L. N. Anthropogenic pollution in aquatic environment: development of a caffeine indicator. **International Journal Environmental Health Research**, v. 15, p. 303-311, 2005
- FERREIRA, A. p. Caffeine as an environmental indicator for assessing urban aquatic ecosystems. **Caderno Saúde Publica**, v. 21, p. 1884-1892, 2005.
- FITT, E.; PELL, D.; COLE, D. Assessing caffeine intake in the United Kingdom diet. **Food Chemistry**, v.140, p. 421-426, 2013.
- FOCAZIO, M. J.; KOLPIN, D. W.; BARNES, K. K.; FURLONG, E. T.; MEYER, M. T.; ZAUGG, S. D.; BARBER, L. B.; THURMAN, M. E. A national reconnaissance for pharmaceuticals and other organic wastewater contaminants in the United States - II) Untreated drinking water sources. **Science of the Total Environment**, v. 402, p. 201-216, 2008.
- FRARY, C. D. JOHNSON, R. K.; WANG, M. Q. Food Sources and Intakes of Caffeine in the Diets of Persons in the United States, **Journal American Diet Association**, v. 105, p. 110-113, 2005.
- FROEHNER, S., SOUZA, D. B.; MACHADO, K. S.; ROSA, E. C. Tracking Anthropogenic Inputs in Barigui River, Brazil Using Biomarkers. **Water Air and Soil Pollution**, v. 210, p. 33-41, 2010.
- FROEHNER, S.; PICCIONI, W.; MACHADO, K. S.; AISSÉ, M. M. Removal Capacity of Caffeine, Hormones, and Bisphenol by Aerobic and Anaerobic Sewage Treatment. **Water Air and Soil Pollution**, v. 216, p. 463-471, 2011a.
- FROEHNER S, MACHADO K. S, FALCÃO F, MONNICH C, BESSA M. Inputs of Domestic and Industrial Sewage in Upper Iguassu, Brazil Identified by Emerging Compounds. **Water Air and Soil Pollution**, v. 215, p. 251-259, 2011b.
- GARDINALI, p. R.; ZHAO, X. Trace determination of caffeine in surface water samples by liquid chromatography-atmospheric pressure chemical ionization-mass spectrometry (LC-APCI-MS). **Environment International**, v. 28, p. 521-528, 2002.
- GLASSMEYER, S. T.; FURLONG, E. T.; KOLPIN, D. W.; CAHILL, J. D.; ZAUGG, S. D.; WERNER, S. L.; MEYER, M. T.; KRYAK, D. D. Transport of chemical and microbial compounds from known wastewater discharges: potential for use as indicators of human fecal contamination. **Journal of Environmental Science and Technology**, v. 39, p. 5157-5169, 2005.
- GOMES, p. C. F. L.; BARNES, B. B.; SANTOS-NETO, A. J.; LANCAS, F. M.; SNOW, N. H. Determination of steroids, caffeine and methylparaben in water using solid phase microextraction-comprehensive two dimensional gas chromatography-time of flight mass spectrometry. **Journal Chromatography A**, v. 1299, p. 126-130, 2013.
- GONÇALVES, E.S. **Uso da Cafeína como Indicador de Contaminação por Esgoto Doméstico em Águas Superficiais**. 2008. 90f. Dissertação (Mestrado em Química), Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2008.
- HEBERER, T.; REDDERSEN, K.; MECHLINSKI, A. From municipal sewage to drinking water: fate and removal of pharmaceutical residues in the aquatic environment in urban areas. **Water Science and Technology**, v. 46, p. 81-88, 2002.
- HECKMAN, M. A.; WEIL, J.; DEMEJIA, E. G. Caffeine (1, 3, 7-trimethylxanthine) in foods: A comprehensive review on consumption, functionality, safety, and regulatory matters. **Journal of Food Science**, v. 75, R77 – R87, 2010
- HOLMGREN, P.; NORDÉN-PETTERSSON, L.; AHLNER, J. Caffeine fatalities – four case reports. **Forensic Science International**, v. 139, p. 71 – 73, 2004.
- HUA, W. Y.; BENNETT, E. R.; MAIO, X. S.; METCALFE, C. D.; LETCHER, R. J. Seasonality effects on pharmaceuticals and s-triazine herbicides in wastewater effluent and surface water from the Canadian side of the upper Detroit River. **Environmental Toxicology Chemistry**, v. 25, p. 2356-2365, 2006.
- HUERTA-FONTELA, M.; GALCERAN, M. T.; VENTURA, F. Ultraperformance liquid chromatography-tandem mass spectrometry analysis of stimulatory drugs of abuse in wastewater and surface waters. **Analytical Chemistry**, v. 79, p. 3821-3829, 2007
- HUERTA-FONTELA, M.; GALCERAN, M. T.; VENTURA, F. Stimulatory drugs of abuse in surface waters and their removal in a conventional drinking water treatment plant. **Environmental Science and Technology**, v. 42, p. 6809-6816, 2008
- IBGE, *Pesquisa nacional de saneamento básico 2008*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 2010.

- KERRIGAN, S.; LINDSEY, T. Fatal caffeine overdose: two case reports. **Forensic Science International**, v. 153, p. 67-69, 2005.
- KIM, S.D.; CHO, J.; KIM, I.S.; VANDERFORD, B.J.; SNYDER, S.A. Occurrence and removal of pharmaceuticals and endocrine disruptors in South Korean surface, drinking, and waste waters. **Water Research**, v. 41, p. 1013-1021, 2007
- KOMORI, K.; SUZUKI, Y.; MINAMIYAMA, M. Occurrence of selected pharmaceuticals in river water in Japan and assessment of their environmental risk. **Environmental Monitoring Assessment**, v. 185, p. 4529-4536, 2013.
- KOSMA, C. I.; LAMBROPOULOU, D. A.; ALBANIS, T. A. Occurrence and removal of PPCPs in municipal and hospital wastewaters in Greece. **Journal of Hazardous Materials**, v. 179, p. 804-817, 2010.
- LACHENMEIER D. W.; WEGERT, K.; KUBALLA, T.; SCHNEIDER, R.; RUGE, W.; REUSCH, H.; ALEXU, U.; KERSTING, M.; WINKLER, G. Caffeine intake from beverages in German children, adolescents, and adults. **Journal of Caffeine Research**, v. 3, p. 47-53, 2013.
- LEUNG, H. W.; JIN, L.; WEI, S.; TSUI, M. M. P.; ZHOU, B.; JIAO, L.; CHEUNG, P. C.; CHUN, Y. K.; MURPHY, M. B.; LAM, P. K. S. Pharmaceuticals in tap water: Human health risk assessment and proposed monitoring framework in China. **Environmental Health Perspectives**, v. 121, p. 839-846, 2013.
- LOOS, R.; WOLLGAST, J.; HUBER, T.; HANKE, G. Polar herbicides, pharmaceutical products, perfluorooctanesulfonate (PFOS), perfluorooctanoate (PFOA), and nonylphenol and its carboxylates and ethoxylates in surface and tap waters around Lake Maggiore in Northern Italy. **Analytical Bioanalytical Chemistry**, v. 387, p. 1469-1478, 2007.
- LOOS, R.; LOCORO, G.; CONTINI, S. Occurrence of polar organic contaminants in the dissolved water phase of the Danube River and its major tributaries using SPE-LC-MS(2) analysis. **Water Research**, v. 44, p. 2325-2335, 2010
- MONTAGNER, C. C.; JARDIM, W. F. Spatial and seasonal variations of pharmaceuticals and endocrine disruptors in the Atibaia River, São Paulo State (Brazil). **Journal Brazilian Chemistry Society**, v. 22, p. 1452-1462, 2011.
- MONTAGNER, C. C.; UMBUZEIRO, G. A.; PASQUINI, C.; JARDIM, W. F. Caffeine as an indicator of estrogenic activity in source waters. **Environmental Science: Processes & Impact**, no prelo, 2014.
- MUSOLFF, A.; LESCHIK, S.; MÖDER, M.; STRAUCH, G.; REINSTORF, F.; SCHIRMER, M. Temporal and spatial patterns of micropollutants in urban receiving waters. **Environmental Pollution**, v. 157, p. 3069-3077, 2009.
- NAWROT, P.; JORDAN, S.; EASTWOOD, J.; ROTSTEIN, J.; HUGENHOLTZ, A.; FEELEY, M. Effects of caffeine on human health. **Food Addition Contamination**, v. 20, p. 1-30, 2003.
- OECD Screening Information DataSet (SIDS): Caffeine, 2003. Disponível em: <http://www.inchem.org/documents/sids/sids/CAFEINE.pdf>, acessado em novembro de 2013.
- OGUNSEITAN, O. A. Removal of caffeine in sewage by *Pseudomonas putida*: Implications for water pollution index, **World Journal Microbiology and Biotechnology**, v. 12, p. 251-256, 1996.
- PAXÉUS, N.; SCHRÖDER, H. F. Screening for non-regulated organic compounds in municipal wastewater in Göteborg, Sweden, **Water Science and Technology**, v. 33, p. 9-15, 1996.
- PEDROUZO, M.; REVERTÉ, S.; BORRULL, F.; POCURULL, E.; MARCÉ, R. M. Pharmaceutical determination in surface and wastewaters using high-performance liquid chromatography-(electrospray)-mass spectrometry. **Journal of Separation Science**, v. 30, p. 297-303, 2007.
- PIOCOS, E. A.; DE LA CRUZ, A. A. Solid phase extraction and high performance liquid chromatography with photodiode array detection of chemical indicators of human fecal contamination in water, **J. Liq. Chromatography Related Technology**, v. 23, p. 1281-1291, 2000.
- QUINN, B.; GAGNÉ, F.; BLAISE, C. An investigation into the acute and chronic toxicity of eleven pharmaceuticals (and their solvents) found in wastewater effluent on the cnidarian, *Hydra attenuata*. **Science of the Total Environment**, v.389, p. 306-314, 2008.
- QUINN, B.; GAGNÉ, F.; BLAISE, C. Evaluation of the acute, chronic and teratogenic effects of a mixture of eleven pharmaceuticals on the cnidarian, *Hydra attenuata*. **Science of the Total Environment**, v. 407, p. 1072-1079, 2009.
- RABIET, M.; TOGOLA, A.; BRISSAUD, F.; SEIDEL, J. L.; BUDZINSKI, H.; ELBAZ-POULICHET, F. Consequences of treated water recycling as regards pharmaceuticals and drugs in surface and ground waters of a medium-sized Mediterranean catchment. **Science of the Total Environment**, v. 40, p. 5282-5288, 2006.

- RAIMUNDO, C. C. M. **Contaminantes emergentes em água tratada e seus mananciais: ocorrência, sazonalidade e atividade estrogênica**, 2011, 204f. Tese (Doutorado em Ciências), Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.
- ROSSNER, A.; SNYDER, S. A.; KNAPPE, D. R. U. Removal of emerging contaminants of concern by alternative adsorbents. *Water Research*, v. 43, p. 3787-3796, 2009.
- SAKAMOTO, M. K.; MIMA, S.; KIHARA, T.; MATSUO, T.; YASUDA, Y.; TANIMURA, T. Developmental toxicity of caffeine in the larvae of *Xenopus laevis*. *Teratology*, v. 47, p. 189-201, 1993.
- SARTORI, A. G. O.; SILVA, M.V. Consumo de cafeína no Brasil. *Nutrire*, v. 38, Supl., 71-71, 2013.
- SEILER, R. L.; ZAUGG, S. D.; THOMAS, J. M.; HOWCROFT, D. L. Caffeine and pharmaceuticals as indicators of waste water contamination in wells. *Groundwater*, v. 37, p. 405-410, 1999.
- SIEGENER, R.; CHEN, R. F. Caffeine in Boston Harbor seawater. *Marine Pollution Bulletin*, v. 44, p. 383-387, 2002.
- SNYDER, S. A.; WERT, E. C.; REXING, D. J.; ZEGERS, R. E.; DRURY, D. D. Ozone Oxidation of Endocrine Disruptors and Pharmaceuticals in Surface Water and Wastewater. *Ozone Science Engineering*, v. 28, p. 445-460, 2006.
- SNYDER, S. A.; ADHAM, S.; REDDING, A. M.; CANNON, F. S.; DECAROLIS, J.; OPPENHEIMER, J.; WERT, E. C.; YOON, Y. Role of membranes and activated carbon in the removal of endocrine disruptors and pharmaceuticals. *Desalination*, v. 202, p. 156-181, 2007.
- SODRÉ, F. F.; MONTAGNER, C. C.; LOCATELLI, M. A. F.; JARDIM, W. F. Ocorrência de interferentes endócrinos e produtos farmacêuticos em águas superficiais da região de Campinas (SP, Brasil). *Journal of Brazilian Society Ecotoxicology*, v. 2, p. 187-196, 2007.
- SODRÉ, F. F.; LOCATELLI, M. A. F.; JARDIM, W. F. Occurrence of emerging contaminants in Brazilian drinking waters: a sewage-to-tap issue. *Water Air and Soil Pollution*, v. 206, p. 57-67, 2010.
- SRISUPHAN W.; BRACKEN M. B. Caffeine consumption during pregnancy and association with late spontaneous abortion. *American Journal Obstetrics and Gynecology*, v.154, p. 14-20, 1986.
- STACKELBERG, p. E.; GIBS, G.; FURLONG, E. T.; MEYER, M. T.; ZAUGG, S. D.; LIPPINCOTT, R. L. Efficiency of conventional drinking-water-treatment processes in removal of pharmaceuticals and other organic compounds. *Science of the Total Environment*, v. 377, p. 255-272, 2007.
- STANDLEY, L. J.; KAPLAN, L. A.; SMITH, D. Molecular Tracers of Organic Matter Sources to Surface Water Resources. *Environmental Science and Technology*, v. 34, p. 3124-3130, 2000.
- STRAUCH, G.; MÖDER, M.; WENNRICH, R.; OSENBRÜCK, K.; GLÄSER, H. R.; SCHLADITZ, T.; MÜLLER, C.; SCHIRMER, K.; REINSTORF, F.; SCHIRMER, M. Indicators for assessing anthropogenic impact on urban surface and groundwater. *Journal of Soils and Sediments*, v. 8, p. 23-33, 2008.
- SUI, Q.; HUANG, J.; DENG, S.; YU, G. Occurrence and removal of pharmaceuticals, caffeine and DEET in wastewater treatment plants of Beijing, China. *Water Research*, v. 44, p. 417-426, 2010.
- SWARTZ, C. H.; REDDY, S.; BENOTTI, M. J.; YIN, H.; BARBER, L. B.; BROWNAWELL, B. J.; RUDEL, R. A. Steroid estrogens, nonylphenol ethoxylate metabolites, and other wastewater contaminants in groundwater affected by a residential septic system on Cape Cod, MA. *Environmental Science and Technology*, v. 40, p. 4894-4902, 2006.
- TERNES, T. A.; MEISENHEIMER, M.; MCDOWELL, D.; BRAUCH, H. J.; BRIGITTE, H. G.; PREUSS, G.; WILLIAM, U.; ZULEI-SEIBERT, N. Removal of pharmaceuticals during drinking water treatment. *Environmental Science and Technology*, v. 36, p. 3855-3863, 2002.
- TOGOLA, A. E. BUDZINSKI, H. Multi-residue analysis of pharmaceutical compounds in aqueous samples. *Journal of Chromatography A*, v. 1177, p. 150-158, 2008.
- USEPA, Drinking water standards and health advisories EPA 822-S-12-001, Environmental Protection Agency, Washington, 2012.
- VALCÁRCEL, Y.; ALONSO, S. G.; RODRIGUEZ-GIL, J. L.; GIL, A.; CATALÁ, M. Detection of pharmaceutically active compounds in the rivers and tap water of the Madrid Region (Spain) and potential ecotoxicological risk. *Chemosphere*, v. 84, p. 1336-1348, 2011.
- VIGLINO, L.; ABOULFADL, K.; MAHVELAT, A.D.; PRÉVOST, M.; SAUVÉ, S. On-line solid phase extraction and liquid chromatography/tandem mass spectrometry to quantify pharmaceuticals, pesticides and some metabolites in wastewaters, drinking, and surface waters. *Journal of Environment Monitoring*, v. 10, p. 482-489, 2008.
- VYSTAVNA, Y.; HUNEAU, F.; GRYNENKO, V.; VERGELES, Y.; CELLE-JEANTON, H.; TAPIE, N.; BUDZINSKI, H.; LE COUSTOMER, p. Pharmaceuticals in rivers of two regions with contrasted socio-economic conditions: occurrence, accumulation, and comparison for Ukraine and France. *Water Air and Soil Pollution*, v. 223, p. 2111-2124, 2012.

- WANG, C.; SHI, H.; ADAMS, C. D.; GAMAGEDARA, S.; STAYTON, I.; TIMMONS, T.; MA, Y. Investigation of pharmaceuticals in Missouri natural and drinking water using high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry. **Water Research**, v. 45, p. 1818-1828, 2011.
- WEIGEL, S.; BERGER, U.; JENSEN, E.; KALLENBORN, R.; THORESEN, H.; HÜHNERFUSS, H. Determination of selected pharmaceuticals and caffeine in sewage and seawater from Tromsø/Norway with emphasis on ibuprofen and its metabolites. **Chemosphere**, v. 56, p. 583-592, 2004.
- WESTERHOFF, P.; YOON, Y.; SNYDER, S.; WERT, E. Fate of endocrine-disruptor, pharmaceutical, and personal care product chemicals during simulated drinking water treatment processes. **Environmental Science and Technology**, v. 39, p. 6649-6663, 2005.
- YEH, C. H.; LIAO, Y. F.; CHANG, C. Y.; TSAI, J. N.; WANG, Y. H.; CHENG, C. C.; WEN, C. C.; CHEN, Y. H. Caffeine treatment disturbs the angiogenesis of zebrafish embryos. **Drug Chemical Toxicology**, v. 35, p. 361-365, 2012.
- YING, G. G.; KOOKANA, R. S.; KOLPIN, D. W. Occurrence and removal of pharmaceutically active compounds in sewage treatment plants with different technologies. **Journal of Environment Monitoring**, v. 11, p. 1498-1505, 2009.
- ZHU, S.; CHEN, H.; LI, J. Sources, distribution and potential risks of pharmaceuticals and personal care products in Qingshan Lake basin, Eastern China. **Ecotoxicology Environmental Safety**, v. 96, p. 154-159, 2013.



02

A análise de cafeína nas amostras coletadas no Brasil

CRISTIANE VIDAL¹, MARIA C. CANELA², CAMILA R. O. NUNES², MARCO T. GRASSI³,
KELLY C. MACHADO³ E WILSON F. JARDIM¹

¹Laboratório de Química Ambiental, Universidade Estadual de Campinas

²Grupo de Pesquisa em Química Ambiental, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro

³Grupo de Química Ambiental, Universidade Federal do Paraná

Panorama nacional

Com o objetivo de realizar um estudo preliminar avaliatório da qualidade da água de abastecimento distribuída em inúmeras capitais brasileiras quanto à presença de cafeína, a rede de pesquisadores em Compostos Emergentes do INCTAA (Instituto Nacional de Ciências Tecnológicas de Analíticas Avançadas) dividiu-se para realizar coletas nas capitais selecionadas e no Distrito Federal. Foram realizadas duas campanhas, entre julho e setembro de 2011 e 2012. Na Figura 1, encontram-se as capitais amostradas na primeira (a) e segunda campanha (b), bem como as universidades responsáveis pela coleta, além do número de amostras coletadas em cada uma delas.

O número de pontos de coleta foi estabelecido de acordo com as diferentes estações de tratamento de água (ETA) da capital em questão, ou por região, quando a mesma era atendida por praticamente uma ETA, como é o caso da cidade do Rio de Janeiro. Além disso, o ponto crítico e fundamental dessa coleta foi estabelecer de qual ETA e manancial era proveniente a água coletada. Esses dados foram obtidos através das informações disponibilizadas nas páginas das concessionárias que atuam em cada capital brasileira, e, em alguns casos, as informações foram complementadas por outras fontes.

Os dados oficiais disponíveis no *Atlas Brasil de Abastecimento Urbano de Água*, da Agência Nacional de Águas (ANA, 2010), apesar de descreverem os sistemas e principais mananciais que abastecem cada região metropolitana, não fazem menção exata das ETA. Para algumas regiões, as ETA são citadas ou mostradas em mapa, porém não é possível estabelecer quais bairros ou regiões são abastecidos por qual ETA. Quanto às concessionárias, apesar de todas apresentarem algumas informações na rede, o nome da(s) ETA de uma determinada região e a rede interligada ao abastecimento nem sempre estão disponibilizados. Neste trabalho foi necessário reunir dados de várias fontes, como trabalhos científicos sobre abastecimento público das cidades, dados publicados na imprensa e pelo pessoal das concessionárias. Em algumas poucas capitais, a conta de água traz qual ETA abastece aquela área. Também se deve considerar que existem algumas capitais que possuem sistemas integrados, mesclando águas tratadas por diferentes ETA, o que demandou mais cuidado na escolha do ponto amostral.

Com este trabalho foi possível observar que as informações disponibilizadas para um cidadão comum não se encontram de modo acessível e claro. Em cidades que possuem várias ETA, torna-se impossível para o cidadão saber onde está sendo tratada a água que abastece a sua residência, e em alguns casos fica patente que a própria concessionária não possui essa informação.

Trabalho de coleta e no laboratório

ASPECTOS GERAIS DA ANÁLISE

Em matrizes ambientais, tais como águas superficiais e de abastecimento, a concentração dos contaminantes emergentes ocorre em nível de traços, ou seja, da ordem de picogramas (10^{-12} g) a miligramas (10^{-3} g) por litro de amostra. Essas concentrações são consideradas baixas e, por isso, requerem tanto tratamentos específicos para pré-concentrar as substâncias e viabilizar a análise quanto equipamentos sofisticados que sejam capazes de atingir esses níveis de concentração para a quantificação dos contaminantes.

O tratamento de amostra mais utilizado para análise de água na determinação de cafeína consiste em utilizar um material sorvente que tem a propriedade de extrair os contaminantes, transferindo-os da amostra para esse material, onde as substâncias ficam retidas. Esse procedimento é denominado de extração em fase sólida, amplamente conhecido por sua sigla SPE (do inglês, *solid phase extraction*), e suas principais etapas estão descritas na Figura 2 (Simpson, 2000).

Depois dessa etapa, a concentração dos contaminantes é determinada utilizando-se análise instrumental. As propriedades físico-químicas da cafeína e os baixos níveis de concentração fazem com que a cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas sequencial (LC-MS/MS) seja a técnica mais adequada, por atingir baixos limites de detecção com elevada seletividade (Snyder et al., 2010).

A cromatografia líquida é uma técnica em que as substâncias são separadas por um processo de transferência de massa entre uma fase móvel, composta por água e solventes orgânicos, e uma fase estacionária, composta por uma coluna

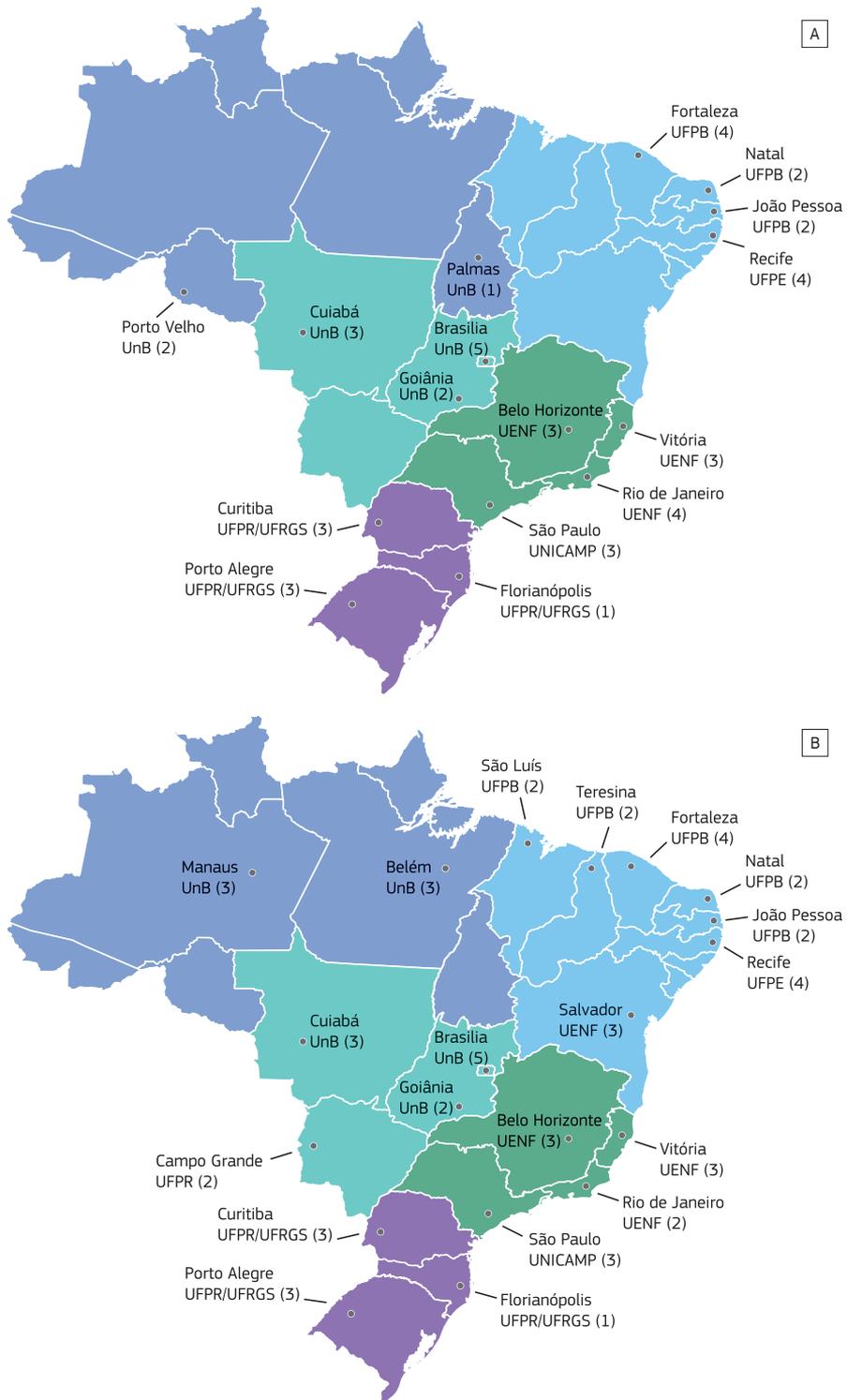


Figura 1: Identificação das capitais, o grupo responsável e o número de amostras coletadas: (a) 1ª campanha e (b) 2ª campanha

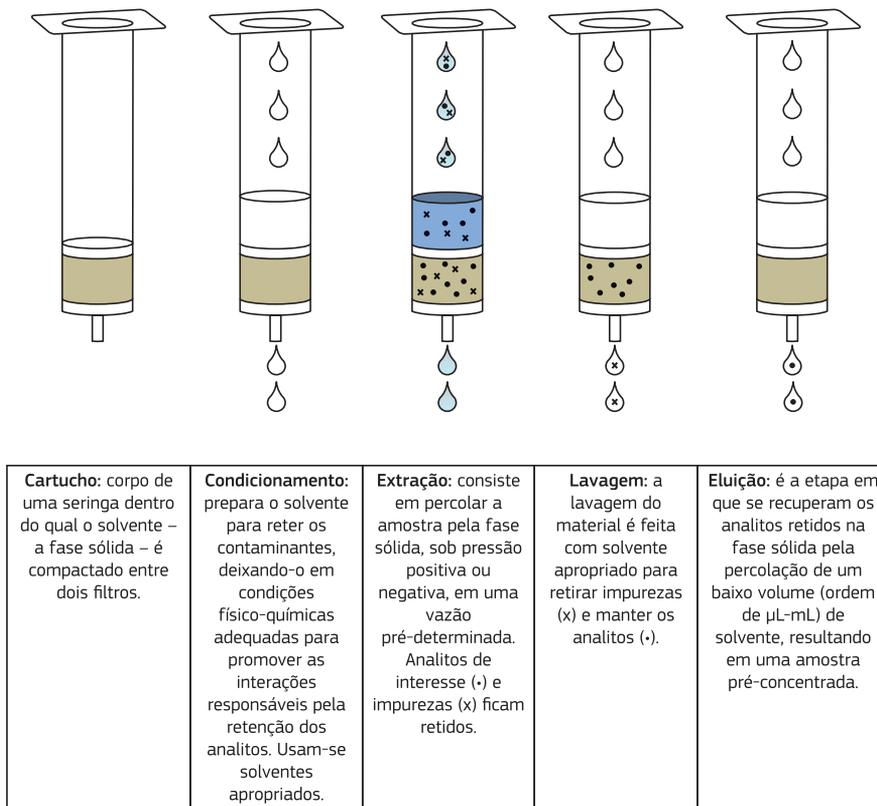


Figura 2: Principais etapas da extração em fase sólida (SPE)

contendo um material com afinidade com o analito. A espectrometria de massas é uma técnica bastante sensível, com identificação das substâncias baseada na razão entre a massa e a carga (m/z) de cada substância após ocorrer uma ionização e no padrão de fragmentação de cada molécula, que guarda sua identidade.

PADRONIZAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE COLETA E EXTRAÇÃO

Antes de iniciar a coleta, todos os grupos receberam um protocolo de coleta e pré-tratamento das amostras elaborado pelo Laboratório de Química Ambiental (LQA) da UNICAMP, para uniformização do procedimento até as amostras chegarem ao destino, onde elas seriam processadas. Abaixo, encontra-se um resumo dos principais itens cumpridos no protocolo de coleta e que foram cumpridos por todos os grupos:

1. Fez-se a limpeza do material de coleta com solução de detergente alcalino (Extran®) e água ultrapura, além de tratamento térmico a 400 °C para os materiais não volumétricos;
2. Foram tomados cuidados fundamentais para evitar contaminações, principalmente por materiais plásticos;
3. A coleta da água tratada foi feita no cavalete (hidrômetro), antes de ter contato com a caixa d'água. Quando não era possível a amostragem no cavalete, a água tratada era coletada em torneira que estivesse ligada diretamente ao cavalete (Figura 3a e b).
4. Após a circulação da água por alguns minutos, fez-se uma ambientação do frasco de vidro âmbar de coleta, com capacidade de 1 litro, e em seguida foram feitas coletas de 200 mL a cada 2 horas, realizando-se, assim, uma coleta

de amostra composta, com volume final de 1.000 mL. As alíquotas durante a coleta e ao final foram acondicionadas em ambiente refrigerado a 4 °C até o momento da extração.

Após a coleta, em cada ponto amostral iniciou-se o processo de preparo de amostras. Para determinar a concentração de cafeína nas águas de abastecimento das capitais, utilizou-se a SPE (cartucho Oasis® HLB 500 mg), em que as etapas de condicionamento (2 x 3 mL de metanol e 2 x 3 mL de água ultrapura) e extração foram realizadas em campo. A extração foi feita em até 24 horas após a coleta da amostra, portanto, muitas vezes na própria capital onde foi coletada (Figura 3c e d).

Depois da extração, os cartuchos ainda úmidos eram embalados, mantidos sob refrigeração e enviados ao laboratório (Laboratório de Química Ambiental, Instituto de Química, UNICAMP, Campinas-SP) para a sequência do preparo de amostra (Figura 4). Os estudos realizados para avaliar as perdas durante o envio e armazenamento dos cartuchos demonstraram a validade desse procedimento. A eluição da cafeína foi feita com 5 mL de metanol seguida de 2,5 mL de acetonitrila. Posteriormente,

o eluato foi seco com o auxílio de nitrogênio e a amostra seca foi redissolvida em uma solução água:metanol (70:30 v:v), contendo quantidade conhecida de cafeína marcada (deuterada). Essa pós-fortificação com cafeína deuterada foi empregada para verificar possíveis interferências na determinação do analito, causadas por outros compostos presentes na amostra. Essa interferência é conhecida como efeito de matriz, e para minimizar ou eliminar esse efeito foram utilizadas diferentes diluições da amostra, usando sempre a cafeína deuterada de concentração conhecida como controle. Finalmente, o volume final de cada amostra foi ajustado no frasco coletor (Figura 5a).

A análise instrumental foi conduzida utilizando o LC-MS/MS da Figura 5b, seguindo o método desenvolvido por Sodré et al., 2010. A quantificação por espectrometria de massas foi realizada através do monitoramento de reações múltiplas (MRM), que significa monitorar as transições de m/z de íons moleculares a íons filhos, que guardam a identidade da molécula. Para confirmar a presença de cafeína em uma amostra, as transições m/z 195,1 → 138,1; 195,1 → 110 e 195,1 → 69 foram monitoradas (cromatograma da Figura 5c).



Figura 3: Coleta de água de abastecimento em cavalete e aparato utilizado nas capitais para a extração

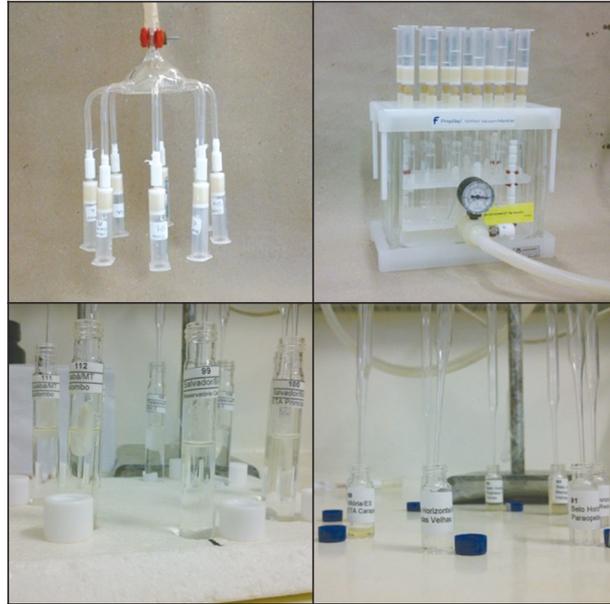


Figura 4: Etapas de preparo de amostra após recebimento dos cartuchos na Unicamp. Da esquerda para a direita: secagem do cartucho, eluição, secagem do eluato com N_2 e etapa final no frasco coletor antes da análise instrumental

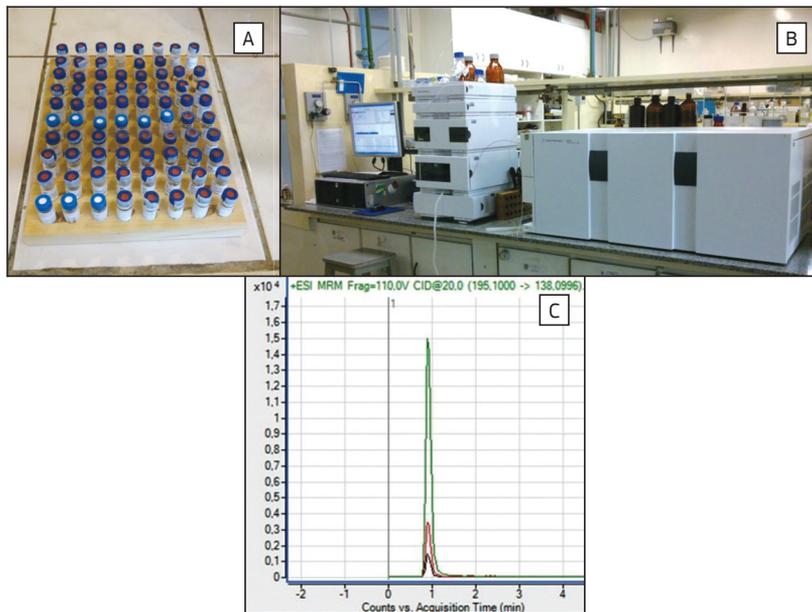


Figura 5: (a) Amostras prontas para a quantificação; (b) instrumento utilizado (LC-MS/MS); e (c) cromatograma típico da cafeína

O monitoramento das três transições, bem como o uso de cafeína deuterada, garantiu alta confiabilidade para inferir sobre a ocorrência desse composto nas águas de abastecimento.

Para avaliar os parâmetros de mérito do método analítico, realizou-se o procedimento experimental em triplicata usando amostra real fortificada com cafeína deuterada. A exatidão foi avaliada em termos de recuperação (razão entre a concentração obtida e a concentração teórica da fortificação da amostra), enquanto que a precisão foi avaliada em termos de desvio padrão relativo. A recuperação média da cafeína foi de 90%, sendo um valor considerado bom e aceitável (ANVISA, 2003), com desvio padrão relativo de 1%. Com relação à análise instrumental, a linearidade de todas as curvas analíticas utilizadas ao longo das análises foi de 0,99 e o limite de detecção foi de 1 ng L⁻¹.

Referências

- ANA – Agência Nacional de Águas- Atlas do Brasil – Abastecimento Urbano de água - 2010, <http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/Home.aspx>, acessado em novembro de 2013.
- ANVISA- Agência Nacional de vigilância Sanitária. Resolução 899 de 29 de maio de 2003. Guia para validação de métodos analíticos e bioanalíticos, 2003, 17f.
- SIMPSON, N. J. K. **Solid-phase extraction: principles, techniques, and applications**. New York, Marcel Dekker, 2000.
- SNYDER, L. R.; KIRKLAND, J. J.; DOLAN, J. W. **Introduction to modern liquid chromatography**. New York, John Wiley, 2010.
- SODRÉ, F. F.; PESCARA, I. C.; MONTAGNER, C. C.; JARDIM, W. F. Assessing selected estrogens and xenoestrogens in Brazilian surface waters by liquid chromatography-tandem mass spectrometry. **Microchemical Journal**, v. 96, p. 92-98, 2010.



03

O abastecimento de água em capitais da região Sul

MARCO T. GRASSI¹, KELLY C. MACHADO¹, ANDREIA N. FERNANDES²

¹Grupo de Química Ambiental, Departamento de Química, Universidade Federal do Paraná

²Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

A presença de cafeína nas águas de abastecimento nas três capitais da região Sul, Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre, foi avaliada neste trabalho. A seguir são apresentadas algumas características de cada capital ou região metropolitana.

Dados gerais das capitais da região Sul

Os dados demográficos de Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre estão apresentados na Tabela 1.

Curitiba, PR, está localizada na porção leste do estado e é a cidade polo de um conjunto de 26 municípios que compõem a Região Metropolitana de Curitiba (RMC). É também o município mais populoso do sul do país, com mais de 1,7 milhão de habitantes (IPPUC, 2007; IBGE, 2010a). O município de Curitiba está localizado a uma altitude média de 934 metros acima do nível do mar, no Primeiro Planalto Paranaense. Com clima tipicamente temperado (ou subtropical), a temperatura média anual na capital fica em torno de 16,5 °C. O clima é úmido e as chuvas, em geral, são bem distribuídas durante o ano. A leste de Curitiba está a Serra do Mar, uma das principais reservas florestais do Paraná, onde nascem afluentes da bacia hidrográfica do rio Iguaçu, que é a maior sub-bacia do rio Paraná, principal rio do estado (IPPUC, 2007). O rio Iguaçu, juntamente com suas sub-bacias e afluentes, como o rio Iraí e o rio Passaúna, formam um complexo hídrico que é responsável pelo abastecimento de água para a população de Curitiba e grande parte da RMC (Andreoli et al., 1999).

A capital do estado de Santa Catarina, Florianópolis, é uma das três ilhas capitais do Brasil. Está localizada no centro-leste do estado e seu território

é constituído por uma parte continental e por uma parte insular, sendo banhada pelo oceano Atlântico. Com uma população de aproximadamente 422 mil habitantes, o município se destaca como polo comercial e prestador de serviços, bem como centro político-administrativo do estado de Santa Catarina. Entretanto, é no setor turístico que Florianópolis mais tem se destacado nos últimos anos, transformando-se em importante polo turístico do Brasil e Mercosul (IBGE, 2010a; SMHSA, 2011). Florianópolis possui uma geografia resultante do contraste entre planícies litorâneas e elevações montanhosas, gerando paisagens naturais bastante diversificadas. O clima da capital catarinense é classificado como subtropical úmido, com verões quentes e invernos amenos, apresentando temperatura média anual em torno de 20 °C (SMHSA, 2011).

Porto Alegre, RS, é a capital mais meridional do Brasil e tem hoje uma população que já ultrapassa 1,4 milhão de habitantes (IBGE, 2010a). O centro urbano do município situa-se a aproximadamente 10 m acima do nível do mar, ocupando uma região de planície, sendo contornada ao longo de 70 km pelo lago Guaíba. Ao sul, Porto Alegre é circundada por morros que ocupam 65% de sua área territorial e contribuem para que a cidade conserve ainda 30% de seu território como área rural. O clima de Porto Alegre é classificado como subtropical úmido, tendo como característica marcante a grande variabilidade. A presença da grande massa de água do lago Guaíba contribui para elevar as taxas de umidade atmosférica e modificar as condições climáticas locais, com a formação de microclimas. O contínuo processo de ocupação da superfície do terreno por edificações e calçamento também gera microclimas específicos, observando-se até 4 °C de variação térmica nas diferentes regiões da cidade, que tem uma temperatura anual média de cerca de 20 °C (Penter et al., 2008).

Tabela 1: Dados demográficos das capitais e regiões metropolitanas da região Sul

Capital (UF)	População ¹ (milhões hab.)	Área ¹ (km ²)
Porto Alegre (RS)	3,9 (RMPOA)	10.234 (RMPOA)
	1,4 (capital)	497 (capital)
Florianópolis (SC)	1,0 (RMF)	7.114 (RMF)
	0,4 (capital)	675 (capital)
Curitiba (PR)	3,2 (RMC)	15.418 (RMC)
	1,8 (capital)	435 (capital)

¹IBGE, 2010a; IBGE, 2010b; RM – Região metropolitana.

Mananciais de abastecimento de água nas capitais da região Sul

CURITIBA

Curitiba ocupa a 12ª posição no *ranking* dos melhores centros urbanos em saneamento básico no Brasil, com praticamente 100% dos domicílios atendidos com água potável. Entretanto, apenas 51% da população da capital paranaense possui rede coletora de esgoto em seu domicílio. Quando são observados os demais municípios da Região Metropolitana de Curitiba, esse percentual cai para 41%. Essa é uma situação preocupante, pois, o despejo de efluentes sem tratamento adequado em corpos d'água compromete de forma grave a qualidade das águas destinadas ao abastecimento da população (Xavier, 2005; Mendes, 2011).

Os serviços de abastecimento de água e coleta de esgoto sanitário em Curitiba e RMC, bem como em 86% dos municípios do estado do Paraná, são realizados pela Companhia de Saneamento do Paraná, a SANEPAR (ANA, 2010). Atualmente, Curitiba e parte da RMC contam com um Sistema de Abastecimento de Água Integrado [*Sistema de Abastecimento de Água Integrado: abastece a mais de um município a partir do mesmo manancial*] (Iguaçu, Iraí, Passaúna e Miringuava),

que tem capacidade nominal de $9,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, além de sistemas de abastecimento isolados [*Sistema de Abastecimento Isolado: abastece apenas um município a partir de um mesmo manancial*] (mananciais superficiais e poços), que atendem alguns municípios da RMC (ANA, 2010). Nesse trabalho foram realizadas coletas em pontos abastecidos pelos sistemas Iguaçu/Iraí e Passaúna. Esses sistemas abastecem mais de 90% da população de Curitiba, além de cinco municípios da RMC. Na Tabela 2 é apresentado um resumo dos dados sobre os sistemas de abastecimento de água da capital paranaense e sua região metropolitana.

FLORIANÓPOLIS

Os serviços de abastecimento de água e de coleta e tratamento de esgoto em Florianópolis são de responsabilidade da Companhia Catarinense de Água e Saneamento (CASAN). O abastecimento é dividido em três grandes sistemas denominados Sistema de Abastecimento de Água da Costa Norte (SCN), Sistema de Abastecimento de Água da Costa Leste-Sul (SCLS) e Sistema Integrado de Abastecimento de Água da Grande Florianópolis (SIF) (CASAN, 2012).

O Sistema Costa Norte abastece os distritos de Canasvieiras, Rationes, Cachoeira do Bom Jesus,

Tabela 2: Sistemas de abastecimento de água de Curitiba e região metropolitana

Sistema ¹	Mananciais ¹	Municípios atendidos ¹	População atendida (%)
Iguaçu	Canal de Água Limpa (rios Iraí, Itaqui e Pequeno)	Curitiba; Almirante Tamandaré; São José dos Pinhais	38
Iraí	Represa do Iraí	Curitiba; Campina Grande do Sul; Colombo; Pinhais; Piraquara; Quatro Barras	35
Passaúna	Represa do Passaúna	Curitiba; Araucária; Campo Largo; Campo Magro	24
Miringuava	Rio Miringuava	Curitiba; Araucária; Fazenda Rio Grande; São José dos Pinhais	2
Sistemas isolados	Rio Captanduva, rio Despique Poços	Quantro Barras; Fazenda Rio Grande Almirante Tamandaré; Campina Grande do Sul; Campo Magro; Araucária; Colombo	5

¹ANA, 2010

Ingleses e São João do Rio Vermelho. Para isso, conta com uma estação de tratamento de água (ETA Costa Norte) com capacidade para 300 L s⁻¹. A captação é realizada no aquífero Ingleses/Rio Vermelho (vazão máxima de captação: 393 L s⁻¹) por meio de 19 poços artesianos localizados nas regiões do Sítio de Capivari, Distrito dos Ingleses e Distrito de São João do Rio Vermelho, todos ao norte da ilha. Como o norte da ilha de Florianópolis é uma região balneária, a vazão de captação dos poços é variável e sazonal. No inverno, a vazão média de captação é de 111 L s⁻¹, atendendo a aproximadamente 64 mil habitantes. Entretanto, a vazão de captação chega no verão a 300 L s⁻¹, para atender aproximadamente 130 mil pessoas (SMHSA, 2011).

O Sistema Costa Leste-Sul também conta com uma estação de tratamento de água, a ETA Lagoa do Peri, com capacidade de tratamento de 200 L s⁻¹ e que atende as seguintes localidades: Barra da Lagoa, Lagoa da Conceição, Campeche, Armação, Açores, Matadeiro e Ribeirão da Ilha. O principal manancial de captação desse sistema é a Lagoa do Peri (vazão máxima de captação de 200 L s⁻¹), mas na alta temporada também há captação de água do Aquífero Campeche (vazão extraída: 148 L s⁻¹). A população atendida pelo sistema SCLS é de aproximadamente 100 mil pessoas no inverno, podendo chegar a 115 mil pessoas no verão.

Os distritos administrativos de Sede Ilha, Sede Continente, Santo Antônio de Lisboa e parte norte do Ribeirão da Ilha são abastecidos pelo SIF, que capta água do rio Vargem do Braço, localizado no município de Santo Amaro da Imperatriz, e do rio Cubatão do Sul, que se situa nos municípios de Santo Amaro da Imperatriz e Águas Mornas, a cerca de 30 km da capital. Esse sistema está interligado à ETA José Pedro Horstmann, localizada no Morro dos Quadros, município de Palhoça. Nos meses de alta temporada, o SIF é usado como alternativa de reforço aos outros dois sistemas, o SCN e o SCLS. O SIF é responsável pelo abastecimento de parte de Florianópolis e também de alguns municípios da região metropolitana, como Santo Amaro da Imperatriz, Palhoça, São José e Biguaçu, atendendo diariamente, assim, cerca de 600 mil pessoas. Contudo, esse número pode ser maior nos meses de alta temporada (SMHSA, 2011; CASAN, 2012).

As coletas em Florianópolis foram realizadas em um ponto abastecido pelo sistema SIF, uma vez que esse sistema responde pelo abastecimento de 63% da população da capital catarinense, sendo também responsável por atender quatro municípios da região metropolitana.

Na Tabela 3 é apresentado um resumo dos sistemas de abastecimento de água de Florianópolis e região metropolitana.

Tabela 3: Sistemas de abastecimento de água de Florianópolis e região metropolitana

Sistema ¹	Mananciais ¹	Municípios atendidos ¹	População atendida (%)
SIF (Cubatão/Pilões)	Rio Cubatão do Sul e rio Vargem do Braço	Florianópolis; Biguaçu; Palhoça; Santo Amaro da Imperatriz; São José	63
Costa Leste-Sul (SCLS)	Lagoa do Peri e aquífero Campeche	Florianópolis	12
Costa Norte (SCN)	Aquífero Ingleses/ rio Vermelho	Florianópolis	24
Demais sistemas isolados	Aquíferos e mananciais de pequeno porte (rio Córrego Grande, rio Pau do Barro e córrego Ana D'Ávila)	Florianópolis	1

¹SMHSA, 2011; CASAN, 2012

PORTO ALEGRE

A captação, tratamento e distribuição de água, bem como a coleta e tratamento de esgoto sanitário na capital gaúcha é de responsabilidade do Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE). Segundo o DMAE, 100% da população porto-alegrense é abastecida com água tratada e quase 90% da população é atendida pelos serviços de coleta de esgoto. Quanto ao tratamento do esgoto, apenas 30% do que é coletado recebe tratamento (DMAE, 2012).

O abastecimento de água de Porto Alegre conta com seis sistemas e 111 subsistemas. Os seis sistemas são: Moinhos de Vento, São João, Menino Deus, Belém Novo, Tristeza e Ilha da Pintada, cada qual, então, dividido nos diversos subsistemas conforme as zonas de pressão a serem abastecidas. A captação de água é proveniente basicamente do lago Guaíba, com exceção apenas do Sistema Ilha da Pintada, que tem sua captação junto ao braço direito do Rio Jacuí (DMAE, 2013). Os demais municípios da Região Metropolitana de Porto Alegre contam com sistemas de abastecimento isolados e com mananciais próprios cujo gerenciamento é de responsabilidade de outras companhias de saneamento, como é o caso dos municípios de Canoas, Alvorada e Viamão, atendidos pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN). Levando em conta esses aspectos, foram realizadas coletas em pontos atendidos pelos sistemas Moinho de Vento, São João e Menino Deus, que abastecem apenas a cidade de Porto Alegre. Esses três sistemas juntos respondem

por cerca de 83% do atendimento da demanda por água de abastecimento público na capital do Rio Grande do Sul. Na Tabela 4 é apresentada uma síntese dos sistemas de abastecimento de água de Porto Alegre.

Abastecimento de água nas capitais da região Sul – ETA

CURITIBA

O Sistema de Abastecimento de Água Integrado de Curitiba (SAIC) opera quatro captações de água (canal Água Limpa, represa do Iraí, rio Miringuava e represa do Passaúna) e quatro estações de tratamento de água (Iguaçu, Iraí, Miringuava e Passaúna). As ETA Iguaçu e Iraí, juntas, fornecem água tratada para mais de 70% da população de Curitiba, seguidas pela ETA Passaúna, que atende 24% da população, e, por último, pela ETA Miringuava, que abastece cerca de 2% da população (Ana, 2010). A Tabela 5 apresenta um resumo dos dados das ETA que fazem parte do SAIC.

FLORIANÓPOLIS

O Sistema de Abastecimento de Florianópolis conta com três estações de tratamento de água (ETA). A Tabela 6 apresenta um resumo dos dados das ETA que fazem parte do Sistema de Abastecimento de Florianópolis.

Tabela 4: Sistemas de abastecimento de água de Porto Alegre

Sistema ¹	Mananciais ¹	Municípios atendidos ¹	População atendida (%)
Moinhos de Vento	Lago Guaíba	Porto Alegre	12
São João	Lago Guaíba	Porto Alegre	32
Menino Deus	Lago Guaíba	Porto Alegre	40
Belém Novo	Lago Guaíba	Porto Alegre	12
Ilha da Pintada	Lago Guaíba/Jacuí	Porto Alegre	< 1
Tristeza	Lago Guaíba	Porto Alegre	3
Sistemas isolados	Diversos mananciais	Municípios da Região Metropolitana de Porto Alegre	-*

¹DMAE, 2013; *não foi possível estimar a população atendida com os dados disponíveis

PORTO ALEGRE

O sistema de tratamento de água conta com seis estações de tratamento de água (ETA), são elas: Moinhos de Vento, São João, José Loureiro da Silva, Belém Novo, Francisco Lemos Pinto e Tristeza. AS ETA Moinhos de Vento, São João e José Loureiro da Silva, juntas, fornecem água tratada para 84% da população porto-alegrense, o que corresponde a aproximadamente 1,2 milhão de pessoas. Cada ETA está associada a um sistema

de abastecimento e cada sistema é dividido em diversos subsistemas, conforme as zonas de pressão a serem abastecidas. Atualmente, 111 subsistemas contribuem para o abastecimento de água de Porto Alegre, além de mais dois que são exportados para Viamão e Eldorado do Sul, municípios da Região Metropolitana de Porto Alegre (DMAE, 2013).

Na Tabela 7 são apresentados alguns dados das ETA que fazem parte do Sistema de Abastecimento de Porto Alegre.

Tabela5: Estações de tratamento de água do Sistema de Abastecimento de Água Integrado de Curitiba

Sistema ¹	Estação de tratamento de água (ETA) ¹	Capacidade da ETA ¹ (m ³ s ⁻¹)
Sistema Iguaçu (captação: canal Água Limpa)	ETA Iguaçu	3,2
Sistema Iraí (captação: represa do Iraí)	ETA Iraí	3,2
Sistema Passaúna (captação: represa do Passaúna)	ETA Passaúna	2,0
ETA Miringuava (captação: rio Miringuava)	ETA Miringuava	2,0

¹ANA, 2010

Tabela 6: Estações de tratamento de água de Florianópolis e região metropolitana

Sistema ¹	Estação de tratamento de água (ETA) ¹	Capacidade da ETA ¹ (m ³ s ⁻¹)
SIF	José Pedro Horstmann	2,0
SCLS	Lagoa do Peri	0,2
SCN	Costa Norte	0,3

¹SMHSA, 2011; CASAN, 2012; ANA, 2010.

Tabela7: Estações de tratamento de água da RMPOA

Sistema ¹	Estação de tratamento de água (ETA) ¹	Capacidade da ETA ¹ (m ³ s ⁻¹)
Moinhos de Vento	Moinhos de Vento	2,0
São João	São João	4,0
Menino Deus	José Loureiro da Silva	3,2
Belém Novo	Belém Novo	1,0
Ilha da Pintada	Francisco Lemos Pinto	0,1
Tristeza	Tristeza	0,4

¹DMAE, 2013

Referências

- ANA. Agência Nacional de Águas. **Atlas Brasil - Abastecimento Urbano de Água (Resultados por Estado)**, vol. 2, 2010a. Disponível em: <<http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/Download.aspx>>. Acessado em fevereiro de 2013.
- ANDREOLI, C. V.; DALARMI, O.; LARA, A. I.; ANDREOLI, F. Limites ao desenvolvimento da Região Metropolitana de Curitiba, impostos pela escassez de água. **Revista Técnica da Sanepar (SANARE)**, vol. 12, 1999.
- CASAN. Companhia Catarinense de Água e Saneamento. Disponível em: <<http://www.casan.com.br/>>. Acessado em março de 2012.
- DMAE. Departamento Municipal de Água e Esgoto, 2012. Disponível em: <<http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dmae/>>. Acessado em março de 2012.
- DMAE. Departamento Municipal de Água e Esgoto. **Plano Municipal de Saneamento Básico – Edição I, 2013**. Disponível em: <http://proweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dmae/usu_doc/modalidade_abastecimento_de_agua.pdf>. Acessado em março de 2014.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE Cidades 2010a**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acessado em março de 2012.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sinopse do Censo Demográfico 2010b**. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv49230.pdf>>. Acessado em fevereiro de 2013.
- IPPUC. Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba. **Plano Municipal de Regularização Fundiária em Áreas de Preservação Permanente, 2007**. Disponível em: <<http://www.ippuc.org.br/default.php>>. Acessado em fevereiro de 2013.
- MENDES, M. Saneamento básico, um crime social. **Revista do Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia do Paraná**. n. 67, p. 26-29, 2011.
- Penter, C.; Pedó, E.; Fabián, M.; Hartz, S. Inventário Rápido da Fauna de Mamíferos do Morro Santana, Porto Alegre, RS. **Revista Brasileira de Biociências**, v.6, n.1, p.119, 2008.
- SMHSA. Secretaria Municipal de Habitação e Saneamento Ambiental de Florianópolis. **Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico, 2011**. Disponível em: <<http://www.pmf.sc.gov.br/entidades/habitacao/?cms=plano+integrado+de+saneamento+basico>>. Acessado em fevereiro de 2013.
- XAVIER, C. F. **Avaliação da influência do uso e ocupação do solo e de características geomorfológicas sobre a qualidade das águas de dois reservatórios da Região Metropolitana de Curitiba - Paraná**. 2005. 167f Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo). Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.



04

O abastecimento de água em capitais da região Sudeste

IGOR C. PESCARA¹, CAMILA R.O.NUNES², MARIA C. CANELA², WILSON F. JARDIM¹

¹ Laboratório de Química Ambiental, Universidade Estadual de Campinas

² Grupo de Pesquisa em Química Ambiental, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro

A região Sudeste, por ser a mais populosa do país, teve todas as suas capitais avaliadas quanto à presença de cafeína na água tratada e também em alguns mananciais de água bruta. A seguir algumas características de cada capital ou área metropolitana de cada região.

Dados demográficos e econômicos das capitais da região Sudeste

As características gerais dessas capitais estão apresentadas na Tabela 1.

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) é composta por 39 municípios, a qual corresponde a aproximadamente 50% da população do estado de SP (IBGE 2012; 2010a). Dos municípios paulistas, quase todos possuem rede de água tratada e coleta de esgoto, no entanto 78,5% dos municípios trata o esgoto coletado (IBGE, 2010c). A economia da RMSP é baseada principalmente na prestação de serviços e na indústria e corresponde a mais da metade do PIB do estado de SP (IBGE, 2008), sendo que a capital detém R\$ 39.450,00/hab. (IBGE, 2010b) a preços correntes.

A RMRJ é composta por 19 municípios, sendo a segunda maior área metropolitana do Brasil, concentrando 70% da força econômica do estado, a qual está baseada na indústria (refinarias de petróleo, indústria naval, petroquímica, metalúrgicas etc.) e vem crescendo no setor de serviços e negócios. A cidade do Rio de Janeiro possui um PIB de R\$ 30.088,24/hab., tendo o sexto melhor PIB entre as capitais (IBGE, 2010b). O estado do Rio de Janeiro possui todos os

municípios atendidos com rede de água tratada e está acima da média nacional de coleta de esgoto (44,0%), apesar de possuir menos da metade dos domicílios atendidos (49,2%), sendo que 58,7% dos municípios tratam o esgoto coletado.

Grande Belo Horizonte, como é chamada a Região Metropolitana de Belo Horizonte, está em terceiro lugar em aglomeração urbana (Tabela 1), logo depois das RMRJ e RMSP. Sua economia está concentrada no comércio e serviços, principalmente na capital, e a região possui indústrias metalúrgica, automobilística, petroquímica e alimentícia, além da forte contribuição da indústria extrativista de mineral, que contribui para o PIB metropolitano, devido à presença do quadrilátero ferrífero. O PIB por habitante na cidade de Belo Horizonte é de R\$ 21.748,00 (IBGE, 2010b). O estado de Minas Gerais está entre os que possuem maior porcentagem de domicílios com rede coletora de esgoto (68,9%), porém, quanto à porcentagem de municípios com tratamento de esgoto, está abaixo da média nacional, com 22,7%.

A Região Metropolitana de Vitória é a menor da região Sudeste, com apenas sete municípios e com a menor densidade demográfica, apesar de concentrar mais da metade da população do estado do Espírito Santo. Sua economia está baseada na indústria e na atividade portuária (Rosseti Jr., Schimiguel, 2011), possuindo o maior PIB por habitante entre as capitais brasileiras (R\$ 76.721,66/hab.). O Espírito Santo é o único estado da região Sudeste que possui menos da média nacional de domicílios atendidos com rede coletora de esgoto (28,3%). Por outro lado, é o segundo em número de municípios do país (97,4%) atendidos por esse serviço, só ficando atrás de São Paulo.

Tabela 1: Dados gerais das capitais da região Sudeste

Capital (UF)	População ¹ (milhões hab.)	Área ² (km ²)
São Paulo (SP)	19,9 (RMSP)	8.051 (RMSP)
	11,2 (capital)	1.521 (capital)
Rio de Janeiro (RJ)	11,8 (RMRJ)	5.292 (RMRJ)
	6,3 (capital)	1.200 (capital)
Belo Horizonte (MG)	5,5 (RMBH)	9.468 (RMBH)
	2,4 (capital)	331,4 (capital)
Vitória (ES)	1,7 (RMV)	2.319 (RMV)
	0,33 (capital)	98,2 (capital)

¹IBGE, 2011; ²IBGE, 2013; RM – Região metropolitana

Esses dados mostram que apesar de quase todos os municípios do estado possuírem rede coletora, esta não chega nem a 30% dos domicílios. Desses municípios, 69,2% possui tratamento de esgoto, índice bastante acima da média nacional (28,5%) (IBGE, 2010c).

Mananciais de abastecimento de água nas capitais da região Sudeste

SÃO PAULO

A Região Metropolitana de São Paulo é abastecida por oito sistemas produtores de água (Cantareira, Guarapiranga, Alto Tietê, Rio Claro, Rio Grande, Alto Cotia, Baixo Cotia, Ribeirão da Estiva), cujos

mananciais e municípios atendidos se encontram resumidos na Tabela 2. Esse sistema integrado, chamado de Sistema Adutor Metropolitano (SAM), produz 67 mil litros de água por segundo (SABESP, 2013). Neste trabalho foram realizadas coletas em pontos abastecidos pelos sistemas Cantareira, Guarapiranga, Rio Claro e Baixo Cotia. Os três primeiros sistemas foram selecionados por atender um grande número de usuários, já o sistema Baixo Cotia foi contemplado devido ao histórico da baixa qualidade do manancial (SABESP, 2013; CETESB, 2011).

RIO DE JANEIRO

A Região Metropolitana do Rio de Janeiro possui três sistemas produtores de água integrados: Acari, Guandu e Ribeirão das Lajes e um sistema

Tabela 2: Sistemas de abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo

Sistema	Mananciais ¹	Municípios atendidos ^{1,2}	População atendida (milhões de hab.) ²
Cantareira	Represas Jaguari, Jacareí, Atibainha, Cachoeira e Paiva Castro	Barueri; Caieiras; Cajamar; Carapicuíba; Francisco Morato; Franco da Rocha; Guarulhos; Osasco; São Caetano do Sul; São Paulo (zonas norte, central e partes da zona leste e oeste)	8,1
Guarapiranga	Represa Guarapiranga e Billings e rio Capivari	Cotia; Embu; Itapeverica da Serra; Taboão da Serra; São Paulo (zonas sul e sudoeste)	3,8
Alto Tietê	Represas Paraitinga, Ponte Nova, Jundiá, Biritiba-Mirim e Taiaçupeba	Arujá; Ferraz de Vasconcelos; Itaquaquetuba; Guarulhos; Mauá; Mogi das Cruzes; Poá; Suzano; São Paulo (zona leste)	3,1
Rio Claro	Rio Claro – Represa Ribeirão do Campo	Mauá; Ribeirão Pires; Santo André; São Paulo (Sapopemba)	1,2
Rio Grande	Represa Billings – Braço do Rio Grande	Diadema; Santo André; São Bernardo do Campo	1,6
Alto Cotia	Represas Pedro Beicht e Cachoeira da Graça	Cotia; Embu; Embu-Guaçu; Itapeverica da Serra; Vargem Gran; Paulista	0,4
Baixo Cotia	Rio Cotia – Isolinas	Barueri; Itapevi; Jandira	0,5
Ribeirão da Estiva	Ribeirão da Estiva	Rio Grande da Serra	0,04
Sistemas Isolados	Mananciais superficiais / mistos	Biritiba-Mirim; Juquitiba; Mairiporã; Pirapora do Bom Jesus; Salesópolis; Santana do Parnaíba; São Lourenço da Serra	0,3
Total estimado			18,74

¹ANA, 2010; ²SABESP, 2013

produtor independente – Imunana/Laranjal (ANA, 2010). O sistema de Guandu é responsável pelo abastecimento da maior parte da população da RMRJ, compreendendo a capital e grande parte da Baixada Fluminense (Tabela 3). Além disso, esse sistema está sendo expandido através da transposição do rio Paraíba do Sul para atender as demandas futuras e ter maior flexibilidade de manutenção e operação, com a construção da ETA Novo Guandu (ANA, 2010). Outra preocupação é a qualidade da água coletada no rio Guandu, que é abastecido por rios poluídos como o Poços/Queimados e Cabuçu/Ipiranga, prevendo-se obras para os desvios desses rios do desague no rio Guandu e incentivo na instalação de estações de tratamento de esgoto em municípios a montante da captação.

As coletas no Rio de Janeiro foram feitas somente a partir do Sistema Guandu devido a sua abrangência. Para verificar a qualidade da água que vem de Guandu e é distribuída na cidade, fizeram-se quatro pontos em toda a cidade, sendo uma amostra coletada na zona oeste (Nova Iguaçu), zona sul (Urca), centro (Castelo) e zona Norte (Barra da Tijuca).

BELO HORIZONTE

Os principais sistemas de abastecimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) são compostos pelo sistema integrado Paraopeba e rio das Velhas (Tabela 4). As estações do sistema Paraopeba são responsáveis pela produção de 1,5 a 4,2 m³ s⁻¹ e são abastecidas pelos rios: Manso, Serra Azul e Vargem das Flores (ANA, 2010). O rio das Velhas é o principal manancial da cidade de Belo Horizonte com uma ETA com capacidade de 9 m³ s⁻¹ (ANA, 2010), abastecendo 43,6% da população da RMBH (COPASA, 2013). A própria RMBH é a principal responsável pela degradação da qualidade das águas do rio das Velhas devido ao alto adensamento demográfico. A bacia do rio das Velhas juntamente com a do rio Paraopeba recebe 30% da carga do esgoto urbano de toda a região hidrográfica do São Francisco, além de ser uma região com muita atividade industrial, de mineração e com atividade agropastoril (ANA, 2012). No entanto, dados sobre o Índice de Qualidade de Água (IAQ) de 2001 a 2010 mostram que a qualidade do rio das Velhas apresentou tendência de melhora, passando de “ruim” para “regular”, a qual foi atribuída à implantação de novas estações de tratamento de esgoto na RMBH

Tabela 3: Sistemas de abastecimento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro

Sistema	Mananciais	Municípios atendidos ¹	População atendida (milhões de hab.) ²
Acari	Nascentes das Serras da Bandeira, do Tinguá, do Macuco e do Couto	Belford Roxo; Duque de Caxias; Nova Iguaçu	Desativado ³
Guandu	Paraíba do Sul e Pirai (transposição) e Guandu	Belford Roxo; Duque de Caxias; Japeri; Mesquita; Nilópolis; Nova Iguaçu; Queimados; Rio de Janeiro; São João do Meriti	9,0
Imunana/Laranjal	Macacu e Guapiaçu	Itaboraí (apenas água bruta); Niterói; Rio de Janeiro (bairro da Ilha de Paqueta); São Gonçalo	1,5
Ribeirão das Lajes	Ribeirão das Lajes da Bacia do Rio Pirai	Itaguaí (fora da RMRJ); Japeri; Nova Iguaçu; Paracambi; Queimados; Rio de Janeiro; Seropédica	0,70
Sistemas isolados	Mananciais superficiais / mistos	Guapimirim; Magé; Tanguá	-
Total estimado			12,4

¹ANA, 2010; ²CEDAE, 2010; ³CNEC, 2004

(ANA, 2012). Os demais sistemas são menores e abastecem tanto a capital como algumas cidades menores da Região Metropolitana.

Para as coletas de água tratada em Belo Horizonte escolheram-se bairros que fossem abastecidos pelos sistemas Paraopeba, Rio das Velhas e Morro Redondo, representando assim os principais mananciais que abastecem essa capital (COPASA, 2013).

VITÓRIA

A Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV) é composta por dois sistemas integrados: Jucu e Santa Maria da Vitória (Tabela 5). As bacias do rio Jucu e rio Santa Maria da Vitória sofrem impactos na qualidade da água devido à presença de polos industriais e atividades pecuárias, suinocultura e suas indústrias de processamento, além da

Tabela 4: Sistemas de abastecimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte

Sistema	Principais mananciais ¹	Sedes urbanas atendidas ¹	População atendida (milhões de hab.) ²
Paraopeba	Rio Manso, Serra Azul, Vargem das Flores	Belo Horizonte; Betim; Contagem; Esmeraldas; Ibirité; Igaraté; Juatuba; Mário Campos; Mateus Leme; Pedro Leopoldo; Ribeirão das Neves; Santa Luzia; São Joaquim da Bicas; Sarzedo; Vespasiano	0,40 (Vargem das Flores); 0,80 (Serra Azul) 1,40 (Rio Manso)
Rio das Velhas	Rio das Velhas	Belo Horizonte; Nova Lima; Raposos; Sabará; Santa Luzia	2,40
Catarina	Córrego Catarina	Belo Horizonte; Brumadinho	0,04
Ibirité	Bálsamo, Rola Moça e Tabões	Belo Horizonte; Ibirité	0,14
Morro Redondo	Cercadinho, Fechos e Mutuca	Belo Horizonte; Nova Lima	0,28
Total estimado			5,46

¹ANA, 2010; ²COPASA, 2013

Tabela 5: Sistemas de abastecimento da Região Metropolitana de Vitória

Sistema	Principais mananciais ¹	Sedes urbanas atendidas ¹	População atendida (milhões de hab.) ²
Jucu (Caçaroca, Cobi e Vale Esperança)	Rio Jucu	Cariacica; Viana; Vila Velha; Vitória	1,02
Santa Maria (Caçaroca e Santa Maria)	Rio Santa Maria da Vitória	Cariacica; Fundão; Serra; Vitória	0,68
Guarapari	Rios Jaboti, Benevente e Conceição	Anchieta; Guarapari	0,20*
Sistemas isolados	Mananciais superficiais/ mistos poços	Cariacica; Fundão; Viana Guarapari; Serra; Vila Velha	0,08
Total estimado			1,80¹

¹ANA, 2010; ²CESAN, 2013; *população de habitantes e turistas durante o verão.

contaminação por esgoto, apresentando afluentes com IQA de ruim e péssimo (ANA, 2012).

Em Vitória, foram coletadas três amostras, sendo duas vindas do sistema do rio Jucu, porém de ETA diferentes, e outra do sistema do rio Santa Maria.

Estações de tratamento de água nas capitais da região Sudeste

SÃO PAULO

A Companhia de Saneamento Básico de São Paulo – SABESP é a empresa responsável pelas 28 estações de tratamento de água (ETA) que

abastecem a RMSP. A ETA Guaraú (Figura 1) é a estação responsável pela maior produção de água tratada da região, a qual lança mão do sistema Cantareira para produzir até $33 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. A Tabela 6 traz um resumo das informações sobre sete ETA que abastecem a RMSP, as quais empregam tratamento convencional completo, que seguem as etapas de pré-cloração, pré-alkalinização, coagulação, floculação, decantação, filtração, pós-alkalinização, desinfecção e fluoretação.

RIO DE JANEIRO

Na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, a CEDAE (Companhia Estadual de Água e Esgoto) é responsável pelo tratamento e distribuição da água tratada. A CEDAE possui sob sua responsabilidade

Tabela 6: Estações de tratamento de água do Sistema Adutor Metropolitano (SAM) da RMSP

Sistema	Estação de tratamento de água (ETA)	Capacidade da ETA ¹ ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)
Cantareira	ETA Guaraú	33
Guarapiranga	ETA Alto da Boa Vista	14
Alto Tietê	ETA Taiaçupeba	10
Rio Grande	ETA Rio Grande	5
Rio Claro	ETA Casa Grande	4
Alto Cotia	ETA Morro Grande	1,2
Baixo Cotia	ETA Baixo Cotia	0,9

¹Januário e Ferreira Filho, 2007



Figura 1: ETA Guaraú – Sistema Cantareira (Fonte: DAESCS, 2014)

a maior estação de tratamento de água do mundo em produção contínua, com capacidade para gerar $43 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e atender 9 milhões de habitantes. A ETA Guandu distribui água para grande parte da baixada fluminense e a cidade do Rio de Janeiro (Figura 2), estando localizada em Nova Iguaçu e sendo abastecida pela junção das águas do ribeirão das Lajes e dos rios Pirai e Paraíba do Sul.

A Tabela 7 traz as principais ETA em operação na RMRJ e a capacidade de cada uma. O tratamento está baseado no processo convencional de floculação, decantação, filtração, clarificação, desinfecção com cloro e finalmente a fluoretação.

BELO HORIZONTE

A companhia responsável pelo abastecimento da RMBH é a COPASA (Companhia de Saneamento de Minas Gerais), com um total de sete ETA, sendo que a principal é a de Rio das Velhas, responsável pela maior parte do abastecimento

da capital (63%), seguida pelo sistema da Bacia de Paraopeba (24%) (Tabela 8). As ETA realizam tratamento convencional, sendo que a ETA Catarina apenas realiza filtração e desinfecção com cloro e distribui água apenas para alguns bairros de cidades da RMBH.

VITÓRIA

A região metropolitana de Vitória é abastecida por pelo menos seis ETA, sendo a mais nova a de Guarapari, tendo a CESAN, Companhia Espírito Santense de Saneamento, como responsável pelo tratamento e distribuição da água (Tabela 9). O sistema Jucu possui três ETA, com capacidade total de $4,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, e o Santa Maria, duas ETA, com capacidade total de $2,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, sendo os principais sistemas que abastecem a capital e região. O tratamento dado à água é o convencional, seguindo as etapas de coagulação, flotação, filtração, desinfecção e fluoretação.



Figura 2: Estação de tratamento de água do Guandu – Sistema Guandu – Nova Iguaçu, RJ (CEDAE, 2010)

Tabela 7: Estações de tratamento de água da RMRJ

Sistema	Estação de tratamento de água (ETA)	Capacidade da ETA ¹ ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)
Guandu	ETA Guandu	43,0
Imunana/ Laranjal	ETA Laranjal	5,5
Ribeirão das Lajes	ETA Ribeirão das Lajes	5,5

¹CEDAE, 2010

Tabela 8: Estações de tratamento de água da RMBH

Sistema	Estação de tratamento de água (ETA)	Capacidade da ETA ¹ (m ³ s ⁻¹)
Paraopeba	ETA Vargem das Flores	1,50
	ETA Serra Azul	2,70
	ETA Rio Manso	4,12
Rio das Velhas	ETA Rio das Velhas	6,00
Morro Redondo	ETA Morro Redondo	0,75
Ibirité	ETA Ibirité	0,45
Catarina	ETA Catarina	0,18*

¹COPASA, 2013; *total da vazão de quatro adutoras

Tabela 9: Estações de tratamento da RMGV

Sistema	Estação de tratamento de água (ETA)	Capacidade da ETA ¹ (m ³ s ⁻¹)
Jucu (Caçaroca, Cobi e Vale Esperança)	ETA Vale Esperança (Elder Varejão)	3,30
	ETA Cobi	0,90
	ETA Caçaroca	0,39
Santa Maria (Caçaroca e Santa Maria)	ETA Carapina	1,40
	ETA Santa Maria	0,35
Guarapari	ETA Guarapari	0,60

¹Caus, 2012

Referências

- ANA. **Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil**, Agência Nacional de Águas, Brasília, ANA, 2012, 264 p.
- ANA. **Atlas Brasil: Abastecimento urbano de água**. Agência Nacional de Águas, 2010. Disponível em: <http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/Resultados.aspx>, acessado em novembro de 2013.
- CAUS, C. L. **Das fontes e chafarizes às águas limpas: evolução do saneamento no Espírito Santo**. Vitória, CESAN, 2012.
- CEDAE. **Qualidade da água Relatórios anuais de 2010**, Companhia Estadual de Água e Esgoto do Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: www.cedae.com.br, acessado em novembro de 2013.
- CESAN. **Companhia Espírito Santense de Saneamento**, 2013. Disponível em www.cesan.com.br, acessado em novembro de 2013.
- CETESB. **Relatório de Qualidade das Águas Superficiais do Estado de São Paulo**, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do estado de São Paulo, 2011. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/35-publicacoes/-relatorios>, acessado em novembro de 2013.
- CNEC. **Serviços de Revisão do Plano Diretor de Abastecimento de Água da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, relativamente aos municípios atendidos pelos Sistemas Guandu, Ribeirão das Lajes e Acari – RJ – revisão 0**. Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro – CEDAE, Rio de Janeiro – RJ, 2004.
- COPASA. **Companhia de Saneamento de Minas Gerais**, 2013. http://www.copasa.com.br/Producao_de_agua/PAGINA/sistemas/default.htm, acessado em novembro de 2013.
- DAESCS. **Departamento de água e esgoto de São Caetano do Sul**. Disponível em: http://www.daescs.sp.gov.br/index.asp?dados=ensina&ensi=eta_guarau, acessado em fevereiro de 2014.

- IBGE. **Censo IBGE 2010**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010a. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>, acessado em setembro de 2013.
- IBGE. **Produto interno dos municípios 2010**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010b. Disponível em: ftp://ftp.ibge.gov.br/Pib_Municipios/2010/pibmunic2010.pdf, p. 37, acessado em setembro de 2013.
- IBGE. **Pesquisa nacional de saneamento básico 2008**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 2010c.
- IBGE. **Sinopse do Censo Demográfico 2010**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2011. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/sinopse/sinopse_tab_rm_zip.shtm, acessado em setembro de 2013.
- IBGE. **Área territorial oficial**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2013. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/areaterritorial/area.shtm>. Acessado em dezembro de 2013.
- JANUÁRIO, G. F.; FERREIRA FILHO, S. S. Planejamento e Aspectos ambientais envolvidos na disposição final de lodos das estações de tratamento de água da região metropolitana de São Paulo. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 12, p. 117-126, 2007.
- ROSETTI JR., H; SCHIMIGUEL J. A economia da região metropolitana da Grande Vitória - ES e os cursos superiores de tecnologia, *Observatório de la Economía Latinoamericana*, no. 157, 2011. Texto completo disponível em: <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/br/>, acessado em setembro de 2013.
- SABESP. **Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo**. 2013 <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoid=36>, acessado em setembro de 2013.



05

O abastecimento de água em capitais da região Centro-Oeste

FERNANDO F. SODRÉ¹, FERNANDA V. DE ALMEIDA¹, JOYCE S. SANTANA¹,
MARCO T. GRASSI² E KELLY C. MACHADO²

¹Grupo de Automação, Quimiometria e Química Ambiental, Universidade de Brasília

²Grupo de Química Ambiental, Universidade Federal do Paraná

A região Centro-Oeste é a segunda maior região do Brasil, ocupando uma área de mais de 1,6 milhão de quilômetros quadrados do território nacional. É dividida em três estados (Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás), além do Distrito Federal, local onde fica a capital do país, Brasília. Apesar da grande área, é a região menos populosa do Brasil, caracterizando-se pela presença de algumas concentrações urbanas, notadamente nas capitais das unidades federativas, assim como grandes vazios populacionais.

Dados demográficos e econômicos das capitais da região Centro-Oeste

As características gerais das capitais das unidades federativas do Centro-Oeste estão apresentadas na Tabela 1.

Brasília foi inaugurada em 1960 e planejada para abrigar cerca de 500 mil habitantes. Entretanto, o crescimento demográfico na região foi mais rápido que o previsto e a capital alcançou essa população em um período de apenas dez anos. Atualmente, Brasília possui uma população de 2,6 milhões de habitantes (IBGE, 2011), situando-se bem acima do planejado e colocando-se como a capital mais populosa da região Centro-Oeste. Localiza-se no Planalto Central do país, a uma altitude entre 1.000 e 1.200 metros acima do nível do mar. Sob um relevo predominantemente plano, sua cobertura vegetal é dominada pelo cerrado. Possui clima caracterizado por verões úmidos e invernos secos e moderadamente frios.

Goiânia é a capital do estado de Goiás e possui a maior densidade demográfica dentre os estados da região. Localiza-se no centro do estado, ocupando uma área de 733 km², que corresponde a 0,22% da área territorial do estado (IBGE, 2011). Com uma população de 1,3 milhão de habitantes, é a segunda capital mais populosa da região, ficando atrás somente de Brasília. Goiânia também se situa no Planalto Central a uma altitude entre 150 e 850 metros, possuindo clima e vegetação similares aos encontrados em Brasília.

A capital do estado do Mato Grosso é Cuiabá. Possui a menor população dentre os estados do Centro-Oeste, com cerca de 550 mil habitantes. Entretanto, forma uma conurbação com o município vizinho, Várzea Grande, atingindo uma população total de mais de 800 mil habitantes. Localiza-se no centro-sul do estado e no centro geodésico da América do Sul. Embora se apresente sob clima subtropical, Cuiabá é conhecida por apresentar picos de extremo calor. A cidade localiza-se no cerrado, embora esteja cercada por outros dois importantes biomas brasileiros, a Amazônia e o Pantanal.

Campo Grande está localizada no centro geográfico do estado do Mato Grosso do Sul, ocupando uma área de cerca de 8 mil km², que corresponde a 2,26% da área territorial do estado. Com uma população de aproximadamente 800 mil habitantes, é a terceira capital mais populosa da região Centro-Oeste (IBGE, 2011). Situada numa região de planalto, a altitude em Campo Grande varia de 500 a 675 metros. A temperatura média fica em torno de 22 °C e predomina o clima tropical. Os verões são quentes e úmidos, com períodos chuvosos que se estendem de outubro a março, e

Tabela 1: Dados gerais das capitais estudadas da região Centro-Oeste

Capital (UF)	População ¹ (milhões hab.)	Área ¹ (km ²)
Brasília (DF)	3,7 (RIDEF)	55.350 (RIDEF)
	2,6 (capital)	5.780 (capital)
Goiânia (GO)	2,2 (RMGO)	7.397 (RMGO)
	1,3 (capital)	733 (capital)
Cuiabá (MT)	0,8 (RMVRC)	21.928 (RMVRC)
	0,55 (capital)	3.495 (capital)
Campo Grande (MS)	0,8 (capital)	8.093 (capital)

¹IBGE, 2011; RM – Região metropolitana; RMVC – Região Metropolitana do Vale do Rio Cuiabá; RIDEF – Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno

os invernos são mais secos e com temperaturas amenas (os períodos de seca vão de abril a setembro) (Águas Guararioba, 2008).

Mananciais de abastecimento de água nas capitais da região Centro-Oeste

BRASÍLIA

Três das mais importantes bacias hidrográficas do Brasil possuem nascentes inseridas no Distrito Federal. O rio Descoberto, um dos principais mananciais utilizados para produção de água para consumo humano, desagua na bacia do Paraná. Os corpos de água do Preto e do Maranhão desaguam nas bacias do São Francisco e do Tocantins/ Araguaia, respectivamente.

O fornecimento de água à população do Distrito Federal é realizado pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal, a CAESB, que conta, atualmente, com cinco sistemas produtores (Descoberto, Torto/Santa Maria, Sobradinho/Planaltina, São Sebastião e Brazlândia), representando uma disponibilidade hídrica de até

11.700 L s⁻¹ (CAESB, 2013). O sistema integrado do rio Descoberto é responsável por atender cerca de 60% da população do Distrito Federal, ou seja, mais de 1,5 milhão de habitantes. Grande parte de Brasília, entretanto, é abastecida pelo sistema integrado do Torto/Santa Maria. A Tabela 2 traz um resumo das informações pertinentes aos sistemas de abastecimento de água do Distrito Federal. Neste trabalho, cinco pontos amostrais foram utilizados de forma a cobrir diferentes sistemas de abastecimento. Três amostras foram obtidas em pontos abastecidos pelo sistema Descoberto e duas em locais atendidos pelo sistema Torto/Santa Maria. Convém mencionar, entretanto, que os sistemas de produção de água no Distrito Federal são integrados, o que pode resultar na mistura de águas provenientes de diferentes sistemas produtores.

GOIÂNIA

A região metropolitana de Goiânia está dividida em dois grandes sistemas de abastecimento de água, o sistema João Leite e o sistema Meia Ponte, com seus respectivos mananciais. Os dois sistemas têm proporções e capacidades equivalentes, fornecendo água para cerca de 99% da população de Goiânia. A responsabilidade pelo abastecimento de água potável, bem como a coleta e tratamento

Tabela 2: Sistemas de abastecimento de água da Região integrada de desenvolvimento do Distrito Federal (RIDEF).

Sistema	Mananciais ¹	Regiões administrativas atendidas ¹	População atendida (%)
Rio Descoberto (integrado)	Barragem do rio Descoberto	Gama; Taguatinga; Núcleo Bandeirante; Ceilândia; Guará; Samambaia; Santa Maria; Rec. das Emas; Riacho Fundo e Candangolândia	60
Torto/Santa Maria (integrado)	Barragem Santa Maria, ribeirão do Torto, córrego Cabeça do Veado, Cachoeirinha, Taquari e poços	Brasília; Paranoá; Cruzeiro; Lago Sul e Lago Norte	28
Sobradinho/Planaltina	Brejinho, Contagem, Corguinho, Fumal, Mestre D'Armas, Paranoazinho, Pipiripau, Quinze e poços	Planaltina; Sobradinho	9
São Sebastião	Poços	São Sebastião	3
Brazlândia	Poços	Brazlândia	1

¹ANA, 2010; CAESB, 2008

de esgoto, é da concessionária Saneamento de Goiás S.A. (SANEAGO), empresa de economia mista fundada em 1967 (SANEAGO, 2013).

O sistema mais antigo é o João Leite, em operação desde 1953, quando inaugurou a Estação de Tratamento de Água Jaime Câmara (ETAG). Ele abastece parte da região nordeste, parte da região central e toda a região sudeste de Goiânia. A região norte do município de Aparecida de Goiânia também é contemplada (Melo; Soares, 2013).

O sistema Meia Ponte é mais recente, tendo entrado em operação em 1988, com a inauguração da Estação de Tratamento de Água Eng. Rodolfo José da Costa e Silva. Ele abastece a região noroeste de Goiânia e parte das regiões nordeste, centro e sudoeste. Alguns bairros do município de Aparecida de Goiânia também são contemplados (Melo; Soares, 2013).

Os pontos amostrais em Goiânia foram selecionados com o objetivo de contemplar as duas ETA em operação. Portanto, o primeiro ponto localiza-se na região abastecida pela ETA Jaime Câmara e o segundo na região abastecida pela ETA Eng. Rodolfo José da Costa e Silva.

Na Tabela 3 é apresentado um resumo dos dados sobre os atuais sistemas de abastecimento de água da capital Goiânia.

Atualmente, o sistema João Leite, também denominado sistema produtor Mauro Borges Teixeira, está sofrendo importante alteração, principalmente com as obras da barragem de regularização instalada no ribeirão João Leite. A perspectiva é que esse sistema abasteça no futuro cerca de 70% da cidade de Goiânia, liberando o sistema Meia Ponte para abastecer outros municípios.

CUIABÁ

O rio Cuiabá é o principal manancial de água bruta da capital mato-grossense, responsável pelo abastecimento de cerca de 90% da população. Os demais habitantes são atendidos com águas provenientes do rio Coxipó, que nasce na Chapada dos Guimarães, drena parte da área urbana da capital e deságua no rio Cuiabá, próximo à região de São Gonçalo Beira Rio.

Até 2012, a produção de água para consumo humano em Cuiabá era responsabilidade da Companhia de Saneamento da Capital (SANECAP). Atualmente, a Companhia de Águas do Brasil (CAB) é a concessionária dos serviços de água e esgoto de Cuiabá, mediante um contrato de concessão de 30 anos (CAB Cuiabá, 2013).

O Atlas de abastecimento urbano de água elaborado pela ANA (ANA, 2010) traz informações que divergem ligeiramente daquelas disponibilizadas por outras fontes (Cuiabá, 2011; CAB Cuiabá, 2013). Uma análise mais detalhada das informações mostra que, embora os dados do Atlas sejam mais objetivos, os mesmos parecem não ser fidedignos. Há, por exemplo, dados repetidos e evidentemente equivocados relacionados ao número de habitantes, aos sistemas de tratamento e aos croquis dos sistemas existentes. A Tabela 4 traz um resumo das informações pertinentes aos principais mananciais de Cuiabá.

Os pontos amostrais nessa capital foram selecionados de forma a cobrir não apenas regiões mais populosas, mas também regiões à jusante da área mais densamente urbanizada. Em função do elevado número de ETA, optou-se por realizar amostragem de águas em três localidades distintas, embora o número de habitantes indicasse, a princípio, a necessidade de estabelecer apenas dois pontos amostrais. Duas

Tabela 3: Sistemas de abastecimento de água da região metropolitana de Goiânia

Sistema	Mananciais ¹	Municípios atendidos ¹	População atendida (%)
Meia Ponte	Rio Meia Ponte	Aparecida de Goiânia; Goiânia; Trindade	52
João Leite	Ribeirão João Leite	Aparecida de Goiânia; Goiânia; Trindade	48
Poços Goiânia	Poços Goiânia	Goiânia	< 1
ETA Samambaia	Ribeirão Samambaia	Goiânia	< 1

¹ANA, 2010

amostras foram coletadas em pontos interligados ao sistema principal enquanto que uma terceira amostra foi coletada em região abastecida pelo sistema CoopHEMA/São Gonçalo, à jusante da região mais urbanizada.

CAMPO GRANDE

A capital sul mato-grossense situa-se na divisa entre as bacias do rio Paraná e rio Paraguai, mas é na área de contribuição da bacia do rio Paraná que está praticamente toda a zona urbana do município. Campo Grande está também sobre a maior reserva subterrânea de água doce do mundo, o aquífero Guarani, e por essas peculiaridades a região tem uma situação privilegiada no que diz respeito às águas subterrâneas. Por outro lado, o município não possui nenhum grande manancial superficial, apenas córregos e rios de pequeno porte, o que faz com que o abastecimento de água para a população da capital seja proveniente tanto de águas superficiais quanto subterrâneas (Águas Guariroba, 2013).

Em Campo Grande, a responsabilidade pelo abastecimento de água, bem como a coleta e tratamento de esgoto, é da concessionária

Águas Guariroba. O sistema de abastecimento conta com dois tipos de fonte de captação: superficial e subterrânea. A captação superficial é feita nos córregos Guariroba e Lajeado. Esses dois mananciais fornecem água para 67% da população, sendo o Guariroba o principal deles, contribuindo com 50% do total. Já a captação subterrânea conta com cerca de 105 poços que atendem 33% da população (Águas Guariroba, 2013). Na Tabela 5 é apresentado um resumo dos dados sobre os sistemas de abastecimento de água da capital Campo Grande.

Estações de tratamento de água das capitais da região Centro-Oeste

BRASÍLIA

A CAESB conta com diferentes unidades voltadas ao tratamento de água. São nove ETA, além de várias unidades de cloração de poços e de tratamento simplificado. Grande parte das ETA opera sob tratamento convencional, compreendendo etapas

Tabela 4: Sistemas de abastecimento de água do município de Cuiabá

Sistema	Mananciais ¹	Municípios atendidos ¹	População atendida (%) ¹
Principal – Lipa	Rio Cuiabá	Cuiabá	47
Porto	Rio Cuiabá	Cuiabá	7
Lipa/Marcelo Oliveira	Rio Cuiabá	Cuiabá	7
CoopHEMA/ São Gonçalo	Rio Cuiabá	Cuiabá	3
Parque Cuiabá	Rio Cuiabá	Cuiabá	2
Tijucal	Rio Coxipó	Cuiabá	34
Interior – área rural	Rios Aguaçu, Sucuri e Coxipó	Cuiabá	-

¹Cuiabá, 2011

Tabela 5: Sistemas de abastecimento de água do município de Campo Grande

Sistema	Mananciais	Municípios atendidos ¹	População atendida (%) ²
Lajeado	Córrego Lajeado	Campo Grande	17
Guariroba	Córrego Guariroba	Campo Grande	50
Poços	Aquíferos Serra Geral, Caiuá e Guarani	Campo Grande	33

¹ANA, 2010; ²Águas Guariroba, 2013

de coagulação, floculação, decantação e filtração. A desinfecção é comumente realizada com cloro gasoso. As ETA rio Descoberto, Lago Sul e Brasília baseiam-se em sistemas de tratamento com filtração direta, sendo que a última ainda contempla etapas de flotação. A Tabela 6 apresenta um resumo dos dados das ETA que fazem parte do sistema de abastecimento do Distrito Federal.

GOIÂNIA

O sistema de abastecimento de águas de Goiânia atinge 92% da cidade. Goiânia tem três ETA em funcionamento, sendo que apenas duas respondem por quase 100% do tratamento de águas da cidade (Tabela 7). A ETA Jaime Câmara é a mais antiga e muitas vezes denominada ETAG – ETA Goiânia. Está em funcionamento desde a década de 1950 e trata água para os bairros mais antigos da cidade. A ETA Eng. Rodolfo José da Costa e Silva faz parte do sistema Meia Ponte e foi inaugurada na década de 1980. As duas maiores ETA operam utilizando tratamento convencional, compreendendo etapas de coagulação, floculação, decantação e filtração. A desinfecção é realizada com cloro gasoso.

CUIABÁ

A CAB Cuiabá dispõe de diversas ETA, tanto em áreas urbanas quanto na zona rural, além da captação de água por poços (Tabela 8). Vários pontos de captação localizam-se no rio Cuiabá, principal manancial de água bruta da capital. A porção nordeste de Cuiabá, menos densamente povoada, é abastecida pelo rio Coxipó.

CAMPO GRANDE

O sistema de abastecimento de água de Campo Grande conta com duas estações de tratamento de água, a ETA Guariroba e a ETA Lajeado, responsáveis por tratar toda a água fornecida à população, quer seja de captação superficial ou a de captação subterrânea (Tabela 9). O tratamento da água nas ETA passa pelas etapas iniciais de coagulação, floculação, decantação e filtração, seguidas pela cloração, fluoretação e correção da acidez. A Tabela 9 apresenta um resumo dos dados das ETA que fazem parte do sistema de abastecimento de Campo Grande.

Tabela 6: Estações de tratamento de água da RIDEDF

Sistema	Estações de tratamento de água (ETA)	Capacidade da ETA ¹ (m ³ s ⁻¹)
Brazlândia	ETA Brazlândia	0,1
Rio Descoberto	ETA Rio Descoberto	4,4
	ETA Engenho das Lajes	0,003
Torto/Santa Maria	ETA Brasília	1,8
	ETA Lago Sul	0,09
	ETA Paranoá	0,03
Sobradinho/Planaltina	ETA Pipiripau	0,3
	ETA Planaltina	0,03
	ETA Vale do Amanhecer	0,03

¹CAESB, 2013

Tabela 7: Estações de tratamento da RMG

Sistema	Estações de tratamento de água (ETA)	Capacidade da ETA ¹ (m ³ s ⁻¹)
João Leite	Jaime Câmara	1,8
Meia Ponte	Eng. Rodolfo José da Costa e Silva	2,25

¹ Goiás, 2013

Tabela 8: Estações de tratamento de água em Cuiabá

Sistema	Estações de tratamento de água (ETA)	Capacidade da ETA ¹ (m ³ s ⁻¹)
Principal – Lipa	ETA II	1,2
	ETA I	0,12
Porto	ETA Wilson Padilha	0,2
Lipa/Marcelo Oliveira	ETA Ribeirão do Lipa	0,1
Coophema/São Gonçalo	ETA Coophema	0,1
Parque Cuiabá	ETA 1	0,02
	ETA 2	0,02
Tijucal	ETA 1	0,3
	ETA 2	0,2
Interior – área rural	ETA N. Sra. da Guia	-
	ETA Sucuri	
	ETA Coxipó do Ouro	
	ETA Aguaçu	

¹Cuiabá, 2011

Tabela 9: Estações de tratamento de água em Campo Grande

Sistema	Estações de tratamento de água (ETA)	Capacidade da ETA ¹ (m ³ s ⁻¹)
Lajeado	ETA Lajeado	0,4
Guariroba	ETA Guariroba	1,4
Poços	ETA Guariroba	1,4

¹Águas Guariroba, 2013

Referências

ÁGUAS GUARIROBA. **Abastecimento de Água**. Águas Guariroba. 2013. Disponível em: <<http://www.aguasguariroba.com.br/agua>>. Acessado em fevereiro de 2014.

ANA. **Atlas Brasil: Abastecimento Urbano de Água – Resultados por Estado**. Agência Nacional de Águas. 2010. Disponível em: <http://atlas.ana.gov.br/Atlas/downloads/atlas/Resumo%20Executivo/Atlas%20Brasil%20-%20Volume%20%20-%20Resultados%20por%20Estado.pdf>>. Acessado em fevereiro de 2014.

CAB CUIABÁ. **Quem Somos**. Companhia de Águas do Brasil. 2013. Disponível em: <<http://www.cabcuiaba.com.br/Institucional.aspx>>. Acessado em fevereiro de 2014.

CAESB. **Sinopse do sistema de abastecimento de água do Distrito Federal**. Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. 2008. Disponível em: <<http://triton01.caesb.df.gov.br/conteudo/siagua/SIAGUA2008.PDF>>. Acessado em abril de 2013.

CAESB. **Sistemas de Abastecimento**. Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. 2013. Disponível em: <<http://www.caesb.df.gov.br/2-portal/agua.html>>. Acessado fevereiro de 2014.

CUIABÁ. **Plano municipal de saneamento básico: abastecimento de água e esgotamento sanitário**. Prefeitura Municipal de Cuiabá. 2011. Disponível em : http://www.cuiaba.mt.gov.br/upload/arquivo/plano_municipal_de_saneamento_vale.pdf, Acessado em dezembro de 2013.

- GOIÁS. **Obras do Sistema João Leite entram na reta final**. Governo de Goiás, Secretaria de Estado da Casa Civil. 2013. Disponível em: <<http://www.casacivil.go.gov.br/post/ver/166601/obras-do-sistema-joao-leite-entram-na-reta-final>>. Acessado em dezembro de 2013.
- IBGE. **Sinopse do Censo Demográfico 2010**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2011. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv49230.pdf>>. Acessado em fevereiro de 2014.
- MELO, M. S.; SOARES, A. K. Integração dos sistemas João Leite e Meia Ponte: uma análise do abastecimento de água na região metropolitana de Goiânia. In: SIQUEIRA, E. Q.; FORMIGA, K. T. M. (Org.). **Caderno de Recursos Hídricos**. Goiânia: Ed. Kelps, 2013. p. 145-172.
- SANEAGO. **Memória SANEAGO**. Saneamento de Góias. 2013. Disponível em: <<http://www.saneago.com.br/site/index.php?id=historico>>. Acessado em fevereiro de 2014.



06

soa (PB)

O abastecimento de água em capitais da região Nordeste

KÁTIA M. BICHINHO¹, TERESA C. B. SALDANHA¹, FLAVIANA J. R. SEVERO¹,
MARIA M. L. M. LÚCIO¹, MARIA C. CANELA², CAMILA R. O. NUNES²,
GILSON L. DA SILVA³, MARTA M. B. DUARTE³, VALDINETE L. DA SILVA³

¹Laboratório de Estudos em Química Ambiental, Universidade Federal da Paraíba

²Grupo de Pesquisa em Química Ambiental, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro

³Laboratório de Engenharia Ambiental e da Qualidade, Universidade Federal de Pernambuco

A região Nordeste é a terceira maior do Brasil, ocupando uma área de 1.554.257 km², e caracteriza-se por ser a segunda região mais populosa, contando com 53 milhões de habitantes. Segundo o IBGE, dentre os 556 municípios com menor PIB por habitante do país, 59,4% pertencem ao estado do Piauí, 51,2%, ao Maranhão, 35,3%, ao Ceará, 34,3%, a Alagoas e 25,7%, a Bahia. Dentre diferentes aspectos, o que mais se destaca é a seca causada pela escassez de chuvas, condição climática responsável pelos principais problemas socioeconômicos da região: em 2012, situação de emergência ou estado de calamidade pública foram decretados em 95% dos municípios cearenses, 88% dos municípios da Paraíba, 85% e 84% dos municípios do Piauí e do Rio Grande do Norte, respectivamente. Por outro lado, a região possui muitas cidades litorâneas que atraem turistas de todo o Brasil e do mundo e é a região composta pelo maior número de estados, nove ao todo (Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia), dentre os quais, sete tiveram suas capitais estudadas neste trabalho (ANA, 2013; IBGE, 2011; 2012).

Dados demográficos e econômicos das capitais da região Nordeste

As características gerais das capitais nordestinas avaliadas neste trabalho estão apresentadas na Tabela 1.

A Região Metropolitana de Recife (RMR) é a maior do Nordeste em população, contando com 3,69 milhões de habitantes. É composta por 15 municípios que fazem parte da Mesorregião Metropolitana do Recife, incluindo a Vila dos Remédios, núcleo urbano localizado na Ilha de Fernando de Noronha (IBGE, 2010a). Segundo Notaro (2012), entre 1990 e 2012, a renda per capita da RMR cresceu 54%. A principal atividade econômica da RMR é a prestação de serviços, em especial comércio, serviços médicos, de informática e engenharia, consultorias, ensino e pesquisa, ainda com destaque para a atividade industrial. O município de Recife possui um PIB de R\$ 19.540,20 por habitante, que corresponde à 11ª posição entre as capitais brasileiras. Recife tem 82,3% da população com acesso à água tratada e, em contrapartida, apenas 35,5% tem acesso à coleta de esgoto, sendo que, desse total, 70% é tratado (SNIS, 2011).

Tabela 1: Dados gerais das capitais da região Nordeste estudadas

Capital (UF)	População ¹ (milhões hab.)	Área ^{2,3} (km ²)
Recife (PE)	3,7 (RMR)	2.768 (RMR)
	1,5 (capital)	218 (capital)
Fortaleza (CE)	3,6 (RMF)	5.783 (RMF)
	2,5 (capital)	315 (capital)
Salvador (BA)	3,6 (RMS)	4.395 (RMS)
	2,7 (capital)	693 (capital)
Natal (RN)	1,4 (RMN)	2.811 (RMN)
	0,8 (capital)	167 (capital)
São Luís (MA)	1,3 (RMGSL)	3.578 (RMGSL)
	1,0 (capital)	835 (capital)
João Pessoa (PB)	1,2 (RMJP)	2.393 (RMJP)
	0,7 (capital)	211 (capital)
Teresina (PI)	1,2 (RIDEGT)	10.527 (RIDEGT)
	0,8 (capital)	1.392 (capital)

¹IBGE, 2011; ²IBGE, 2010a; ³IBGE, 2012; RM – Região metropolitana; RIDEGT – Região Integrada de Desenvolvimento da Grande Teresina

A Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) é composta por 15 municípios e concentra uma população de 3,62 milhões de habitantes, que correspondem a 55% da população urbana do estado do Ceará, a segunda maior da região Nordeste. Localiza-se na região litorânea do estado, inserida na Região Hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental (IBGE, 2010a; ANA, 2010a). Fortaleza destaca-se no setor de serviços, especialmente comércio, turismo, prestação de serviços voltados para famílias e empresas, apresentando um PIB por habitante de R\$ 15.161,47. O setor industrial tem crescido em importância econômica e, atualmente, Fortaleza figura como o 17º município brasileiro em valor adicionado bruto da indústria (IBGE, 2010a). Em termos de saneamento básico, Fortaleza possui um índice de cobertura de abastecimento de água de 98,8% da população do município e 53,6% dos habitantes tem acesso à rede coletora de esgotos (SNIS, 2011).

A Grande Salvador (RMS) é a terceira maior região metropolitana do Nordeste e possui um PIB de R\$ 75.605.691,00, principalmente devido à atividade industrial do Polo Petroquímico de Camaçari (PIC), em Camaçari, e do Centro Industrial de Aratu (CIA), entre Simões Filho e Candeias, além das atividades relacionadas ao turismo e ao comércio, perfazendo um PIB por habitante de R\$ 21.149,60 (IBGE, 2010b). O estado da Bahia, segundo a EMBASA, possui um índice de atendimento urbano de água de 97,7%, enquanto os índices para o município de Salvador correspondem a 92,5% de cobertura para serviços de abastecimento de água e 79,2% de atendimento com redes coletoras de esgotos (SNIS, 2011).

A Região Metropolitana de Natal (RMN) é a quarta maior aglomeração urbana do Nordeste brasileiro. Agrega 11 municípios, com uma população de 1,35 milhão de habitantes (IBGE, 2011) e apresenta conurbação urbana que inclui os municípios de Natal, Parnamirim, São Gonçalo do Amarante e Extremoz. A RMN está totalmente inserida na Região Hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental, que tem por característica a menor disponibilidade hídrica dentre as regiões hidrográficas brasileiras (ANA, 2011). Natal, a capital do estado do Rio Grande do Norte, localiza-se na Mesorregião do Leste Potiguar e compõe a planície litorânea, com clima quente e sub-úmido e verão seco e

ensolarado, aspectos que promovem a atividade turística. Possui riquezas naturais, culturais e liderança estadual em pesquisas (SEPLAN, 2013). Produz um PIB por habitante de R\$ 14.925,65, destacando-se em serviços e valor adicionado bruto de administração, saúde, educação e seguridade social e ocupando a 42ª posição nacional em relação ao PIB a preços correntes (IBGE, 2010b). A capital disponibiliza serviços de abastecimento de água para 90,8% da população e 33,1% de atendimento urbano de esgoto (SNIS, 2011).

A Grande São Luís (RMGSL) é composta por cinco municípios e abriga uma população de 1,3 milhão de habitantes, que se concentra no município de São Luís, onde residem 1,0 milhão de pessoas. A RMGSL localiza-se no litoral do estado e pertence à Região Hidrográfica do Atlântico Nordeste Ocidental (ANA, 2010b). A capital do estado do Maranhão produz um PIB por habitante de R\$ 17.103,61, o segundo maior dentre as capitais nordestinas e o 13º entre as 27 capitais brasileiras (IBGE, 2010b). Possui o 12º maior parque industrial entre as capitais do país, aspecto que contribui significativamente para o PIB, apesar da predominância da contribuição dos serviços na economia do município (PMSL, 2014). A capital disponibiliza serviços de abastecimento de água para 84,9% da população e o índice de atendimento urbano de esgoto é de 48,3% (SNIS, 2011).

A Região Metropolitana de João Pessoa (RMJP) abrange 13 municípios e possui uma população de 1,2 milhão de habitantes. Na subdivisão estadual, pertence à mesorregião da Mata Atlântica e compõe a Região Hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental (AESA, 2014; ANA, 2010a). Fundada em 1585, João Pessoa é a terceira capital mais antiga do país. O turismo tem crescido em importância, motivado pelo clima quente, a beleza das praias urbanas balneáveis, distribuídas ao longo de 30 km de orla, o Parque Estadual Marinho de Areia Vermelha e o centro histórico da cidade (PMJP, 2014). Com um PIB por habitante de R\$ 13.555,73, destacam-se as atividades econômicas relacionadas a serviços, administração, saúde, educação e seguridade social. Embora com parque industrial em crescimento, não possui destaque no cenário nacional (IBGE, 2010b). Em termos de serviços de saneamento básico, possui índice de atendimento total de água de 91,0% e índice urbano de atendimento de esgoto de 66,8%.

A Região Integrada de Desenvolvimento da Grande Teresina (RIDEGT) compõe-se de 14 municípios e a conurbação inclui o município de Timon, que pertence ao estado do Maranhão. Distante cerca de 350 km do litoral, a RIDEGT localiza-se às margens do rio Parnaíba e pertence à Região Hidrográfica Parnaíba (ANA, 2010a). Capital do estado do Piauí, Teresina gera um PIB por habitante de R\$ 12.940,64, não se destacando em atividades agropecuárias e industriais. Tem o setor de serviços como o principal eixo da economia, incluindo as atividades de administração, saúde, educação e seguridade social (IBGE, 2010a). Possui área territorial que se destaca, cerca de 1.392 km², possibilitando oportunidades de crescimento para as principais atividades econômicas: agropecuárias, industriais e de serviços. O atendimento total de água para o município é de 91,1%, enquanto o índice de atendimento urbano de esgoto é de apenas 17,0%.

Mananciais de abastecimento de água nas capitais da região Nordeste

O clima da região Nordeste é predominantemente semiárido, condição que confere regime intermitente aos cursos d'água superficiais. Assim, há um número significativo de reservatórios de regularização para fins de abastecimento público, como ocorre nos estados do Ceará e da Paraíba. Por outro lado, é significativa a contribuição dos mananciais subterrâneos para suprir as demandas, sendo exemplos importantes o aquífero Barreiras, para a RMN, e tanto o aquífero Itapecuru quanto o Barreiras, para a RMGSL (ANA, 2007; ANA, 2013).

RECIFE

A RMR estende-se por 14 municípios, abastecidos por seis sistemas principais, atingindo um total de 2,79 milhões de pessoas (IBGE, 2010a; SNIS 2011). O sistema Pirapama é o maior da RMR, com uma produção de 5,3 m³ s⁻¹. Localiza-se no Cabo de Santo Agostinho, sendo a barragem Pirapama, represa do rio Pirapama, o principal reservatório. O sistema Tapacurá é integrado e utiliza os reservatórios rio Tapacurá, na barragem Tapacurá (sistema de três represas localizadas em São Lourenço da Mata), rio

Duas Unas, rio Capibaribe e rio Várzea do Una (captações construídas em situações de emergência) e atende 36% da demanda da RMR. O sistema Botafogo contribui com 17% do volume distribuído e tem como principal reservatório a barragem Botafogo, represa do rio Catucá. A parte norte de Recife, bem como Olinda e Paulista são abastecidas pelo sistema Alto do Céu, que representa 10% do volume de água distribuído na RMR, sendo importantes os rios Utinga e Pitanga (vazão de 700 L s⁻¹), os rios Paratibe (250 L s⁻¹), e Beberibe (450 L s⁻¹) e o sistema de poços Cruz de Rebouças, localizado em Igarassu. O sistema Gurjaú/Suaape produz em torno de 9% do volume de água distribuído e utiliza as águas do rio Gurjaú, que são regularizadas pela represa localizada no rio Sicupema, além de contribuições dos rios Utinga, Bitá e Ipojuca (COMPESA, 2013). O aquífero Beberibe aflora nos estados de Pernambuco e Paraíba, sendo explorado na RMR para abastecimento público e industrial (ANA, 2013). As águas da RMR sofrem impactos do lançamento de esgotos domésticos, pois a carga orgânica indica que a Bacia Litorânea Pernambuco é a mais crítica de toda a Região Hidrográfica do Atlântico Norte Oriental. O resumo das informações referentes aos sistemas de abastecimento de água da RMR está apresentado na Tabela 2.

O sistema integrado Alto do Céu/Caixa d'Água foi escolhido para se avaliar a qualidade da água de abastecimento por ser o principal manancial de abastecimento da zona norte da Região Metropolitana de Recife, atendendo cerca de 0,37 milhão de habitantes (COMPESA, 2013).

FORTALEZA

A RMF, composta por 15 municípios, é abastecida por três sistemas integrados, Gavião, Acarape do Meio Gavião e Pacajus-Horizonte e Chorozinho, além de sistemas isolados (Tabela 3). O sistema integrado Gavião (SIN Gavião) é o principal, responsável pelo abastecimento de água de 93% da população da RMF. Os açudes Gavião (32 hm³), Riachão (45 hm³), Pacoti (380 hm³), Pacajus (240 hm³), Aracoíaba (170 hm³) e Castanhão (6.700 hm³) e o canal do Trabalhador/rio Jaguaribe (6 hm³) são os principais mananciais superficiais desse sistema, no qual operam de forma interligada, com gestão de oferta e demanda feita pela Companhia de Gestão

Tabela 2: Sistemas de abastecimento de água da RMR

Sistema	Mananciais ^{1,2,3}	Municípios atendidos ^{2,3}	População atendida (milhões de hab.) ^{3,4,5}
Pirapama	Rio Pirapama	Recife; Jaboatão dos Guararapes; Cabo de Santo Agostinho; e, indiretamente, as cidades de São Lourenço da Mata e Camaragibe	0,40
Tapacurá/ Várzea do Una	Rio Capibaribe, barragens Tapacurá/ Duas Unas/ Várzea do Uma	Camaragibe; Jaboatão dos Guararapes; Recife; São Lourenço da Mata	0,66
Integrado Botafogo	Barragem Botafogo e rios Utinga/Pitanga/Tabatinga/ Conga/Cumbe/Jardim/Pilão, poços de Cruz Rebouças	Abreu e Lima; Igarassu; Olinda; Paulista	0,64
Integrado Alto do Céu/Caixa d'Água	Rios Utinga/Pitanga/Beberibe/ Paratibe, poços de Cruz Rebouças/Beberibe	Olinda; Paulista; Recife (zona norte)	0,37
Integrado Gurjaú/Suape	Barragem Gurjaú, rio Ipojuca/barragem Bitá, barragem Utinga	Cabo de Santo Agostinho; Complexo industrial de Suape; Ipojuca (Nossa Senhora do Ó); Jaboatão dos Guararapes; Recife	0,34
Jangadinha	Rio Jangadinha	Parte de Cavaleiro (bairro do município de Jaboatão) e parte de Tejipió (bairro da cidade do Recife)	0,01
Isolados	Mananciais superficiais/ mistos	Araçoiaba; Cabo de Santo Agostinho; Camaragibe; Ipojuca; Jaboatão dos Guararapes; Moreno; Recife	0,05
	Poços	Abreu e Lima; Igarassu; Ilha de Itamaracá; Itapissuma; Olinda e Paulista	0,02
Total estimado			2,49

¹ANA, 2010b; ²ANA, 2010a; ³COMPESA, 2013; ⁴IBGE, 2011; ⁵SNIS, 2011

de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (ANA, 2010a; ANA, 2010b; COGERH, 2013). A qualidade das águas desses mananciais, que pertencem à bacia hidrográfica metropolitana, sofre impacto, principalmente por lançamento de esgotos, estimado entre 31 e 60 t DBO diárias, acréscido de atividades industriais potencialmente poluidoras como matadouros, curtumes, indústria de bebidas,

têxtil, alimentícia, química e farmacêutica, entre outras, além de problemas associados ao manejo de resíduos sólidos (ANA, 2012).

Em Fortaleza foram realizadas coletas em pontos abastecidos pelo sistema integrado Gavião, cuja capacidade de produção atende a grande maioria da população da RMF (CAGECE, 2013; SNIS, 2011).

Tabela 3: Sistemas de abastecimento de água da RMF

Sistema	Mananciais ^{1,2}	Municípios atendidos ²	População atendida (milhões de habitantes) ^{3,4}
Integrado Gavião	Açudes Gavião, Riachão, Pacoti e Pacajus e canal do Trabalhador (rio Jaguaribe)	Caucaia; Eusébio; Fortaleza; Maracanaú	2,89
Integrado Acarape do Meio-Gavião	Açudes Acarape do Meio e Gavião	Guaiúba; Maranguape; Pacatuba	0,15
Integrado Pacajus-Horizonte e Chorozinho	Açude Pacoti	Chorozinho; Horizonte; Pacajus	0,11
Isolados	Lagoa do Catu, canal do Pacoti-Riachão, canal Sítios Novos, lagoa do Tapuio e poços	Aquiraz; Cascavel; Itaitinga; Pindoretama; São Gonçalo do Amarante	0,14
		Total estimado	3,29

¹ANA, 2010b; ²ANA, 2010a; ³IBGE 2010a; ⁴SNIS, 2011

SALVADOR

A RMS é abastecida atualmente por seis reservatórios: Pedra do Cavalo (bacia do rio Paraguaçu), Santa Helena (rio Jacuípe), Joanes I e II (rio Joanes) e Ipitanga I e II (rio Ipitanga). Esses reservatórios fazem parte dos principais sistemas de abastecimento dessa região, sendo o integrado Salvador/Lauro de Freitas o principal deles, abastecido principalmente pelo rio Paraguaçu (Amorim et al., 2011; Da Silva, 2012). Esse reservatório é responsável pelo abastecimento de 60% da demanda da cidade de Salvador (Da Silva, 2012). Na Tabela 4 estão apresentadas as informações resumidas sobre os sistemas de abastecimento de água da RMS.

Apesar de ainda constar no *Atlas da ANA* como manancial de abastecimento, a barragem do Cobre foi desativada como ponto de captação devido ao alto índice de contaminação do rio do Cobre (Da Silva, 2012).

Em Salvador, as amostras de água tratada foram coletadas todas no integrado Salvador/Lauro de

Freitas, sendo que uma amostra foi coletada da água tratada após captação nos mananciais da barragem Pedra do Cavalo e Joanes II, outra da barragem Joanes I e Ipitanga I e II e, finalmente, uma terceira amostra origina-se da mistura das águas tratadas dos mananciais citados acima (reservatório Cabula).

NATAL

A RMN abrange 10 municípios abastecidos por dois sistemas integrados, lagoa do Extremoz e Monsenhor Expedito, além de sistemas isolados (Tabela 5). O sistema integrado de abastecimento de água da cidade de Natal utiliza as águas superficiais da lagoa de Extremoz, ao norte (18%), e da lagoa do Jiqui, ao sul (13%), além de significativa parcela de contribuição de mananciais subterrâneos pertencentes ao sistema aquífero Barreiras – 69% do total (ANA, 2007). As águas superficiais são impactadas por lançamento de esgotos não tratados, com uma contribuição de carga orgânica remanescente em torno de 30 t DBO diárias (IBGE, 2010c) e por atividades industriais: beneficiamento de produtos pesqueiros

Tabela 4: Sistemas de abastecimento de água da RMS

Sistema	Mananciais ^{1,2}	Municípios atendidos ²	População atendida (milhões de hab.) ³
Integrado Salvador/Lauro de Freitas	Barragens Pedra do Cavalo (rio Paraguaçu), Santa Helena e Joanes II	Candeias; Lauro de Freitas; Madre de Deus; Salvador; São Francisco do Conde; Simões Filho	3,29
	Barragens Joanes I, Ipitanga I, II e III	Salvador	
	Barragens Joanes I, Ipitanga I, II e III	Salvador	
	Barragem do Cobre	Salvador	Desativado
Integrado Itaparica/Vera Cruz	Rio Tapera (barragem Tapera)	Itaparica; Vera Cruz	0,18
Isolados	Poços	Camaçari; Dias d'Ávila; Mata de São João; São Sebastião do Passé	0,46
		Total estimado	3,96

¹ANA, 2010b; ²ANA, 2010a; ³EMBASA, 2013

Tabela 5: Sistemas de abastecimento de água da RMN

Sistema	Mananciais ^{1,2}	Municípios atendidos ²	População atendida (milhões de hab.) ^{3,4}
Integrado Lagoa do Extremoz	Lagoa de Extremoz	Natal; São Gonçalo do Amarante	0,18
Integrado Monsenhor Expedito	Lagoa do Bom Fim e poços	Monte Alegre (mais 29 municípios fora da RMN)	0,01
Isolados	Lagoa do Jiqui	Natal	0,09
	Poços	Ceará-Mirim; Extremoz; Macaíba; Natal; Nísia Floresta; Parnamirim; São Gonçalo do Amarante; São José do Mipibu; Vera Cruz	0,88
		Total estimado	1,16

¹ANA, 2010b; ²ANA, 2010a; ³IBGE 2011; ⁴SNIS, 2011

(lagosta e camarão) e têxteis, responsável pelo impacto de efluentes contendo poluentes orgânicos e inorgânicos (ANA, 2012). As águas subterrâneas sofrem devido à carência de tratamento de esgotos, responsável pela contaminação microbiológica e por nitratos (ANA, 2007).

As coletas realizadas em Natal foram feitas em locais da zona norte e da zona sul da cidade, contemplando pontos abastecidos pelos sistemas integrado lagoa do Extremoz e isolado lagoa do Jiqui, respectivamente, ambos complementados por aportes de águas subterrâneas.

SÃO LUÍS

A Grande São Luís é formada por cinco municípios e seus principais mananciais superficiais são o rio Itapecuru, o açude Batatã (localizado no Parque Estadual do Bacanga) e o rio Peptal. Na mesma proporção em importância, as águas subterrâneas dos aquíferos Itapecuru e Barreiras suprem o abastecimento de 57% da população da região metropolitana (Tabela 6). O serviço de esgotamento sanitário não é satisfatório, o que acarreta uma carga orgânica remanescente estimada em 38 t DBO diárias (IBGE, 2010c) sobre as águas da região metropolitana. Além disso, o manejo de resíduos sólidos agrava a situação, pois é estimado que a RMGSL contribui com 32% dos resíduos sólidos de toda a Região Hidrográfica do Atlântico Nordeste Ocidental. Estão também apontados os impactos gerados por atividades industriais como metalurgia, de óleos vegetais, sabões, cervejarias, laticínios, carnes e derivados, curtumes, móveis e produtos cerâmicos, com especial destaque para o processamento da bauxita e minério de ferro, atividades que se desenvolvem próximo aos portos de Itaqui e Ponta da Madeira. A população da Ilha de São Luís, capital do estado do Maranhão, é abastecida pelos sistemas: integrado ITALUÍS (responsável por 42% do abastecimento de água), isolado rio Pimenta/açude Batatã/poços (8%) e isolado poços (49%), conforme Tabela 6.

Em São Luís, as coletas foram realizadas em pontos abastecidos pelos sistemas integrado ITALUÍS e isolados rio Pimenta, açude Batatã e poços, que abastecem cerca de 860 mil pessoas (CAEMA, 2013; SNIS, 2011).

JOÃO PESSOA

Na RMJP, cerca de 84% da população atendida é abastecida a partir dos reservatórios rio Gramame e rio Mamuaba (barragem Gramame-Mamuaba), açude Marés e pequena contribuição de águas subterrâneas, os quais compõem um único sistema integrado que abastece os municípios de Bayeux, Cabedelo, João Pessoa (capital do estado) e Santa Rita. O município de Pedras de Fogo é abastecido pela barragem do Mato (represamento do rio Gramame), Cruz do Espírito Santo tem captação de água no riacho das Flores, Mamanguape depende das águas do riacho da Pedra (principal) e do açude Jangada (29% da água bruta captada), enquanto que em Rio Tinto, a água captada no rio Vermelho é complementada por sistemas de poços tubulares, os quais correspondem a 25% do abastecimento do município (Tabela 7). Os principais impactos sobre a qualidade das águas metropolitanas estão associados aos baixos índices de coleta de esgotos, em média de 28% (SNIS, 2011), à cultura de cana-de-açúcar e de abacaxi, às indústrias sucroalcooleiras, de bebidas, cerâmica, têxtil, além das atividades do porto de Cabedelo, o que resulta em uma carga orgânica remanescente em torno de 30 t DBO diárias (IBGE, 2008).

As coletas em João Pessoa foram realizadas em pontos distribuídos geograficamente na cidade, abastecidos pelo sistema integrado rio Gramame/rio Mamuaba, açude Marés e poços, que atendem cerca de 820 mil habitantes da RMJP (CAGEPA, 2013; SNIS, 2011).

Tabela 6: Sistemas de abastecimento de água da RMGSL

Sistema	Mananciais ^{1,2}	Municípios atendidos ²	População atendida (milhões de hab.) ^{3,4}
Integrado ITALUÍS	Rio Itapecuru	São Luís; Bacabeira (fora da RMGSL)	0,34
Isolados	Rio Pimenta, açude Batatã e poços	São Luís	0,09
	Poços	São Luís	0,43
	Rio Peptal e poços	Alcântara; Paço do Lumiar; Raposa; São José do Ribamar	0,14
Total estimado			1,00

¹ANA, 2010b; ²ANA, 2010a; ³IBGE 2011; ⁴SNIS, 2011

Tabela 7: Sistemas de abastecimento de água da RMJP

Sistema	Mananciais ^{1,2}	Municípios atendidos ²	População atendida (milhões de hab.) ^{3,4}
Integrados	Rio Gramame/rio Mamuaba, açude Marés e poços	Bayeux; Cabedelo; João Pessoa; Santa Rita	0,82
	Poços	Bayeux; Cabedelo; João Pessoa; Santa Rita	
	Rio Tibiri	Santa Rita	0,05
Isolados	Mananciais superficiais/mistos	Alhandra; Caaporã; Cruz do Espírito Santo; Mamanguape; Pedras de Fogo; Rio Tinto	0,07
	Poços	Conde; Lucena; Pitimbu	0,03
Total estimado			0,97

¹ANA, 2010b; ²ANA, 2010a; ³IBGE 2011; ⁴SNIS, 2011

TERESINA

A RIDE Grande Teresina é formada por 14 municípios e tem o rio Parnaíba como o principal manancial, responsável pelo abastecimento de 75% da população atendida, que está concentrada nos municípios de Teresina, Nazária e União. Nos demais municípios da RIDEGT, há sistemas de poços tubulares (Tabela 8). Os principais impactos sobre as águas do rio Parnaíba no trecho próximo à região metropolitana devem-se ao lançamento de esgotos domésticos sem tratamento e à deposição final inadequada de resíduos sólidos. Não há destaque para atividades agropecuárias

ou industriais. A Grande Teresina possui os piores indicadores da região Nordeste em termos de índice de coleta de esgotos: 16,5% para Teresina e 6,5% para o município de Altos, não constando informações para os demais municípios que compõem a RIDEGT (SNIS, 2011). A carga orgânica doméstica remanescente está estimada em 28,7 t DBO diários para Teresina e em 5,5 t DBO para Timon (MA) (ANA, 2012).

As coletas em Teresina foram realizadas em pontos distribuídos geograficamente na cidade, abastecidos pelo sistema isolado rio Parnaíba, o principal da RIDEGT (AGESPISA, 2013; SNIS, 2011).

Tabela 8: Sistemas de abastecimento de água da RIDEGT

Sistema	Mananciais ^{1,2}	Municípios atendidos ²	População atendida (milhões de hab.) ^{3,4}
Isolados	Rio Parnaíba	Teresina; Nazária; União	0,75
	Poços	Altos; Beneditinos; Coivaras; Curralinhos; Demerval Lobão; José de Feitas; Lagoa Alegre; Lagoa do Piauí; Miguel Leão; Monsenhor Gil; Teresina; Timon (MA)	0,26
Total estimado			1,0

¹ANA, 2010b; ²ANA, 2010a; ³IBGE, 2011; ⁴AGESPISA, 2013

Estações de tratamento de água nas capitais da região Nordeste

O abastecimento de água através de rede geral de distribuição no Nordeste brasileiro ocorre em 93,8% dos municípios, sendo os estados da Paraíba (11 municípios) e Piauí (cinco municípios) os mais afetados pela falta desse serviço básico. Em geral, as ETA usam o tratamento convencional completo.

RECIFE

A Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) é a responsável pelo abastecimento da RMR, composta por nove ETA convencionais (Tabela 9). A maior, ETA Pirapama, localiza-se no município de Cabo de Santo Agostinho, com ponto de captação de água bruta na barragem Pirapama, operando com uma capacidade de tratamento de 5,1 m³ s⁻¹.

FORTALEZA

A Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) é responsável pelos serviços de abastecimento de água em quase toda a RMF. Apenas o município de Pindoretama é responsabilidade do Serviço de Água e Esgoto (SAAE-CE). A principal estação de tratamento é a ETA Gavião, localizada no município de Pacatuba, produzindo 10 m³ s⁻¹ e tendo como ponto de captação de água bruta o açude Gavião. Atualmente, opera com tratamento por filtração direta descendente, que envolve as etapas de mistura rápida, floculação, filtração, seguida da cloração (cloro gás e dióxido de cloro) e fluoretação. O resumo das informações está apresentado na Tabela 10.

SALVADOR

A Empresa Baiana de Águas e Saneamento (EMBASA) é responsável pelo sistema de

Tabela 9: Estações de tratamento de água da RMR

Sistema	Estação de Tratamento de Água (ETA)	Capacidade da ETA ¹ (m ³ s ⁻¹)
Pirapama	ETA Pirapama	5,1
Tapacurá/Várzea do Una	ETA Castello Branco	4,0
	ETA Várzea do Una	0,42
Jangadinha	ETA Jangadinha	0,03
Botafogo	ETA Botafogo	2,2
Alto do Céu	ETA Alto do Céu	1,2
Caixa D'Água	ETA Caixa D'Água	0,25
Suape	ETA Suape	1,6
Gurjaú	ETA Gurjaú	1,0

¹COMPESA, 2013

Tabela 10: Estações de tratamento de água da RMF

Sistema	Estação de Tratamento de Água (ETA) ^{1,2}	Capacidade da ETA ¹ (m ³ s ⁻¹)
Integrado Gavião	ETA Gavião	10
Integrado Acarape do Meio-Gavião	ETA convencional	0,050
Isolado, lagoa do Tapuio	ETA convencional	0,035

¹ANA, 2010c; ²CAGECE, 2013

abastecimento de água da RMS, que além de atender a população da capital e oito municípios, também atende as indústrias instaladas no Centro Industrial de Aratu e Polo Petroquímico de Camaçari. A ETA Principal realiza a captação principalmente nos reservatórios Pedra do Cavalo, Joanes II e Santa Helena e sua água tratada é distribuída para Salvador, Lauro de Freitas, Simões Filho/CIA Sul e Recôncavo Sul. A ETA Bolandeira realiza a captação em Joanes I, Ipitanga I, II e III, abastecendo a cidade de Salvador. As informações estão resumidas na Tabela 11.

NATAL

A Companhia de Águas e Esgotos (CAERN) é responsável pelo abastecimento de água da capital do estado do Rio Grande Norte e de parte significativa dos municípios da RMN, com exceção de Ceará-Mirim e Extremoz, abastecidas por

sistemas de poços operados pelo Serviço de Água e Esgoto (SAAE-RN). A RMN possui três estações de tratamento de água convencionais, conforme apresentado na Tabela 12.

SÃO LUÍS

A Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão (CAEMA) é responsável pelo abastecimento de água da RMGSL, exceto para os municípios de Paço de Lumiar e Raposa (poços), atendidos pelo Serviço de Água e Esgoto do Estado (SAAE-MA). O sistema produtor da cidade de São Luís é composto por duas ETA convencionais (ITALUÍS e Sacavém), duas ETA de fluxo ascendente (Olho D'Água e Cururuca), além de 312 poços tubulares dispostos em três baterias: Paciência I e Paciência II e outro isolado. As informações resumidas sobre as ETA da RMGSL estão mostradas na Tabela 13.

Tabela 11: Estações de tratamento de água da RMS

Sistema	Estação de tratamento de água (ETA)	Capacidade da ETA ¹ (m ³ s ⁻¹)
Integrado Salvador Lauro de Freitas	ETA Principal	10,0
Integrado Salvador Lauro de Freitas	Parque Bolandeira (ETA Vieira de Melo e Teodoro Sampaio)	5,0

¹ANA, 2010c

Tabela 12: Estações de tratamento de água da RMN

Sistema	Estação de tratamento de água (ETA)	Capacidade da ETA ¹ (m ³ s ⁻¹)
Integrado lagoa do Extremoz	ETA Extremoz	0,64
Isolado lagoa do Jiqui	ETA do Jiqui	0,80
Integrado Monsenhor Expedito	ETA Monte Alegre	0,45

¹ANA, 2010c

Tabela 13: Estações de tratamento de água da RMGSL

Sistema	Estação de tratamento de água (ETA) ^{1,2}	Capacidade da ETA ¹ (m ³ s ⁻¹)
Integrado ITALUÍS	ETA ITALUÍS	2,5
Isolado rio Pimenta, açude Batatã e poços	ETA Sacavém	0,4
Isolado rio Peptal	ETA Alcântara	0,04

¹ANA, 2010c; ²CAEMA, 2013

JOÃO PESSOA

A RMJP é abastecida pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA). O principal sistema produtor é composto por três ETA convencionais e sistemas de poços. A ETA Gramame possui capacidade de tratamento de água de $1,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, com captação no açude Gramame/Mamuaba, sendo a maior produtora de água da RMJP. As informações resumidas sobre as ETA da RMJP estão mostradas na Tabela 14.

TERESINA

A companhia Águas e Esgotos do Piauí S/A (AGESPISA) é responsável pelo abastecimento

de 83% da população atendida na RIDEGT. Os municípios de Coivaras, Curralinhos e Lagoa do Piauí são atendidos pelo SAAE-PI, sendo o município de Timon (MA) responsabilidade do SAAE-MA. O complexo de estações de tratamento de água de Teresina, conhecido como ETA Teresina, inclui três ETA integradas no Distrito Industrial (zona sul da cidade), às margens do rio Parnaíba, onde se localiza o ponto de captação de água bruta. Possui uma capacidade operacional de $2,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, suficiente para abastecer Teresina, contando com cerca de 5% de contribuição de um sistema de poços. O município de União possui uma ETA com capacidade de $0,05 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, também com ponto de captação localizado no rio Parnaíba (Tabela 15).

Tabela 14: Estações de tratamento de água da RMJP

Sistema	Estação de tratamento de água (ETA) ^{1,2}	Capacidade da ETA ¹ ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)
Integrado açude Gramame/ Mamuaba, rio Mumbaba/ açude Marés e poços	ETA Gramame	1,9
	ETA Marés	1,2
Integrado rio Tibiri	ETA Santa Rita	0,2
Isolado riacho da Pedra/açude Jangada	ETA Mamanguape	0,1
Isolado barragem do Mato/rio Gramame	ETA Pedras de Fogo	0,06
Isolado rio Vermelho	ETA Rio Tinto	0,03
Isolado riacho das Folhas	ETA Cruz do Espírito Santo	0,01

¹ANA, 2010c; ²CAGEPA, 2013

Tabela 15: Estações de tratamento de água da RIDEGT

Sistema	Estação de tratamento de água ¹ (ETA)	Capacidade da ETA ² ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)
Isolados (rio Parnaíba)	ETA Teresina	2,6
	ETA União	0,05

¹AGESPISA, 2013; ²Ana, 2010c

Referências

AESA. **Geoportal AESA**. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, 2014– Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/geoportall/mapas.html>. Acessado em fevereiro de 2014.

AGESPISA. **Municípios atendidos**, Águas e Esgotos do Piauí S/A, 2013. Disponível em: <http://www2.agespisa.com.br/municipios.php>. Acessado em dezembro de 2013.

- ANA. **Panorama do Enquadramento dos Corpos D'água – Panorama da Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil.** Agência Nacional de águas. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2007/PanoramaDoEnquadramentoDosCorposDagua.pdf>. Acessado em dezembro de 2013.
- ANA. **Atlas Brasil Abastecimento Urbano de Água – Resultados por Estado, Volume 2.** Agência Nacional de Águas, 2010a. Disponível em: <http://atlas.ana.gov.br/Atlas/downloads/atlas/Resumo%20Executivo/Atlas%20Brasil%20-%20Volume%20%20-%20Resultados%20por%20Estado.pdf>. Acessado em setembro de 2013.
- ANA. **Atlas Brasil Abastecimento Urbano de Água – Panorama Nacional, Volume 1.** Agência Nacional de Águas, 2010b. Disponível em <http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/Home.aspx>. Acessado em dezembro de 2013.
- ANA. **Panorama da Qualidade das Águas Superficiais do Brasil, 2012.** Agência Nacional de Águas – Brasília: ANA, 2012. 264 p.; il.
- ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2013.** Agência Nacional de Águas, 2013. Disponível em http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/webSite_relatorioConjuntura/projeto/index.html. Acessado em dezembro de 2013.
- AMORIM, J. L. R.; BARRETO, J. B.; BARRETO, C. A. Uma Avaliação do Desempenho Operacional do Sistema de Abastecimento da Região Metropolitana de Salvador. In: **26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011.** Porto Alegre, I-219.
- CAEMA. **Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão.** 2013. Disponível em http://www.caema.ma.gov.br/portaocaema/index.php?option=com_content&view=article&id=107&Itemid=115. Acessado em dezembro de 2013.
- CAGECE. **Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará, 2013.** Disponível em <http://www.cagece.com.br/abastecimento-de-agua/a-eta-gaviao>. Acessado em dezembro de 2013.
- CAGEPA. **Companhia de Água e Esgotos da Paraíba, 2013.** Disponível em <http://www.cagepa.pb.gov.br/portal/?p=4979>. Acessado em dezembro de 2013.
- COGERH. **Bacia Hidrográfica Metropolitana 2013.** Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará, 2013. Disponível em <http://portal.cogerh.com.br/categoria2/Ativ-Gerenc-BaciaMetropolitanas-atual1.pdf>. Acessado em dezembro de 2013.
- COMPESA. **Abastecimento de água.** Companhia Pernambucana de Saneamento, 2013. Disponível em <http://www.compesa.com.br/saneamento/abastecimentodeagua>. Acessado em julho de 2013.
- DA SILVA, S. F. **Análise da disponibilidade e demanda para o sistema de abastecimento de água de Salvador frente ao cenário de mudanças climáticas.** 2012, 150f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente, Águas e Saneamento). Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012.
- EMBASA. **Empresa Baiana de Água e Saneamento S.A.** 2013. Disponível em: <http://www.embasa.ba.gov.br/>. Acessado em agosto de 2013.
- IBGE. **Censo IBGE 2010.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010a. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>, acessado em setembro de 2013.
- IBGE. **Produto interno dos municípios 2010.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010b. Disponível em: ftp://ftp.ibge.gov.br/Pib_Municipios/2010/pibmunic2010.pdf, p. 37, acessado em setembro de 2013.
- IBGE. **Pesquisa nacional de saneamento básico 2008.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 2010c.
- IBGE. **Sinopse do Censo Demográfico 2010.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2011. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/sinopse/sinopse_tab_rm_zip.shtm, acessado em setembro de 2013.
- IBGE. **Área territorial oficial.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2013. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/areaterritorial/area.shtm>. Acessado em dezembro de 2013.
- NOTARO, T. **Renda per capita da RMR é a terceira maior do País.** Folha de Pernambuco, 2012. Disponível em http://www.folhape.com.br/cms/opencms/fohape/pt/edicaoimpresa/arquivos/2012/12/08_12_2012/0020.html. Acessado em julho de 2013.
- PMJP. **Prefeitura Municipal de João Pessoa, 2014.** Disponível em <http://www.joaopessoa.pb.gov.br/secretarias/setur/joaopessoa/historia/>. Acessado em fevereiro de 2014.
- PMSL. **Prefeitura Municipal de São Luís, 2014.** Disponível em http://www.saoluis.ma.gov.br/frmpagina.aspx?id_pagina_web=2. Acessado em fevereiro de 2014.
- SEPLAN. **Perfil do Rio Grande do Norte.** Secretaria de planejamento do Rio Grande do Norte 2013. Disponível em: <http://www.seplan.rn.gov.br/arquivos/download/PERFIL%20DO%20RN.pdf>. Acessado em dezembro de 2013.
- SNIS. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento, 2011.** Disponível em <http://www.snis.gov.br/>. Acessado em dezembro de 2013.



07

O abastecimento de água em capitais da região Norte

FERNANDA V. DE ALMEIDA¹, FERNANDO F. SODRÉ¹, MARIA C. CANELA², WILSON F. JARDIM³

¹Grupo de Automação, Quimiometria e Química Ambiental, Universidade de Brasília

²Grupo de Pesquisa em Química Ambiental, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro

³Laboratório de Química Ambiental, Universidade Estadual de Campinas

A região Norte é a maior região do Brasil em termos territoriais, já que ocupa uma área de mais de 3,8 milhões de quilômetros quadrados, cerca de 48% do território nacional. Engloba os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins. Possui algumas concentrações urbanas, como as cidades de Manaus, Belém e Porto Velho, mas caracteriza-se por apresentar a menor densidade populacional do país, com cerca de 3,8 habitantes por quilômetro quadrado.

Dados demográficos e econômicos das capitais da região Norte

Embora a região Norte seja formada por sete estados, apenas quatro foram incluídos neste estudo: Amazonas, Pará, Tocantins e Rondônia [*Porto Velho e Palmas foram amostrados apenas na primeira campanha*]. As características gerais das capitais das unidades federativas da região Norte incluídas neste trabalho estão apresentadas na Tabela 1.

Manaus é a capital e a maior cidade do Amazonas, com uma área de mais de 11 mil km² e uma população de 1,8 milhão de habitantes. Localiza-se no coração da floresta amazônica, maior floresta tropical do mundo, na confluência dos rios Negro e Solimões, formadores do rio Amazonas. Possui a maior região metropolitana da região Norte do país e a 10^a do Brasil. A capital encontra-se sob clima tropical úmido, com elevada umidade relativa durante o ano e aumento de chuvas no verão. Por Manaus ser próxima à linha do Equador, o calor é constante, sendo praticamente inexistentes os dias de frio durante o inverno. Isso ocorre em função da proximidade com a floresta úmida, que evita extremos de calor.

Belém está localizada ao nordeste do estado do Pará, a 120 km da costa e 160 km da linha do Equador, ocupando uma área de cerca de 1.060 km², correspondente a 0,09% da área territorial do estado. Com uma população de aproximadamente 1,4 milhão de habitantes, é a segunda capital mais populosa da região Norte (IBGE, 2011).

Palmas, a mais nova capital estadual do país, está localizada no centro geográfico do estado do Tocantins, ocupando uma área de 2,2 mil km², o que corresponde a 0,80% da área territorial do estado. Com uma população de aproximadamente 230 mil habitantes, é a sétima e última capital mais populosa da região Norte (IBGE, 2011).

Porto Velho é o município mais populoso do estado de Rondônia e possui como região metropolitana apenas mais uma cidade, que está a 20 km, chamada Candeias do Jamari, com aproximadamente 17 mil habitantes. Economicamente, a cidade detém o quarto PIB da região Norte e é atualmente a capital que mais cresce economicamente no país (IBGE, 2012). O PIB de Porto Velho é de R\$ 17.636,36 per capita, sendo a economia baseada principalmente em serviços (83,8%), seguida por agropecuária e indústria (IBGE, 2012).

Mananciais de abastecimento de água nas capitais da região Norte

MANAUS

Informações sobre coleta e distribuição de água para consumo humano em Manaus são incipientes, uma vez que o próprio atlas de abastecimento urbano de água elaborado pela ANA não apresenta informações detalhadas sobre a situação das ETA na

Tabela 1: Dados gerais das capitais da região Norte estudadas

Capital (UF)	População ¹ (milhões hab.)	Área ¹ (km ²)
Manaus (AM)	2,1 (RMM) 1,8 (capital)	101.475 (RMM) 11.401 (capital)
Belém (PA)	2,1 (RMB) 1,4 (capital)	3.566 (RMB) 1.059 (capital)
Palmas (TO)	0,2 (capital)	2.219 (capital)
Porto Velho (RO)	0,50 (RMPV) 0,48 (capital)	34.000 (capital)

¹IBGE, 2011; RM – Região metropolitana

cidade. Atualmente, os serviços de abastecimento de água e gerenciamento de esgoto em Manaus estão sob a responsabilidade da concessionária Manaus Ambiental. Para efeito deste livro, também serão consideradas informações disponibilizadas pela própria concessionária, assim como outras informações complementares disponibilizadas na *home page* do Instituto Trata Brasil (Pinto, 2012).

O rio Negro é o principal manancial de água em Manaus. Atualmente, dois sistemas captam água bruta desse manancial para produção de água para consumo humano. O complexo de produção da Ponta do Ismael, situado na margem esquerda do rio Negro e na zona oeste da cidade, é o principal sistema produtor de água, contando com duas estações de tratamento. O sistema Mauazinho é responsável pelo abastecimento do Distrito Industrial de Manaus e de outras áreas próximas às suas instalações (Tabela 2). Neste trabalho, dois pontos amostrais foram estabelecidos na rede de distribuição de água atendida pelo Sistema Ponta

do Ismael, responsável por atender grande parte da população de Manaus. Um terceiro ponto amostral foi estabelecido junto ao Sistema Mauazinho, localizado à jusante do centro da capital. Manaus também possui sistemas isolados para produção de água, mas com volume de produção bastante reduzido em comparação aos demais sistemas.

BELÉM

A maior parte da população da região metropolitana de Belém é abastecida pelo manancial do Utinga, formado por dois lagos naturais, o Água Preta e o Bolonha. Esses lagos são alimentados principalmente pelas águas do rio Guamá e por algumas nascentes (Tabela 3). O restante da população, cerca de 25%, é atendida pela água de poços artesianos que constituem os sistemas integrados. A Companhia de Saneamento do Pará – COSANPA, empresa responsável pela captação, distribuição e tratamento das águas da região metropolitana de Belém, considera o

Tabela 2: Sistemas de abastecimento de águas da região metropolitana de Manaus

Sistema	Mananciais ^{1,2}	Municípios atendidos ^{1,2}	População atendida (milhões de hab.) ³
Ponta do Ismael	Rio Negro	Manaus	1,7
Mauazinho	Igarapé Mauazinho/ rio Negro	Manaus	0,1
Isolados	Mananciais superficiais/mistos	Autazes; Careiro da Várzea; Manacapuru; Novo Airão; Presidente Figueiredo	-
Isolados	Poços	Careiro; Iranduba; Itacoatiara; Itapiranga; Manaquiri; Manaus; Rio Preto da Eva; Silves	-
Total estimado			1,8

¹ANA, 2010; ²Pinto, 2012; ³adaptado de Manaus Ambiental, 2013

Tabela 3: Sistemas de abastecimento de água da região metropolitana de Belém

Sistema	Mananciais ¹	Municípios atendidos ^{1,2}	População atendida (milhões de hab.) ²
Integrado Bolonha- Utinga	Rio Guamá (lago Água Preta e lago Bolonha)	Ananindeua; Belém; Marituba	1,58 (75%)
Isolados	Poços	Benevides; Santa Barbará do Pará	0,53 (25%)
Total estimado			2,11

¹ANA, 2010; ²COSANPA, 2005

manancial subterrâneo como reserva estratégica para complemento da produção de água tratada e distribuída (COSANPA, 2011).

Os pontos amostrais foram concentrados no Sistema Integrado Bolonha-Utinga que atende cerca de 75% da população. Os pontos amostrais foram concentrados nas ETA São Brás e Bolonha, as duas maiores ETA em funcionamento em Belém.

PALMAS

O maior sistema de abastecimento de água do município de Palmas está integrado à ETA 6, denominado Sistema de Abastecimento de Água (SAA). Outros sistemas menores também atuam complementando a vazão necessária ao abastecimento do município. O SAA abastece parte do Plano Diretor de Palmas (região central) e a região sul, incluindo os municípios de Aurenay, Taquaralto e Taquary (PALMAS, 2013a). Atualmente o sistema de abastecimento de Palmas atende 99% da população urbana, através de sete sistemas produtores, sendo cinco na sede municipal e dois nos distritos de Buritirana e Taquarussu (Tabela 4).

O único ponto amostral foi localizado na região central da cidade, que recebe água da maior estação de tratamento (ETA 6) e que atende cerca de 65% da população.

PORTO VELHO

O principal manancial de abastecimento de Porto Velho é o rio Madeira, contribuindo com 80% da água captada (captação Santo Antônio), uma vez que ampliações de captação nesse rio estão sendo feitas para desativar a captação no igarapé Bate Estaca, devido às restrições quantitativas e qualitativas desse corpo aquático (Tabela 5). O igarapé Bate Estaca contribui com 150 L s^{-1} na captação total que abastece as duas ETA da cidade. Na capital de Rondônia também há abastecimento de água subterrânea, embora em menor quantidade que no restante do estado (ANA, 2010). Neste trabalho, a coleta em Porto Velho foi realizada apenas na primeira campanha, em dois pontos abastecidos pela maior ETA da cidade, que recebe água dos dois mananciais citados acima.

Tabela 4: Sistemas de abastecimento de água de Palmas

Sistema	Mananciais ¹	Municípios atendidos ^{1,2}	População atendida (milhões de hab.) ²
Sede municipal	Córrego Taquarussu	Palmas	0,145 (65%)*
Sede municipal	Córrego Água Fria	Palmas	
Sede municipal	Córrego Brejo Comprido	Palmas	
Sede municipal	Poços - Vila União	Palmas	
Sede municipal	Poços - Taquari	Palmas	
Distrito de Buritirana	Córrego Barreiro (Minas)	Buritirana	< 1%
Distrito de Taquarussu	Córrego Roncador	Taquarussu	< 1%

¹ANA, 2010; ²Palmas, 2013a; *percentual da população de Palmas

Tabela 5: Sistemas de abastecimento de água de Porto Velho

Sistema	Mananciais ¹	Municípios atendidos ¹	População atendida (milhões de hab.)
Isolados	Rio Madeira Igarapé Bate Estaca Poços	Porto Velho	0,48 (100%)

¹ANA, 2010

Estações de tratamento de água nas capitais da região Norte

MANAUS

Atualmente, o complexo de produção da Ponta do Ismael é responsável pelo abastecimento da grande maioria da população de Manaus. Nesse sistema produtor, a ETA I, em operação plena desde 1973, opera de forma convencional, incluindo etapas de mistura rápida, floculação, decantação, filtração e desinfecção por cloração. A ETA II, inaugurada em 1998, opera sob filtração direta de fluxo ascendente. Em 2002, oito flotores foram adicionados à estação, que opera de maneira similar à ETA I, com exceção da presença de etapas de coagulação, floculação e flotação.

O sistema Mauzinho, localizado à jusante do centro da cidade, às margens do igarapé Mauzinho, afluente do rio Negro, foi inicialmente concebido para atender parte da demanda da capital, mas passou a abastecer também o Distrito Industrial de Manaus a partir do início dos anos 1980. O sistema produtor também opera com filtração direta de fluxo ascendente e flotação (Tabela 6).

BELÉM

O sistema integrado Bolonha-Utinga é constituído de três ETA (ETA Bolonha, ETA Marco e ETA São Brás) e foi recentemente expandido, alcançando capacidade de $8,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (*Amazônia Jornal*, 2010 e COSANPA, 2005) (Tabela 7). Essas ETA operam sob tratamento convencional, compreendendo etapas de pré-cloração, coagulação, floculação, decantação e filtração. As etapas posteriores incluem a desinfecção, com a adição de cloro, o ajuste de pH, com a adição de cal hidratado, seguida da adição de flúor.

PALMAS

A gestão dos serviços de saneamento do estado é realizada pela Companhia de Saneamento do Tocantins – SANEATINS, uma empresa privada, fundada em 1989, após a criação do estado do Tocantins. As várias ETA atualmente em operação em Palmas somam $0,83 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de capacidade instalada, todas operadas pela SANEATINS (Tabela 8). A principal ETA (ETA 6) opera com sistema convencional de tratamento (coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção). A água tratada na ETA 6 é captada no ribeirão Taquarussu, um pequeno manancial cuja nascente fica dentro do município de Palmas, mas que vem

Tabela 6: Estações de tratamento de água de Manaus

Sistema	Estação de tratamento de água (ETA)	Capacidade da ETA ^{1,2} ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)
Ponta do Ismael	ETA I	3,7
Ponta do Ismael	ETA II	3,5
Mauzinho	Mauzinho	0,2

¹Pinto, 2012; ²Manaus Ambiental, 2013

Tabela 7: Estações de tratamento de água da RMB

Sistema	Estação de tratamento de água (ETA)	Capacidade da ETA ¹ ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)
Integrado Bolonha- Utinga	ETA Bolonha	6,4
Integrado Bolonha- Utinga	ETA São Braz	1,2
Integrado Bolonha- Utinga	ETA 5º Setor	0,8

¹COSANPA, 2005

sofrendo diminuição da vazão nos períodos de seca (Silveira et al., 2012).

A ETA 6 está sendo ampliada e a capacidade passará de $0,50 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ para $0,70 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Palmas, 2013b). As obras em andamento envolvem a modernização dos sistemas de distribuição de água, que já atende 98% da população, além da expansão das redes de coleta e das estações de tratamento de esgoto, ampliando o atendimento de 52% para mais de 80%. (Palmas, 2013c). Devido aos frequentes problemas de estiagem no município, quando a vazão da ETA 6 chega a diminuir para $0,40 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, uma nova ETA, que captará água do lago, deverá suprir a demanda, porém a previsão é para os próximos anos.

PORTO VELHO

A companhia responsável pelo tratamento e abastecimento de água, assim como o saneamento de Porto Velho é a CAERD (Companhia de Águas e Esgotos de Rondônia). A cidade é abastecida por duas ETA, denominadas ETA 1 e ETA 2, das quais a mais importante é a ETA 2, que abastece grande parte de Porto Velho (Tabela 9). O atendimento com água tratada, na capital de Rondônia, é de 34,77%, com uma quantidade de esgoto coletado de 2,71% e uma relação esgoto tratado por água consumida de 0%, segundo o ranking de saneamento das 100 maiores cidades do país, divulgado pela SNIS (2011).

Tabela 8: Estações de tratamento de água de Palmas

Sistema	Estação de tratamento de água (ETA)	Capacidade da ETA ¹ ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)
Sede municipal (ribeirão Taquaruçu)	ETA 6	0,5
Sede municipal (ribeirão Água Fria)	ETA 3	0,1
Sede municipal (córrego Brejo Cumprido)	ETA 5	0,08
Sede municipal (subterrâneo)	ETA 8	0,038
Sede municipal (subterrâneo)	ETA 9	0,095
Distrito de Taquaruçu	ETA 7	0,013
Distrito de Buritirana	Minas	0,0045

¹ Palmas, 2013a

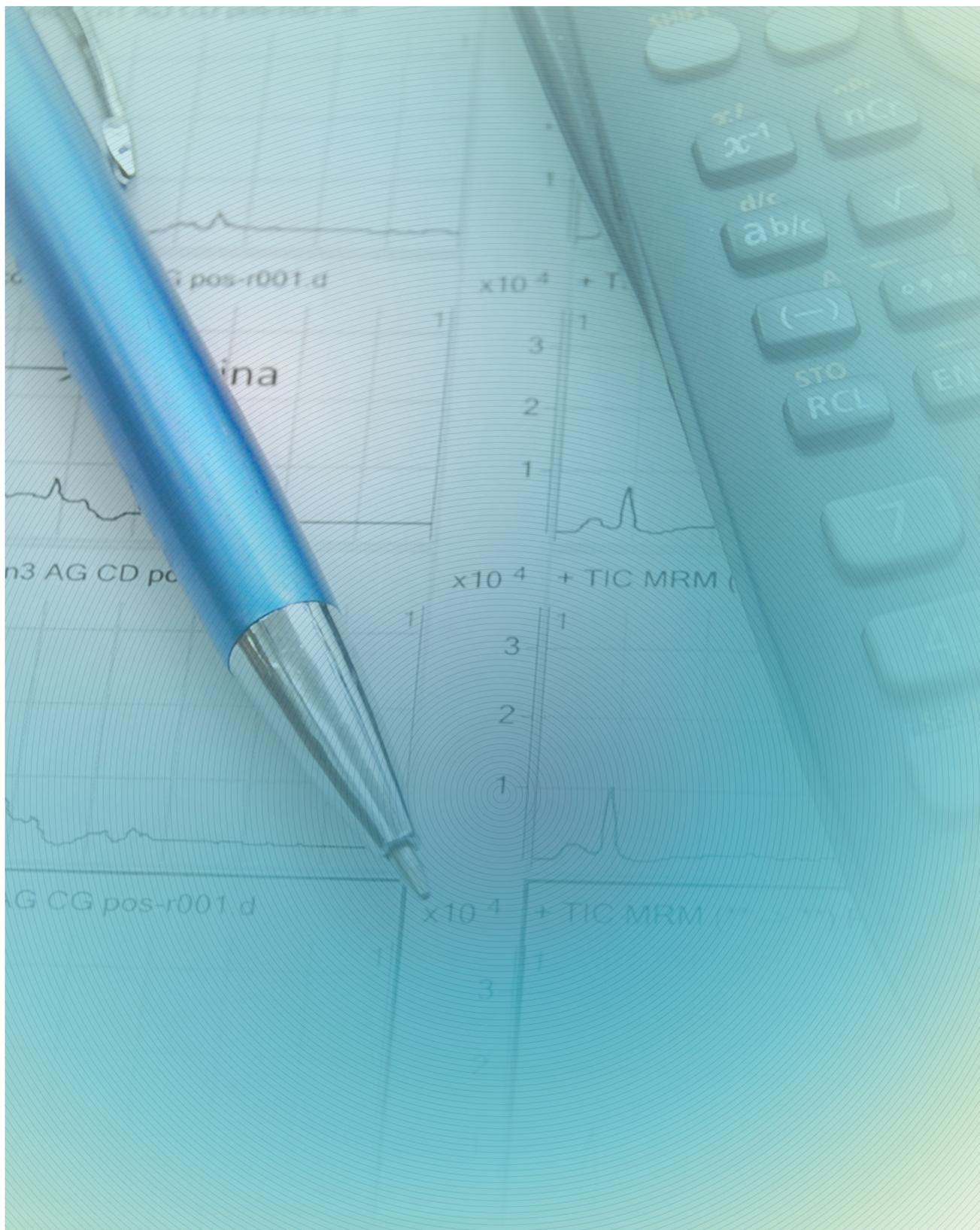
Tabela 9: Estações de tratamento de água de Porto Velho

Sistema	Estação de tratamento de água (ETA)	Capacidade da ETA ¹ ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)
Rio Madeira, igarapé Bate Estaca, poços	ETA 1	0,15
Rio Madeira, igarapé Bate Estaca, poços	ETA 2	0,67

¹CAERD, 2014

Referências

- AMAZÔNIA JORNAL. **Bolonha dobra capacidade.** Amazônia Jornal. 2010. Disponível em: <<http://www.orm.com.br/amazoniajornal/interna/default.asp?modulo=222&codigo=462528>> Acessado em fevereiro de 2014.
- ANA. **Atlas Brasil: Abastecimento Urbano de Água - Resultados por Estado.** Agência Nacional de Águas. 2010. Disponível em: <http://atlas.ana.gov.br/Atlas/downloads/atlas/Resumo%20Executivo/Atlas%20Brasil%20-%20Volume%202%20-%20Resultados%20por%20Estado.pdf>>. Acessado em fevereiro de 2014.
- CAERD. **Companhia de águas e esgoto de Rondônia,** 2014. Disponível em: <http://www.caerd-ro.com.br/>. Acessado em fevereiro de 2014.
- COSANPA. **O caminho da água: do rio Guamá a sua casa.** Belém, 2005. Material didático em forma de pôster. Companhia de Saneamento do Pará.
- COSANPA. **Perfil do abastecimento de água na região metropolitana de Belém.** Companhia de Saneamento do Pará. 2011. Disponível em: <http://www.cosanpa.pa.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=208>. Acessado em fevereiro de 2014.
- IBGE. **Produto Interno Bruto dos Municípios 2010.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2012. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv62930.pdf>>. Acessado em fevereiro de 2014.
- IBGE. **Sinopse do Censo Demográfico 2010.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2011. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv49230.pdf>>. Acessado em fevereiro de 2014.
- MANAUS AMBIENTAL. **Abastecimento de Água.** Manaus Ambiental. 2013. Disponível em: <<http://www.manausambiental.com.br>>. Acessado em fevereiro de 2014.
- PALMAS. **Durante visita a obras da Foz/Sanetatins prefeito destaca benefícios para população.** Prefeitura de Palmas, Gabinete do Prefeito. 2013b. Disponível em: <<http://portal.palmas.to.gov.br/secretaria/gabinete/noticia/1495533/durante-visita-a-obras-da-fozsanetatins-prefeito-destaca-beneficios-para-populacao>>. Acessado em fevereiro de 2014.
- PALMAS. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas-TO - Volume II: Água e Esgoto.** Prefeitura Municipal de Palmas. 2013a. Disponível em: <http://portal.palmas.to.gov.br/media/doc/arquivoservico/PMSB_Palmas_Volume_02_agua_esgoto.pdf>. Acessado em fevereiro de 2014.
- PALMAS. **Prefeito Carlos Amastha e Comitê Gestor de Saneamento visitam obras de ampliação e modernização do sistema de água da Capital.** Prefeitura de Palmas, Secretaria de Infraestrutura e Serviços Públicos. 2013c. Disponível em: <<http://portal.palmas.to.gov.br/secretaria/infraestrutura/noticia/1495491/prefeito-carlos-amastha-e-comite-gestor-de-saneamento-visitam-obras-de-ampliao-e-modernizacao-do-sistema-de-agua-da-capital>>. Acessado em fevereiro de 2014.
- PINTO, A. S. **Saneamento em Manaus: Entendendo e se Fortalecendo.** Instituto Trata Brasil. 2012. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/novo_site/cms/files/2/arlindo/arlindo_aguas.pdf>. Acessado em fevereiro de 2014.
- SILVEIRA, A. C. H; OLIVEIRA, R. M. S.; BENINI, S. M. Análise do comportamento hidrodinâmico em uma ETA de ciclo completo. **Fórum Ambiental da Alta Paulista,** v. 8, p. 89-105, 2012.
- SNIS. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento,** 2011. Disponível em <http://www.snis.gov.br/>. Acessado em fevereiro de 2014.



08

Avaliando os resultados obtidos

FERNANDO F. SODRÉ¹, MARIA C. CANELA², CRISTIANE VIDAL³,
WILSON F. JARDIM³, KÁTIA M. BICHINHO⁴ E MARCO T. GRASSI⁵

¹ Grupo de Automação, Quimiometria e Química Ambiental, Universidade de Brasília

² Grupo de Pesquisa em Química Ambiental, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro

³ Laboratório de Química Ambiental, Universidade Estadual de Campinas

⁴ Laboratório de Estudos em Química Ambiental, Universidade Federal da Paraíba

⁵ Grupo de Química Ambiental, Universidade Federal do Paraná

Apesar de a cafeína ser comprovadamente uma substância indicadora da contaminação fecal de águas superficiais, sua ocorrência em amostras de água para consumo humano ainda é pouco explorada na literatura. Isso ocorre, dentre outros aspectos, em função da expectativa de que os níveis de concentração nessas amostras sejam bastante reduzidos. Entretanto, essa consideração deve ser verdadeira apenas em estudos realizados em países ou regiões que possuem serviços de saneamento que priorizam o tratamento eficiente e não o descarte do esgoto bruto nos mananciais de água.

Segundo o mais recente Relatório de Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto do SNIS (Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento), a média nacional de tratamento do esgoto gerado [*entende-se por volume de esgoto gerado o volume de água consumida, segundo a SNIS*] é de apenas 37,5%, destacando-se a região Centro-Oeste, com uma média de 44% (SNIS, 2013). Segundo o relatório do SNIS, as capitais que possuem maior índice de tratamento de esgotos são: Salvador, com 97,4%, seguida de Curitiba, 87,2% e Brasília, 65,6%. No caso de Brasília, a CAESB/DF divulgou que 100% do volume de esgoto coletado foi tratado. Porém o consumo médio diário per capita de água nesta capital foi de 187,0 L, enquanto que o volume diário per capita de esgoto coletado e tratado foi de 129 L, ou seja, 31% menor que o consumo de água.

Não há dúvidas de que o investimento em tratamento de esgotos reduz os gastos com o tratamento da água para abastecimento público, pois os mananciais utilizados para captação de água estarão com qualidade melhor que aqueles que recebem descargas de esgoto bruto. O Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos de 2013, disponível no *site* da Agência Nacional de Águas (ANA, 2013), mostra que áreas urbanas possuem maior incidência de águas com Índices de Qualidade da Água (IQA) considerados péssimos e ruins. Nesses casos, são águas que necessitam de tratamentos mais avançados para poderem ser destinadas ao abastecimento público. Segundo o relatório, dentre os 2.001 pontos monitorados, 148 deles localizam-se em áreas urbanas, sendo que os percentuais de pontos amostrais que apresentaram IQA ruim e péssimo foram de 32% e 12%, respectivamente. Por outro lado, mananciais localizados nos rios Tietê e Paraíba do Sul, por exemplo, apresentaram melhores resultados entre 2001 e 2011, devido justamente ao aumento de investimentos em coleta e tratamento de esgotos. Assim, os resultados mostrados neste

livro são nada mais que um reflexo do cenário de saneamento no Brasil.

Neste estudo, 61 pontos amostrais foram estabelecidos em 22 capitais brasileiras incluindo Brasília, a capital do Distrito Federal. Justamente na capital do país é onde foi estabelecido o maior número de pontos amostrais. Os cinco pontos amostrais localizados em Brasília refletem o elevado número de sistemas produtores de água para consumo humano, conforme visto no capítulo 7. Em outras capitais, como São Paulo (SP) e Rio de Janeiro (RJ), o critério para seleção dos pontos amostrais se baseou, majoritariamente, no número total de habitantes e na distribuição geográfica. Nessas capitais foram obtidas quatro amostras representativas. As cidades de Fortaleza (CE) e Recife (PE) também contribuíram com quatro pontos amostrais, seguidas de Porto Alegre (RS), Curitiba (PR), Belo Horizonte (MG), Vitória (ES), Cuiabá (MT), Manaus (AM), Belém (PA) e Salvador (BA), com três pontos amostrais cada; Goiânia (GO), Campo Grande (MS), Porto Velho (RO), Natal (RN), São Luís (MA), João Pessoa (PB) e Teresina (PI), com dois pontos cada e, finalmente, Florianópolis (SC) e Palmas (TO), que contribuíram com apenas um ponto amostral.

Amostras de água para consumo humano foram coletadas durante duas campanhas amostrais realizadas entre julho e setembro de 2011 e 2012, ambas durante o período de inverno. Muitos estudos mostram que existem variações sazonais importantes relacionadas aos níveis de concentração de contaminantes emergentes em águas superficiais brasileiras (Locatelli et al., 2011; Montagner; Jardim, 2011). Entretanto, até o momento, nenhum estudo levantou evidências com relação a possíveis efeitos sazonais em amostras de água para consumo humano.

Os níveis de cafeína nas amostras provenientes das duas campanhas amostrais são mostrados na Tabela 1. Os pontos amostrais de cada capital são identificados com a sigla do respectivo estado, seguida de um número. Também é possível observar que as amostras estão agrupadas por região. Porto Velho e Palmas foram investigadas apenas na primeira campanha amostral, enquanto que Campo Grande, Manaus, Belém, São Luís, Teresina e Salvador forneceram amostras somente durante a segunda campanha amostral. As demais capitais foram estudadas nos dois períodos de amostragem, sendo que em São Paulo e no Rio de Janeiro houve alteração de pontos amostrais entre a primeira e a segunda campanha.

Tabela 1: Concentração de cafeína determinada em duas campanhas realizadas em capitais estaduais de diferentes regiões brasileiras

Cidade	Ponto amostral	Descrição do ponto amostral	Concentração (ng L ⁻¹)	
			1ª campanha	2ª campanha
<i>Região Sul</i>				
Porto Alegre	RS-1	Bairro Paternon	236	1342
	RS-2	Bairro Protásio Alves	139	2769
	RS-3	Bairro Bela Vista	122	2659
Curitiba	PR-1	Bairro Cajuru	8,0	167
	PR-2	Bairro Rebouças	6,1	157
	PR-3	Bairro Cidade Industrial	4,2	25
Florianópolis	SC-1	Sistema de Águas da Grande Florianópolis	3,9	19
<i>Região Sudeste</i>				
São Paulo	SP-1	Sistema Guarapiranga	348	198
	SP-2	Sistema Cantareira	42	84
	SP-3	Sistema Rio Grande	n.c.	38
	SP-4	Sistema Rio Claro	13	n.c.
Rio de Janeiro	RJ-1	Centro	4,0	26
	RJ-2	Zona Sul	3,8	36
	RJ-3	Zona Norte	14	n.c.
	RJ-4	Zona Oeste	5,9	n.c.
Belo Horizonte	MG-1	Bairro Santo Antonio	85	599
	MG-2	Bairro Buritis	6,9	8,0
	MG-3	Bairro Savassi	3,5	11
Vitória	ES-1	Bairro Bento Ferreira	5,1	267
	ES-2	Cariacica	6,2	157
	ES-3	Bairro São Pedro	3,0	165
<i>Região Centro-Oeste</i>				
Brasília	DF-1	Asa Norte	8,0	38
	DF-2	Asa Sul	8,0	11
	DF-3	Águas Claras	13	32
	DF-4	Ceilândia	10	29
	DF-5	Lago Sul	8,0	11
Goiânia	GO-1	Setor Sul	4,0	70
	GO-2	Jardim Planalto	11	41
Cuiabá	MT-1	Bairro Quilombo	6,5	27
	MT-2	Jardim das Américas	4,7	9,0
	MT-3	Bairro CoopHEMA	5,3	629
Campo Grande	MS-1	Parque Residencial Rita Vieira	n.c.	1793
	MS-2	Bairro Vilas Boas	n.c.	6,0

n.c.: amostra não coletada; LD: Limite de detecção

Tabela 1: Continuação.

Cidade	Ponto amostral	Descrição do ponto amostral	Concentração (ng L ⁻¹)	
			1ª campanha	2ª campanha
<i>Região Norte</i>				
Manaus	AM-1	Bairro da Paz	n.c.	8,0
	AM-2	Bairro Adrianópolis	n.c.	11
	AM-3	Distrito Industrial	n.c.	35
Belém	PA-1	Bairro Nazaré	n.c.	51
	PA-2	Bairro Cidade Velha	n.c.	61
	PA-3	Bairro Guama	n.c.	133
Porto Velho	RO-1	Bairro Centro	4,5	n.c.
	RO-2	Bairro Centro	1,8	n.c.
Palmas	TO-1	Plano Diretor Sul	12	n.c.
<i>Região Nordeste</i>				
Recife	PE-1	Bairro Alto do Céu	3,3	8,0
	PE-2	Bairro Ouro Preto, Olinda	4,0	4,0
	PE-3	Bairro Casa Caiada	8,0	<LD
	PE-4	Bairro Dois Irmãos	7,0	2,0
Fortaleza	CE-1	Município de Eusébio	<LD	5,0
	CE-2	Bairro Pici	<LD	<LD
	CE-3	Bairro Meireles	<LD	<LD
	CE-4	Bairro Benfica	<LD	2,0
Salvador	BA-1	Bairro Costa Azul	n.c.	7,0
	BA-2	Bairro Itapuã	n.c.	34
	BA-3	Bairro Ondina	n.c.	8,0
Natal	RN-1	Bairro Ponta Negra	11	8,0
	RN-2	Bairro Pajuçara	4,0	98
São Luís	MA-1	Conjunto Bequimão	n.c.	4,0
	MA-2	Bairro Camboa	n.c.	12
João Pessoa	PB-1	Bairro Castelo Branco	2,0	5,0
	PB-2	Bairro Jardim Planalto	3,8	74
Teresina	PI-1	Bairro São João	n.c.	196
	PI-2	Bairro Centro	n.c.	180

n.c.: amostra não coletada; LD: Limite de detecção

Considerando-se as duas campanhas amostrais, 100 amostras de água para consumo humano foram analisadas neste trabalho. A cafeína foi detectada em 93 amostras. Isso corresponde a uma frequência de detecção de 93%, maior do que a encontrada em estudos similares realizados

na China (Leung et al., 2013) e na Espanha (Boleda et al., 2011), nos quais a frequência de detecção não ultrapassou 88%. Em 2010, Sodré et al. (2010) investigaram a presença de cafeína e de outros contaminantes emergentes na água para consumo humano distribuída na

cidade de Campinas (SP) e detectaram cafeína em todas as amostras investigadas. Frequências de detecção de 100% também foram observadas neste estudo na comparação dos resultados obtidos nas diferentes regiões do país. Cafeína foi encontrada em todas as amostras das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Norte. Na região Nordeste, a cafeína foi detectada em 77% das amostras. Isso se deveu à baixa frequência de detecção observada nas amostras de Recife (87%) e, notadamente, Fortaleza (25%).

Os níveis de concentração de cafeína apresentaram grande variação, tanto entre capitais quanto entre as diferentes campanhas amostrais. Observou-se um aumento nos níveis de concentração entre a primeira e a segunda campanha em 81% das amostras. Em alguns casos, o aumento foi incipiente, permanecendo na mesma faixa de magnitude, enquanto que em alguns pontos amostrais observou-se variação de até duas ordens de grandeza. Esse comportamento é similar ao comumente observado em amostras de águas superficiais, nas quais os níveis de contaminantes emergentes em uma mesma região podem se apresentar dentro de até três ordens de grandeza (Vethaak et al., 2005; Montagner; Jardim, 2011).

Variações também podem ocorrer por aspectos sazonais ou ainda em função do uso do solo em uma determinada bacia hidrográfica. Mesmo assim, para alguns pontos amostrais, o aumento observado foi extremamente elevado como, por exemplo, no ponto amostral MT-3, no qual o nível de cafeína aumentou mais de 100 vezes entre as duas campanhas amostrais. Em duas situações, o aumento observado foi de cerca de 50 vezes, enquanto que, na maioria dos casos, o aumento foi inferior a dez vezes. É importante destacar, entretanto, que, por se tratar de uma substância presente em nosso dia a dia, são esperadas variações na concentração de cafeína não apenas sazonais, mas também semanais ou mesmo diárias, em função do seu padrão intermitente de consumo.

Nenhum estudo até o momento investigou a variabilidade semanal ou diária de contaminantes emergentes na água para consumo humano, embora alguns estudos já tenham sido realizados no Brasil com amostras diretamente relacionadas à origem da cafeína na água para consumo humano. Feitosa (2013) investigou a ocorrência de duas drogas de abuso em amostras de esgoto bruto em todos os dias de uma semana e observou que os

níveis de concentração dobravam durante os fins de semana. Locatelli (2011) observou variações semanais e diárias relacionadas à presença de antibióticos em águas superficiais utilizadas para produção de água para consumo humano.

De acordo com os dados mostrados na Tabela 1, a concentração de cafeína nas amostras variou entre $1,8 \text{ ng L}^{-1}$ (RO-2) e 2769 ng L^{-1} (RS-2). É importante mencionar, entretanto, que a distribuição das concentrações nas amostras não foi uniforme. A Figura 1 mostra a distribuição da concentração de cafeína nas amostras investigadas. Apenas 4% das amostras apresentaram níveis superiores a 1000 ng L^{-1} . Em 16% dos casos, a concentração de cafeína variou entre 100 e 1000 ng L^{-1} . No entanto, na maioria das amostras investigadas, ou seja, em cerca de 60% delas, a concentração de cafeína não ultrapassou 20 ng L^{-1} .

A concentração média de cafeína determinada em cada capital é mostrada na Figura 2. Os valores mostrados nessa figura foram calculados levando-se em consideração as concentrações individuais determinadas em todos os pontos amostrais de uma mesma capital nas duas campanhas amostrais. A barra de erro que acompanha cada uma das colunas indica a variabilidade dos resultados representada pelo intervalo de confiança a 95% de confiabilidade. É importante mencionar que, devido às diferenças de concentração de cafeína na água das capitais, os valores são comparados em escala logarítmica.

Observa-se, na Figura 2, que duas capitais apresentaram níveis médios de concentração significativamente superiores quando comparados aos resultados das outras capitais. Porto Alegre apresentou a maior concentração de cafeína na água para consumo humano, com um valor médio de 1.211 ng L^{-1} . Os valores mínimo e máximo determinados nas águas dessa capital foram 122 ng L^{-1} e 2.769 ng L^{-1} , respectivamente, em um total de seis amostras coletadas nas duas campanhas amostrais. Campo Grande apresentou concentração média de 900 ng L^{-1} de cafeína em suas águas. Porém é importante mencionar que apenas duas amostras foram coletadas nessa capital, ambas na segunda campanha. Os valores determinados foram de $6,0 \text{ ng L}^{-1}$ (MS-1) e 1.793 ng L^{-1} (MS-2). A constatação de concentrações tão diferentes em duas amostras coletadas em diferentes pontos amostrais da cidade evidencia que um dos sistemas produtores de água para consumo humano dessa capital

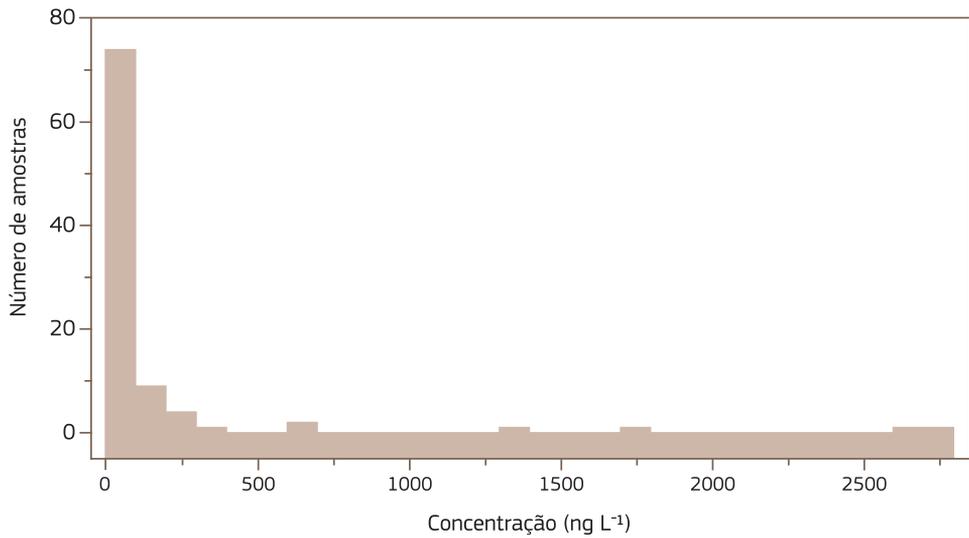


Figura 1: Histograma de distribuição das amostras em função dos níveis de concentração de cafeína

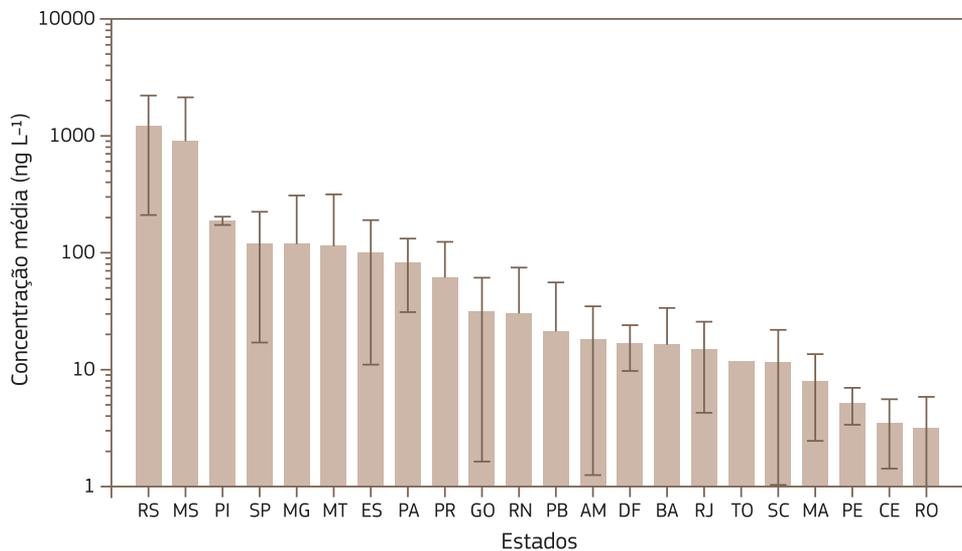


Figura 2: Concentração média de cafeína determinada em 21 capitais estaduais e na capital federal; barras indicam intervalo de confiança a 95% de significância calculada com base em valores de desvio padrão ($n > 2$) ou desvio médio ($n = 2$)

apresenta problemas com relação à qualidade da água produzida. Em resumo, os valores mostrados para Porto Alegre são mais consistentes e, igualmente, mais representativos. Na capital sul-matogrossense, ao contrário, são necessários dados complementares para tornar os resultados

mais representativos e possibilitar a construção de um cenário de contaminação mais fidedigno.

Geralmente, a presença de cafeína na água para consumo humano tem sido abordada na literatura apenas como forma de traçar

a contaminação direta das fontes de água e não como forma de avaliação da situação dos serviços de água e esgoto. Rabiet et al. (2006), por exemplo, investigaram a presença de cafeína como indicadora de contaminação fecal em amostras de água coletadas em poços que, sabidamente, apresentavam contaminação direta por esgoto. Em alguns pontos amostrais, a concentração de cafeína variou entre 1,5 e 23 ng L⁻¹. No estudo de Rabiet et al., a concentração mais elevada observada pelos autores é cerca de 1.000 vezes menor que as concentrações máximas determinadas nas amostras de Porto Alegre e Campo Grande.

Cinco capitais estaduais apresentaram concentração média de cafeína na faixa entre 100 e 200 ng L⁻¹. Em Teresina, uma concentração de 188 ng L⁻¹ foi obtida a partir de valores individuais referentes às duas amostras coletadas durante a segunda campanha. Nessa capital, foi observada a menor variação entre as concentrações determinadas nos diferentes pontos amostrais, conforme pode ser visto na Tabela 1. A capital paulista apresentou concentração média de 121 ng L⁻¹, seguida de Belo Horizonte (119 ng L⁻¹), Cuiabá (114 ng L⁻¹) e Vitória (101 ng L⁻¹). Em São Paulo, a concentração média foi obtida a partir de seis concentrações individuais, as quais apresentaram um valor mínimo de 13 ng L⁻¹ e máximo de 348 ng L⁻¹. Embora as concentrações médias determinadas em São Paulo e Belo Horizonte sejam bastante próximas, na capital mineira, valores de até 599 ng L⁻¹ foram determinados em amostras de água para consumo humano. A amostra mais impactada de Belo Horizonte corresponde justamente à água captada no Rio das Velhas, ponto de captação mais impactado pela urbanização, sugerindo que a concentração de cafeína na água tratada esteja diretamente relacionada com a presença de esgoto doméstico.

Em Cuiabá foi observada a maior diferença de concentração dentro do conjunto de valores para uma capital. Dentre as seis amostras coletadas durante as duas campanhas amostrais, cinco apresentaram-se na faixa entre 4,7 e 27 ng L⁻¹, enquanto que uma das amostras apresentou concentração de 629 ng L⁻¹. A amostra coletada no ponto MT-3 localiza-se à jusante do centro da capital, o que poderia explicar a presença de quantidades elevadas de cafeína no manancial de água utilizado para captação. Entretanto, esse valor diferenciado foi observado apenas na segunda campanha amostral, sendo que na

primeira a concentração de cafeína nesse ponto amostral não destoou dos demais.

Na capital do Espírito Santo foram coletadas seis amostras nas duas campanhas amostrais, levando a um valor médio de 101 ng L⁻¹. Interessante notar que assim como no ponto MT-3 em todos os pontos amostrais de Vitória a concentração de cafeína na água para consumo humano foi, sistematicamente, mais elevada na segunda campanha amostral, variando entre 157 e 267 ng L⁻¹. Durante a primeira campanha, ao contrário, a concentração máxima determinada não ultrapassou 6,2 ng L⁻¹.

Nas capitais Belém, Curitiba, Goiânia e Natal, as concentrações médias de cafeína na água para consumo humano foram de 82, 61, 31 e 30 ng L⁻¹, respectivamente. Em todas essas capitais, concentrações mais elevadas foram determinadas na segunda campanha amostral, com exceção de Belém, onde não foram coletadas amostras durante a primeira campanha amostral, impossibilitando a comparação.

As demais capitais apresentaram concentrações médias de cafeína inferiores a 21 ng L⁻¹. Nesse caso, convém destacar os baixos níveis médios determinados em São Luís (8,0 ng L⁻¹), Recife (5,0 ng L⁻¹), Fortaleza (4,0 ng L⁻¹) e Porto Velho (3,0 ng L⁻¹). De uma maneira geral, é possível observar, com base nas informações na Tabela 1 e da Figura 2, que os níveis mais elevados de cafeína foram determinados nas capitais continentais, em detrimento das capitais localizadas no litoral atlântico. Dentre as dez capitais que apresentaram as maiores concentrações de cafeína em sua água destinada ao abastecimento público, nove localizam-se no interior do país. Com exceção de Vitória, todas as demais capitais litorâneas investigadas neste trabalho apresentaram níveis médios inferiores a 30 ng L⁻¹.

A grande maioria dos estudos realizados em países como Estados Unidos, Canadá, França e Espanha busca determinar os níveis de cafeína na água para consumo humano como forma de avaliar sua taxa de remoção durante o tratamento de água ou, ainda, a eficiência de etapas específicas de remoção (Stackelberg et al., 2004; 2007; Hua et al., 2006; Gibs et al., 2007; Viglino et al., 2008; Togola; Budzinski, 2008; Huerta-Fontela et al., 2008; Boleda et al., 2010; Mompelat et al., 2011). Nesses trabalhos, a concentração máxima de cafeína na água produzida após diversos tipos de tratamento não ultrapassou 120 ng L⁻¹.

Na China, Leung et al. (2013) investigaram a presença de 11 produtos farmacêuticos na água para consumo humano distribuída nas 13 cidades mais populosas do país e verificaram que a cafeína foi a substância mais frequentemente detectada (88%), apresentando concentração mediana de 24 ng L⁻¹. Observaram também que apenas algumas amostras da cidade de Hangzhou apresentaram níveis acima de 400 ng L⁻¹ (máximo de 564 ng L⁻¹).

As Figuras 3 e 4 mostram a variação nos níveis de cafeína nas amostras de diferentes regiões investigadas. Os resultados são mostrados em escala logarítmica e em gráficos *box-whiskers*, nos quais é possível identificar, além da variabilidade dos dados, os valores médios, medianos, máximos e mínimos. Para efeito de construção dos gráficos, foram consideradas apenas as amostras que apresentaram resultado numérico. Ou seja, as amostras em que a cafeína não foi detectada não foram incluídas na construção dos gráficos. Na Figura 3 também é possível observar a distribuição dos dados experimentais ao lado de cada gráfico

box-whiskers atribuído a cada uma das cinco regiões brasileiras.

É possível observar que as amostras provenientes da região Sul apresentaram a maior variabilidade dos resultados, assim como valores médios e medianos mais elevados em comparação com as demais regiões. Conforme mostrado anteriormente, nessa região foram determinados os valores mais elevados de cafeína na água para consumo humano, provenientes de Porto Alegre (Figura 4). É interessante notar que há uma diferença marcante entre os valores médios e medianos determinados, sendo que a média, representada pelo círculo preenchido, é significativamente maior que a mediana. Isso ocorre em função da distribuição desuniforme dos dados experimentais obtidos, nos quais valores bastante elevados, em menor prevalência, exercem grande peso para o aumento da média aritmética. Esse comportamento também foi observado para as amostras das demais regiões investigadas. De uma maneira geral, os valores médios foram três a quatro vezes maiores que os medianos para todas as regiões do país, com exceção da região Centro-Oeste, na qual a média

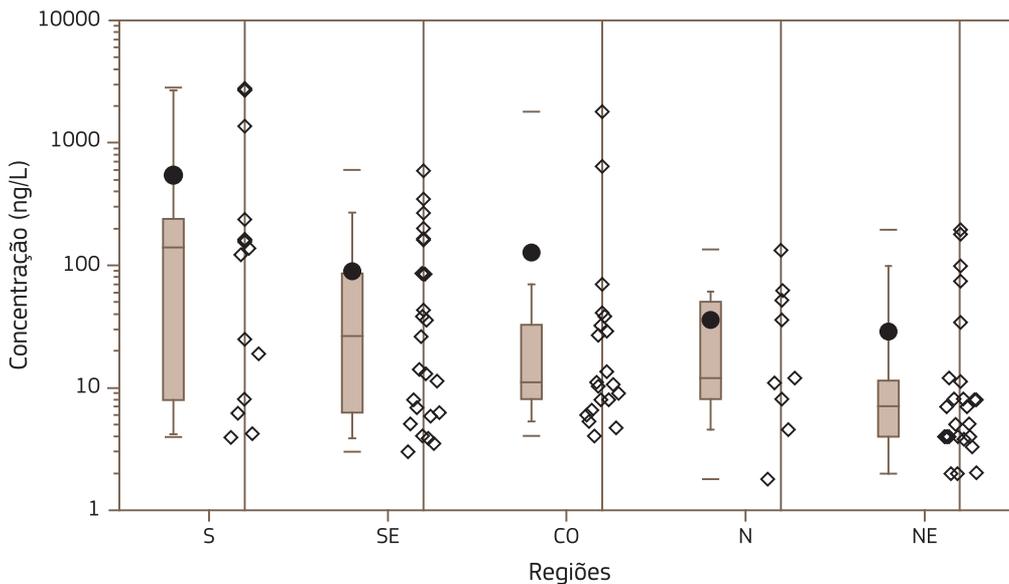


Figura 3: Distribuição de cafeína nas amostras de água tratada coletadas em diferentes regiões brasileiras; nos gráficos *box-whiskers*, à esquerda, as linhas horizontais da caixa representam 25, 50 (mediana) e 75% dos valores, as barras de erro indicam 10 e 90%, o círculo preenchido representa o valor médio e os traços horizontais correspondem aos valores máximo e mínimo; à direita do gráfico é mostrada a distribuição de todos os dados experimentais.

foi 12 vezes maior que a mediana. Isso se deveu aos elevados valores determinados nos pontos amostrais MT-3 e MS-1.

Os níveis globais de cafeína na água para consumo humano foram investigados por Boleda et al. (2011) juntamente com a concentração de outras 26 drogas de abuso. Os autores coletaram 50 amostras em 43 cidades da Espanha, 15 amostras em grandes cidades da Áustria (1), França (4), Alemanha (3), Islândia (2), Eslováquia (1), Suíça (2) e Reino Unido (2), nove amostras em países da América Latina, a saber, Argentina (1), Brasil (1), Chile (2), Colômbia (1), Panamá (1),

Peru (2) e Uruguai (1), assim como três amostras coletadas em cidades do Japão. Encontraram cafeína em todas as amostras provenientes da Espanha, as quais apresentaram média de 50 ng L^{-1} e mediana de 24 ng L^{-1} . A concentração mais elevada encontrada nessas amostras foi de 392 ng L^{-1} . Considerando o universo amostral formado pelas amostras oriundas das demais cidades da Europa, Japão e América Latina, verificaram uma frequência de detecção de 81%, sendo que a média calculada para as amostras da América Latina (38 ng L^{-1}) foi a maior em comparação às calculadas para Japão (33 ng L^{-1}) e Europa (7 ng L^{-1}).

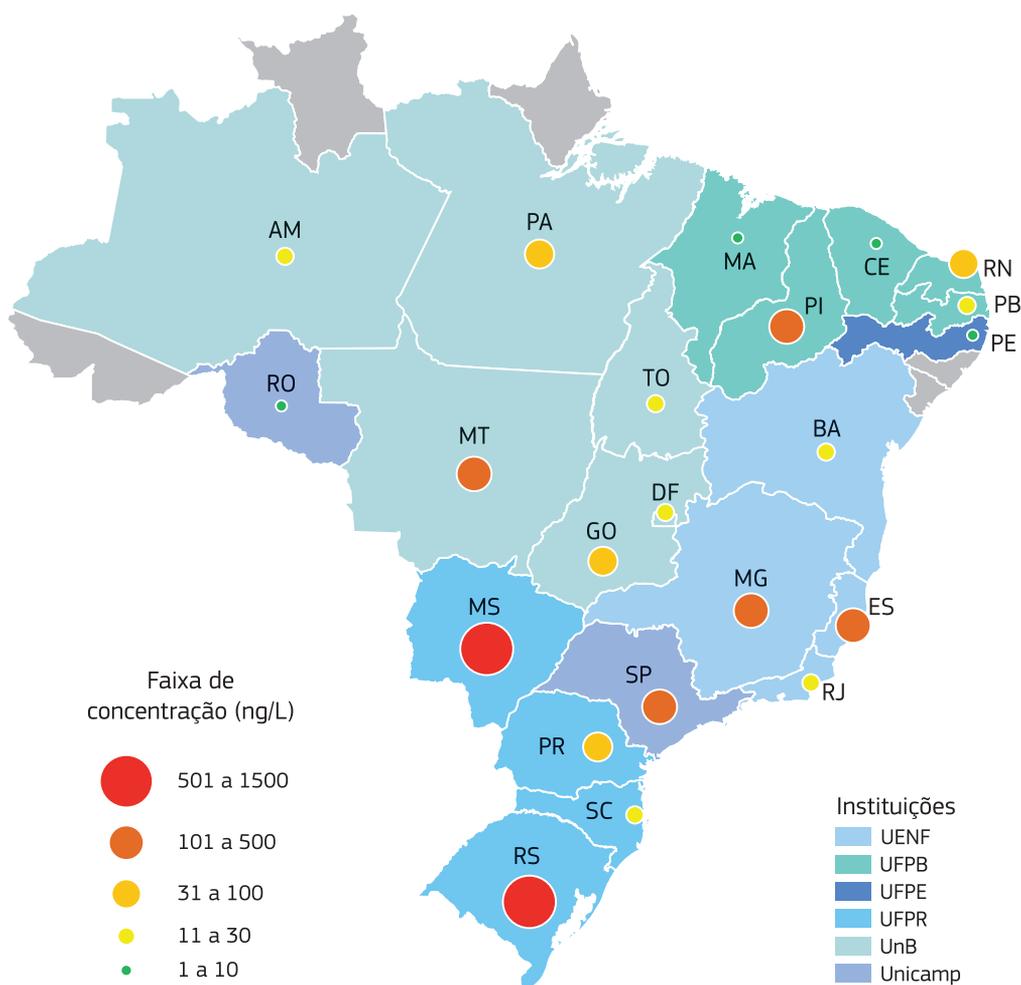


Figura 4: Faixa média de concentração de cafeína encontrada na água das capitais brasileiras estudadas e as instituições responsáveis pelas coletas

Referências

- ANA, **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil – 2013**. Agência Nacional de Águas. 2013. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/webSite_relatorioConjuntura/projeto/index.html>. Acesso em 27 fev. 2014.
- BOLEDA, M. R.; HUERTA-FONTELA, M.; VENTURA, F.; GALCERAN, M. T. Evaluation of the presence of drugs of abuse in tap waters. **Chemosphere**, v. 84, p. 1601–1607, 2011.
- BOLEDA, M. R.; MAJAMAA, K.; AERTS, P.; GÓMEZ, V.; GALCERAN, M. T.; VENTURA, F. Removal of drugs of abuse from municipal waste water using reverse osmosis membranes. **Desalination**, v. 21, p. 122–130, 2010.
- FEITOSA, F. S. **Determinação de cocaína e benzoilecgonina em amostras de esgoto bruto do Distrito Federal como suporte à realização de estimativas de consumo**. 2012. 81f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade de Brasília, Brasília, 2013.
- GIBBS, J.; STACKELBERG, P. E.; FURLONG, E. T.; MEYER, M.; ZAUGG, S. D.; LIPPINCOT, R. L. Persistence of pharmaceutical compounds and other organic wastewater contaminants in chlorinated drinking water as a function of time. **Science of the Total Environment**, v. 373, p. 240–249, 2007.
- HUA, W.; BENNET, E. R.; LETCHER, R. Ozone treatment and the depletion of detectable pharmaceuticals and atrazine herbicides in drinking water sourced from the Detroit River, Ontario, Canada. **Water Research**, v. 40, p. 2259–2266, 2006.
- HUERTA-FONTELA, M.; GALCERAN, M. T.; VENTURA, F. Stimulatory drugs of abuse in surface waters and their removal in a conventional drinking water treatment plant. **Environmental Science and Technology**, v. 42, p. 6809–6816, 2008.
- LEUNG, H. W.; JIN, L.; WEI, S.; TSUI, M. M. P.; ZHOU, B. S.; JIAO, L. P.; CHEUNG, P. C.; CHUN, Y. K.; MURPHY, M. B.; LAM, P. K. S. Pharmaceuticals in tap water: human health risk assessment and proposed monitoring framework in China. **Environmental Health Perspectives**, v. 121, p. 839–846, 2013.
- LOCATELLI, M. A. F. **Avaliação da presença de antibióticos e drogas ilícitas na Bacia do Rio Atibaia**. 2011, 164f. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.
- LOCATELLI, M. A. F.; SODRÉ, F. F.; JARDIM, W. F. Determination of antibiotics in Brazilian surface waters using liquid chromatography electrospray tandem mass spectrometry. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology** v. 60, p. 385–393, 2011.
- MOMPELAT, S.; THOMAS, O.; LE BOT, B. Contamination levels of human pharmaceutical compounds in French surface and drinking water. **Journal of Environmental Monitoring**, v. 13, p. 2929–2939, 2011.
- MONTAGNER, C. C.; JARDIM, W. F. Spatial and seasonal variations of pharmaceuticals and endocrine disruptors in the Atibaia River, São Paulo State (Brazil). **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 22, p. 1452–1462, 2011.
- RABIET, M.; TOGOLA, A.; BRISSAUD, F.; SEIDEL, J. L.; BUDZINSKI H.; ELBAZ-POULICHET F. Consequences of treated water recycling as regards pharmaceuticals and drugs in surface and ground waters of a medium-sized mediterranean catchment. **Environmental Science and Technology**, v. 40, p. 5282–5288, 2006.
- SNIS, **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2011**. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. 2013. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=101>>. Acesso em: 27 fev. 2014.
- SODRÉ, F. F.; LOCATELLI, M. A. F.; JARDIM, W. F. Occurrence of emerging contaminants in Brazilian drinking waters: a sewage-to-tap issue. **Water Air and Soil Pollution** v. 206, p. 57–67, 2010.
- STACKELBERG, P. E.; FURLONG, E. T.; MEYER, M. T.; ZAUGG, S. D.; HENDERSON, A. K.; REISSMAND, D. B. Persistence of pharmaceutical compounds and other organic wastewater contaminants in a conventional drinking water treatment plant. **Science of the Total Environment**, v. 329, p. 99–113, 2004.
- STACKELBERG, P. E.; GIBBS, J.; FURLONG, E. T.; MEYER, M. T.; ZAUGG, S. D.; LIPPINCOTT, L. Efficiency of conventional drinking water treatment processes in removal of pharmaceuticals and other organic compounds. **Science of the Total Environment**, v. 377, p. 255–272, 2007.
- TOGOLA, A.; BUDZINSKI, H. Multiresidue analysis of pharmaceutical compounds in aqueous samples. **Journal of Chromatography A**, v. 1177, p. 150–158, 2008.
- VETHAAK, A. D.; LAHR, J.; SCHRAP, S. M.; BELFROID, A. C.; RIJS, G. B. J.; GERRITSEN, A.; DE BOER, J.; BULDER, A. S.; GRINWIS, G. C. M.; KUIPER, R. V.; LEGLER, J.; MURK, T. A. J.; PEIJNENBURG, W.; VERHAAR, H. J. M.; DE VOOGT, P. An integrated assessment of estrogenic contamination and biological effects in the aquatic environment of The Netherlands; **Chemosphere**; v. 59; p. 511–524, 2005.
- VIGLINO, L.; ABOULFADL, K.; MAHVELAT, A. D.; PREVOST, M.; SAUVE, S. On-line solid phase extraction and liquid chromatography/tandem mass spectrometry to quantify pharmaceuticals, pesticides and some metabolites in wastewaters, drinking and surface waters. **Journal of Environmental Monitoring**, v. 10, p. 482–489, 2008.



09

Finalizando

WILSON DE FIGUEIREDO JARDIM¹

¹Laboratório de Química Ambiental, Universidade Estadual de Campinas

Este é um trabalho pioneiro no Brasil, voltado para a investigação da presença de contaminantes emergentes na água de abastecimento na maioria das capitais brasileiras. Um trabalho dessa envergadura somente se concretizou devido ao esforço conjunto de inúmeras instituições de ensino e pesquisa do país participantes do Instituto Nacional de Ciências e Tecnologias Analíticas Avançadas (INCTAA). Ao abranger cerca de 40 milhões de pessoas que são servidas pelas produtoras de água que abastecem essas capitais, o projeto abarca também um compromisso social imensurável, revelando aspectos ainda pouco explorados no campo da saúde pública e da exposição ambiental.

O tema Contaminantes Emergentes tem chamado a atenção de inúmeros países, além de ter sido apontado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como um problema real que demanda ações imediatas no conhecimento das fontes de emissão e controle ambiental dessas substâncias. Para os legisladores e tomadores de decisão, acostumados a trabalhar com compostos individuais, fica a árdua tarefa de traçar estratégias de como agir para controlar cerca de mil substâncias que se enquadram hoje na definição de contaminante emergente.

Os resultados apresentados neste trabalho mostram apenas uma parte da realidade sobre a água de abastecimento ofertada à população em grande parte das capitais brasileiras. Falar da qualidade das águas de abastecimento sem falar na qualidade dos mananciais seria mostrar apenas a metade da triste realidade que o Brasil apresenta no tocante ao saneamento básico. Embora faça parte de um seleto grupo, estando entre as 10 maiores economias mundiais, o saneamento no nosso país nos coloca mais numa posição de extrema pobreza. O lançamento de esgoto sanitário *in natura* nos rios e lagos por décadas tornaram nossos mananciais vulneráveis e contaminados. Soma-se a isso a degradação que veio associada à ocupação urbana desordenada e o adensamento populacional em áreas de proteção de mananciais. Captar água de péssima qualidade para abastecer a população exige estações de tratamento de água

providas de processos sofisticados, o que está longe de ser a realidade brasileira.

Na impossibilidade de se analisar um número muito grande de compostos, optou-se por usar a cafeína como indicador da qualidade das águas coletadas nas capitais selecionadas. Como já dito, os valores de cafeína encontrados na água servida à população não são motivo de preocupação quanto à saúde pública, pois estão numa faixa de mil a 10 mil vezes menor do encontrado numa única xícara de café. O importante é saber que a cafeína que é encontrada na água da rede vem do esgoto sanitário lançado no manancial e, assim sendo, quando se detecta cafeína, a possibilidade de se encontrar uma série de outros compostos como drogas lícitas e ilícitas, produtos de higiene pessoal, hormônios, fármacos e outros é muito grande.

O fator mais preocupante deste estudo foi mostrar que as concentrações de cafeína encontradas nas amostras de água de abastecimento de algumas capitais chegam a ser mil vezes superiores àquelas encontradas em capitais populosas na Europa e EUA. Considerando que devido às mudanças climáticas existe a previsão de que a oferta de água seja prejudicada, esse cenário pode se tornar ainda mais preocupante, pois tenderia a aumentar o impacto associado ao lançamento de esgoto nos corpos aquáticos e, indiretamente, a exposição humana.

No entanto, há que se considerar um aspecto importante frente ao quadro aqui apresentado, uma vez que as amostras foram coletadas em apenas uma época do ciclo hidrológico, quase sempre coincidindo com o pior cenário esperado. Assim, não se pode excluir a possibilidade de que essa radiografia instantânea aqui mostrada não corresponda à realidade ao longo do ano. O fato é que um trabalho mais sistemático sobre esse tema mostra-se necessário e, levando-se em consideração as dificuldades logísticas de pessoal capacitado e a extensa área do Brasil, muito certamente seria necessária a participação de outros segmentos governamentais, como a Agência Nacional de Águas (Ministério do Meio Ambiente) e o Ministério da Saúde.