

Avaliação Ecotoxicológica dos Impactos Ambientais Associados às Ações Humanas nos Ambientes Aquáticos

Bruna Alves Pinheiro

Bolsista Capacitação Institucional, Biologia, Souza Marques

Silvia Gonçalves Egler

Orientadora, Bióloga, M. Sc.

Resumo

O presente trabalho avaliou a qualidade das águas superficiais da bacia do rio Piabanha – RJ através de análises físico-químicas, químicas e ecotoxicológicas. Foram realizadas coletas de águas no período de maio de 2014 a fevereiro de 2015 em 10 pontos. Para os parâmetros físico-químicos foram analisados pH, oxigênio dissolvido (OD), condutividade, temperatura, potencial de oxi-redução e dureza por titulação com EDTA. Elementos traço como As, Cd, Cu, Cr, Mn, Pb e Zn foram determinados nas amostras coletadas. Foram realizados bioensaios de toxicidade aguda com *Daphnia similis*, e de toxicidade crônica com *Pseudokichneriella subcapitata*. Os resultados obtidos para os parâmetros físico-químicos mostraram que em alguns pontos de amostragem a condutividade e OD foram os parâmetros indicadores de contaminação. Eventos agudos de contaminação ocorreram em trechos urbanos e rurais e a bacia como um todo apresenta toxicidade crônica e eutrofização, provavelmente decorrentes de despejos orgânicos.

1. Introdução

A deterioração da qualidade e disponibilidade dos recursos hídricos, causada pela sua contaminação por atividades antrópicas, tem se agravado desde a revolução industrial do século XIX. O fator humano na formação da composição química da água é tão importante quanto o ciclo geoquímico natural e os processos biológicos. As fontes poluidoras podem ser agrupadas em três tipos principais: i) esgotos domésticos e outros efluentes urbanos; ii) efluentes e rejeitos industriais; e iii) poluição difusa em áreas rurais por agrotóxicos, adubos orgânicos e químicos, etc.

A resolução número 357/05 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2005) estabelece parâmetros que definem limites aceitáveis de substâncias inorgânicas e orgânicas para que estas não confiram às águas características capazes de causar efeitos letais ou alteração de comportamento, reprodução e fisiologia da biota aquática. Como também, o uso de ensaios ecotoxicológicos, toxicológicos, ou outros métodos cientificamente reconhecidos para a investigação de danos causados pela presença de contaminantes nas águas. Os ensaios ecotoxicológicos são utilizados para a integração de dados biológicos, químicos e físico-químicos, constituindo importantes ferramentas adicionais nos estudos ambientais.

Devido à proximidade com a cidade do Rio de Janeiro, a região Serrana foi induzida a um crescimento urbano acentuado e inadequado para as suas condições ambientais. A bacia do rio Piabanha, afluente do rio Paraíba do

Sul, tem suas águas deterioradas por despejos domésticos e industriais (fabricação de bebidas, produtos alimentícios, têxtil, movelaria, confecções) sem tratamento, por despejos orgânicos pelas atividades hortifrutigranjeiras, por desmatamentos e queimadas (DE PAULA, 2011). Estas diferentes atividades introduzem no rio elementos traços, agrotóxicos e hormônios que se depositam nos sedimentos. Cesar *et al.* (2011) estudando a presença de metais traços nos sedimentos da bacia do rio Piabanha observaram maior contaminação na área urbana de Petrópolis e correlação com fontes industriais.

Neste estudo foram realizados ensaios ecotoxicológicos com amostras de água superficial de diferentes pontos da bacia para avaliação dos riscos de contaminação das águas para a biota aquática.

2. Objetivos

Avaliar a qualidade das águas da bacia hidrográfica do rio Piabanha através do monitoramento das propriedades físicas, químicas e biológicas, utilizando ensaios de toxicidade aguda e crônica com os organismos aquáticos, o cladóceros *Daphnia similis* Claus 1876 (Cladocera, Crustacea) e a alga clorofícea *Pseudokirchneriella subcapitata* (Korshikov) Hindak (1990) (Sphaeropleales, Chlorophyta).

3. Material e Métodos

A bacia do rio Piabanha é uma sub-bacia do rio Paraíba do Sul, com uma área de 2.065 km² de drenagem, distribuídos em sete municípios da região serrana fluminense (Areal, Petrópolis, Teresópolis, São José do Vale do Rio Preto, Paraíba do Sul, Paty de Alferes e Três Rios) (DE PAULA, 2011). O clima da região da bacia é tropical de altitude úmido, com temperaturas médias a baixas e altos índices pluviométricos, com período úmido iniciando em agosto/setembro até março e seco de abril a julho, mês mais seco (DE PAULA, 2011).

Para este estudo foram realizadas coletas mensais de águas superficiais em 10 pontos distintos, numerados seguindo o rio da nascente até próximo à foz: cinco (pontos 01, 02, 03, 06 e 10) no rio Piabanha e cinco em quatro afluentes (pontos 04, rio Poço do Ferreira; 05, rio da Cidade; 07 e 08, rio Preto e 09, rio Fagundes). Em cada ponto foram coletadas e misturadas três amostras simples (margens e canal) constituindo uma única amostra total que era armazenada em frascos de polietileno e mantidas em isopor com gelo. No momento da coleta foram medidos os parâmetros físico-químicos nos 10-20 cm abaixo da superfície, dependendo da profundidade do local: pH, oxigênio dissolvido (OD), condutividade, temperatura e potencial de oxi-redução (POR) (multisonda YSI, Professional plus). Em laboratório foi realizado a titulação da dureza das amostras por EDTA. Análises químicas por Espectrometria de Emissão Atômica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES) dos seguintes elementos traço: arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, manganês e zinco, foram realizadas pelo Laboratório de Análises Mineraias da Companhia de Pesquisas dos Recursos Mineraias.

Os dados utilizados para a elaboração do gráfico de precipitação acumulada *versus* temperatura média foram obtidos na Estação Automática Pico do Couto, latitude -22,4649 S, longitude -43,2915 W, 1.758 m altitude, do INMETRO (<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf>).

As culturas e os ensaios agudos realizados com *Daphnia similis* seguiram a norma da ABNT 12713/09 (ABNT, 2009). O ensaio avalia sobrevivência (mortalidade ou imobilidade) para a determinação da CE50 (concentração efetiva mediana) que causa mortalidade ou imobilidade a 50% dos organismos testados após um período de 48 h. As culturas e os ensaios crônicos realizados com a alga *Pseudokirchneriella subcapitata* seguiram a norma da ABNT 12648/11 (ABNT, 2011). O ensaio avalia sobrevivência e reprodução para a determinação da CI50 (concentração de inibição mediana) que causa redução de 50% do número de células algáceas no final do período de 96 h.

O programa utilizado para as análises estatísticas dos ensaios de toxicidade foi o Toxstat 3,5 e dos parâmetros físico-químicos o programa Excel 2007.

4. Resultados e Discussão

Um rio é um sistema dinâmico aberto, contínuo e em equilíbrio dinâmico, ou seja, recebe tudo que é drenado na bacia hidrográfica (fontes pontuais e difusas), por ser a água um solvente universal, transforma física, química e biologicamente, diluindo, suspendendo, ionizando, disponibilizando, oxidando e reduzindo minerais, nutrientes e moléculas, e entrega ao longo do seu percurso o que recebeu a montante para a jusante (SCHWARZBOLD, 2010).

A descarga de efluentes de diferentes tipos modifica esta condição de equilíbrio dinâmico e, dependendo do rio e de seus trechos, a capacidade de receber, transformar e transferir esta nova composição de modo a recuperar suas características originais, sua capacidade de autodepuração, tem certos limites. Medidas tecnológicas que modificam a vazão para diferentes usos como navegação, prevenir enchentes ou gerar eletricidade deveriam ser planejadas de modo a manter os fluxos longitudinais, laterais e verticais.

Em análises de qualidade da água alguns parâmetros são fundamentais para a manutenção e reprodução da comunidade de organismos aquáticos (CETESB, 2012):

A temperatura da água de um corpo hídrico é influenciada pela radiação solar e suas variações sazonais e diurnas, estratificação vertical, latitude, altitude, taxa de fluxo e profundidade. Por sua vez, a temperatura influencia inversamente na quantidade de oxigênio dissolvido e gás carbônico, na viscosidade, densidade e pH.

Para a biota ela influencia diretamente nos processos metabólicos, de biodegradação da matéria orgânica e no consumo de oxigênio dissolvido. A elevação anormal da temperatura em um corpo d'água geralmente é provocada por despejos industriais e de usinas termoeletricas.

A quantidade de Oxigênio Dissolvido (OD) na água é fundamental para analisar a qualidade dos corpos hídricos, e sua presença está diretamente ligada a sobrevivência de muitas espécies aquáticas; sendo o principal parâmetro de caracterização dos efeitos da poluição por lançamentos orgânicos. Sua solubilidade esta relacionada proporcionalmente a pressão parcial (decrece com aumento da altitude) e inversamente a temperatura e salinidade . O OD é vital para os seres aquáticos aeróbicos e sua disponibilidade vai depender do balanço entre a quantidade consumida por bactérias para oxidar a matéria orgânica (fontes pontuais e difusas) e

a quantidade produzida no próprio corpo d'água pelos organismos fotossintéticos, por processos de aeração natural e/ou artificial.

A condutividade é um parâmetro diretamente relacionado com a quantidade de compostos iônicos (cloretos, sulfatos, nitratos e fosfatos) e catiônicos (sódio, magnésio, cálcio, ferro, alumínio e amônio) dissolvidos na água, representando a carga mineral presente na água, a geologia local ou regional e a contaminação por poluentes. Em geral, níveis superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indicam ambientes impactados. Os íons são levados para um corpo d'água através das águas pluviais ou por despejo de esgotos contaminados. A temperatura tem influência direta na condutividade, o aumento de 1 grau acarreta um aumento de até 2% nas medições da condutividade em águas superficiais em condições normais. A condutividade é inversamente proporcional ao índice pluviométrico e diretamente proporcional ao pH.

O pH influencia diretamente sobre a fisiologia das espécies dos ecossistemas aquáticos, sobre a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados e na solubilidade de nutrientes. Valores próximos a neutralidade 6 a 9 (CONAMA, 2005) são os mais indicados para a formação de um ecossistema de água doce mais diversificado.

A solubilidade de alguns elementos depende do seu estado de oxidação, que pode ser controlado pelo ambiente. Alguns elementos são mais solúveis na forma reduzida (valor de ORP menor) do que na oxidada (valor de ORP maior), exemplos são o ferro, manganês, enxofre e nitrogênio. O meio redutor frequentemente está associado com a presença de matéria orgânica, que ao oxidar fornece os elétrons para reduzir espécies oxidadas de outros elementos. O Potencial de oxirredução é inversamente proporcional ao pH, ao conteúdo de matéria orgânica e a atividade bacteriana, como o de coliformes, e diretamente a temperatura e ao OD.

Nas águas naturais, a dureza é uma condição importante, por formar complexos com outros compostos, modificando seus efeitos sobre os constituintes daquele ecossistema. A poluição das águas superficiais devido à atividade industrial é pouco significativa com relação à dureza, embora os compostos que a produzem sejam normalmente utilizados nas fábricas.

Dentre os parâmetros físico-químicos amostrados durante as coletas (Tabela 1): as temperaturas se distribuíram de acordo com os horários de coleta, mais baixas nos pontos 01 a 04 e 06 coletados pela manhã e os demais a tarde, exceto o ponto 05 com temperatura baixa por se localizar dentro da Rebio Araras; as concentrações de OD amostradas permitiram a classificação dos pontos de acordo com a resolução 357 do CONAMA (2005) em: Classe 1 (pontos 01, 04, 05, 09 e 10), Classe 2 (ponto 08), Classe 3 (ponto 07) e Classe 4 (pontos 02, 03 e 06); apenas os pontos 02, 03 e 06 apresentaram condutividade $> 100 \mu\text{S}/\text{cm}$, característica de ambiente impactado; o pH esteve dentro da neutralidade em todos os pontos; os valores de dureza caracterizaram os pontos como água muito mole.

A precipitação acumulada em 2014 e início de 2015, período no qual esta inserido o estudo (maio/2014 a fevereiro/2015), foi de 1.704 mm e a temperatura média de $14,4 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$. A época seca se estendeu de maio a

setembro, 2014, com temperaturas médias de 10 a 15 °C e os meses com maior pluviosidade foram março e abril, novembro e dezembro.

Tabela 1. Médias e Desvios Padrões dos parâmetros físico-químicos coletados nos pontos amostrados na bacia do rio Piabanha no período de maio/2014 a fevereiro/2015.

Pontos	Temp (°C)	OD (mg/L)	Cond (µS/cm)	pH	POR (mV)	Dureza (mgCaCO ₃ /L)
1	17,04±1,67	7,87±1,20	18,94±3,71	7,44±0,66	108,74±93,83	7,48±4,22
2	19,57±1,98	4,39±1,43	153,42±21,34	6,99±0,39	156,91±73,87	30,15±9,84
3	19,56±2,17	4,76±2,11	168,7±25,15	7,06±0,28	159,95±61,78	32,15±6,53
4	19,49±2,77	8,25±1,06	46,93±14,40	7,39±0,54	248,95±100,05	15,71±9,35
5	19,66±2,39	8,13±1,0	16,39±3,30	7,21±0,58	196,81±85,71	9,79±7,97
6	20,88±2,48	5,30±1,08	132,1±28,49	7,09±0,31	201,35±72,23	27,60±8,36
7	23,52±3,46	6,77±1,43	76,90±12,48	7,27±0,62	199,51±72,52	19,71±8,12
8	23,85±3,20	6,41±1,33	81,66±17,82	6,83±0,35	237,41±73,22	21,03±9,25
9	23,39±3,01	7,39±1,24	45,81±4,48	7,08±0,37	199,42±63,10	17,16±7,19
10	24,21±3,40	7,59±1,15	86,90±16,47	7,20±0,38	211,42±88,17	21,47±7,98

Nota: Temp = temperatura; OD = oxigênio dissolvido; Cond = condutividade; POR = potencial de oxi-redução.

Os resultados obtidos nos ensaios de toxicidade aguda (*D. similis*) e crônica (*P. subcapitata*) apresentados na Tabela 2 parecem estar relacionados com a precipitação, com ausência de eventos de toxicidade aguda e crônica nos meses úmidos e ocorrência nos meses secos. Eventos pontuais de curta duração, ocasionando toxicidade aguda, são raros e ocorreram em quatro pontos diferentes: no rio Piabanha, área urbana da cidade de Petrópolis (pontos 01 e 02), área rural no rio Preto (maior sub-bacia), reservatório da UHE de Morro Grande, município de Areal (ponto 07) e no rio Fagundes (segunda maior sub-bacia), município de Três Rios (ponto 09). Diferentes fontes de contaminação podem ser encontradas nestas regiões urbanas e rurais contribuindo para a contaminação das águas por fontes pontuais e difusas.

A exceção do ponto 01, nascente, nos demais ocorreu toxicidade crônica com maior incidência em junho, agosto e julho, meses secos com predominância de contaminação por fontes pontuais. Quatro pontos apresentaram mais de um episódio, os pontos 02, 03, 04 e 06, sendo três classificados como Classe 4 pelo baixo valor de OD (CONAMA, 2005). Por outro lado, a ampla ocorrência de eutrofização na bacia, crescimento algáceo acima do observado nas amostras controle, tanto na época seca quanto na úmida pode ter sido ocasionada por aportes pontuais constantes e difusos (por aumento do escoamento superficial durante as chuvas) de contaminantes de origem orgânica (despejos domésticos, fertilizantes e adubos) ao longo de toda a bacia.

A introdução de elementos traço nos sistemas aquáticos pode ocorrer de forma natural através dos processos geoquímicos e chuvas ou pelas ações humanas como decorrência de sua ampla utilização pela indústria,

presença no esgoto *in natura* de zonas urbanas, nas atividades agrícolas, e nos rejeitos de áreas de mineração e garimpos. Estes elementos lançados no solo são carregados para os rios pelo escoamento de águas superficiais provenientes das chuvas, persistindo no meio aquático por apresentar forma livre, ou iônica, o que facilita sua acumulação nos tecidos da biota aquática. No sistema aquático os elementos traço, por possuírem características atômicas peculiares, apresentam elevada resistência à degradação química, física e biológica o que os leva a serem persistentes.

Tabela 2. Toxicidade das águas da bacia do rio Piabanha para o microcrustáceo *D. similis* (D) e para a alga cloroficea *P. subcapitata* (P) de maio de 2014 a fevereiro de 2015. T = tóxico, NT = não tóxico, * = eutrofização.

Mês Ponto	Organismos	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F
1	D	NT	NT	NT	NT	T	NT	NT	NT	NT	NT
	P	NT*	NT	NT*	NT*	NT*	NT	NT*	NT*	NT*	NT*
2	D	NT	NT	NT	NT	NT	T	NT	NT	NT	NT
	P	NT*	T	T	NT*	NT*	NT*	NT*	NT*	NT*	NT*
3	D	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
	P	NT*	T	T	NT*	NT*	NT*	NT*	NT*	NT*	NT*
4	D	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
	P	T	NT	NT	NT	T	NT*	NT*	NT*	NT*	NT
5	D	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
	P	NT*	NT*	NT*	T	NT*	NT*	NT*	NT	NT*	NT*
6	D	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
	P	NT*	T	NT	T	NT	NT	NT*	NT*	NT	NT*
7	D	T	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
	P	NT*	T	NT	NT	NT	NT	NT*	NT	NT	NT*
8	D	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
	P	NT*	NT*	NT	T	NT	NT*	NT*	NT	NT	NT
9	D	NT	NT	NT	NT	NT	NT	T	NT	NT	NT
	P	NT*	NT*	NT*	NT	NT*	NT*	NT*	NT	NT*	NT*
10	D	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
	P	NT*	T	NT	NT	NT	NT*	NT*	NT*	NT	NT

Os resultados das análises químicas dos elementos traço nos diferentes pontos de amostragem evidenciaram que a maioria não variou de concentração ao longo do período de estudo. Arsênio, chumbo e cádmio mantiveram a concentração de 0,002 mg/L, cobre e cromo a concentração de 0,005 mg/L, manganês a concentração de 0,01 mg/L. Apenas zinco apresentou variação entre os meses e pontos de coleta, sendo os pontos 02 e 03, área urbana de Petrópolis, os com maiores valores. As concentrações encontradas na água estão abaixo dos valores máximos permitidos para todos os metais analisados (CONAMA, 2005), não representando uma fonte potencial para as toxicidades encontradas.

5. Conclusões

Dos parâmetros físico-químicos amostrados o OD e a condutividade evidenciaram os pontos de maior contaminação. O aporte de contaminantes de fonte difusa, tais como escoamento superficial das ruas e campos que margeiam os rios, ou pontual como efluentes domésticos e de pequenas e médias empresas parecem exercer influência em ambos os organismos-teste utilizados, porém eventos de bioestimulação e toxicidade crônica foram predominantes, indicando maior probabilidade de ocorrência de eutrofização por despejos orgânicos. As concentrações de elementos traço analisados na água superficial estão abaixo dos valores

máximos permitidos para todos os metais analisados (CONAMA, 2005), não representando uma fonte potencial para as toxicidades encontradas.

5. Agradecimentos

À M.Sc. Sílvia G. Egler, pela orientação durante o período da bolsa do Programa de Capacitação Institucional (PCI) e pelos conhecimentos passados a mim, à D.Sc. Danielly P. Magalhães pelo auxílio no laboratório. Ao CETEM - Centro de Tecnologia Mineral - pela estrutura e equipamentos utilizados e ao CNPq pela bolsa. Este estudo está inserido na parceria com o Laboratório de Hidráulica Computacional, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

6. Referências Bibliográficas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 12.713. **Ecotoxicologia aquática – Toxicidade aguda – Método de ensaio com *Daphnia* sp. (Crustacea, Cladocera)**. Rio de Janeiro, ABNT. p. 23. 2009.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 12.648. **Ecotoxicologia aquática – Toxicidade crônica – Método de ensaio com algas (Chlorophyceae)**. Rio de Janeiro, ABNT. p. 28. 2011.

CESAR, R.G.; COLONESE, J.; SILVA, M.; EGLER, S.; BIDONE, E.; CASTILHOS, Z.; POLIVANOV, H. Distribuição de mercúrio, cobre, chumbo, zinco e níquel em sedimentos de corrente da bacia do rio Piabanha, Estado do Rio de Janeiro. **Geochimica Brasiliensis**, Ouro Preto, v. 25, n. 1, p. 35 – 45, 2011.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas superficiais no Estado de São Paulo. Série Relatórios**. 354 p. 2012. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/35-publicacoes-/relatorios>. Acesso em: julho 2013.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº357** de 17 de março de 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/conama>>. Acesso em 05 de março de 2013.

DE PAULA, T.P. **Diagnóstico e modelagem matemática da qualidade da água em trecho do rio Piabanha/RJ**. 2011.p. 254. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro (Brasil).

SCHWARZBOLD, A. Teorias ecológicas sobre rios. In: D.A.BRESSAN & A. SCHWARZBOLD (Eds.). Rios da America. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. **Ciência & Ambiente**, v. 41, p. 1-20, 2010.