

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA E CAPACIDADE DE ASSIMILAÇÃO DE CARGA POLUIDORA DO RIBEIRÃO ESPÍRITO SANTO – JUIZ DE FORA/MG

Marina Andrada Maria ^{1*}
Samuel Rodrigues Castro ²
Pedro Fialho Cordeiro ^{1*}

1 Centro de Inovação e Tecnologia SENAI FIEMG

2 Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF

* mamaria@fiemg.com.br

RESUMO

O ribeirão Espírito Santo é enquadrado como classe 1, tendo a sua bacia como principal uso o abastecimento de água potável para a população de Juiz de Fora, sendo por isso de grande relevância o monitoramento e gestão da qualidade das suas águas, que devem manter o padrão previsto para o seu uso, conforme legislação vigente. O controle também deve ser feito sobre a qualidade dos efluentes lançados nas águas do ribeirão, de modo à evitar que possam causar maiores impactos ao ecossistema e à qualidade da água. Este estudo teve como objetivo avaliar a qualidade da água e por meio de cálculos prever a capacidade de assimilação de carga poluidora do ribeirão Espírito Santo, pontuando os parâmetros mais críticos para os quais a cobrança e monitoramento devem ser maiores. A avaliação realizada na água do ribeirão evidenciou que o mesmo apresenta característica ácida, com reduzido pH, assim como elevada concentração de ferro dissolvido e turbidez, características que podem estar relacionadas a geologia da bacia, sem grandes influências na qualidade, o que pode ser corroborado com a ausência de efeito ecotoxicológico crônico ou agudo nas avaliações realizadas. No entanto, a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) apresentou alguns resultados elevados, indicando aporte de matéria orgânica ocasional, que pode estar associado à algum descarte indevido de esgoto doméstico. Outros parâmetros de possível ocorrência em efluentes industriais foram avaliados e apresentados neste estudo a fim de servir de embasamento para apoiar a gestão da bacia com foco na preservação do ribeirão.

INTRODUÇÃO

A capacidade de assimilação é definida como a habilidade dos corpos de água suportarem certos níveis de poluição, sem sofrerem quaisquer efeitos adversos significativos biologicamente. Em geral, é baseada na habilidade do corpo de água de assimilar a demanda de oxigênio que o efluente requer, sendo estudo baseado nas cargas poluidoras de origem orgânica que resultam, indiretamente, no consumo de oxigênio dissolvido. Nesse caso, o curso de água pode se recuperar por mecanismos essencialmente naturais. No processo, conhecido como autodepuração, há um balanço entre as fontes de consumo e de produção de oxigênio, e pode ser modelado matematicamente (MORAIS, 2012).

Para as substâncias inorgânicas, não há metodologia pré-definida. A capacidade de assimilação do corpo de água de absorver uma substância específica depende se ela é conservativa ou não conservativa. As substâncias conservativas não sofrem transformações químicas e biológicas, mas se acumulam, sendo apenas diluídas e não assimiladas pelo corpo de água. As substâncias não conservativas decaem com o tempo em função de reações químicas, biológicas e físicas que incluem assimilação e acumulação pelas plantas e animais, degradação ou decomposição bacteriana, decaimento radioativo, transformação química para outra forma, absorção pelas partículas de sedimentos, volatilização e reações de oxi-redução (VON SPERLING, 2014).

Assim, pela dificuldade de manter o controle efetivo das fontes poluidoras com base apenas na qualidade do corpo receptor, a legislação vigente define os padrões de lançamento e da qualidade do corpo receptor (Resolução CONAMA nº 357/2005, alterada pela Resolução nº 410/2009 e pela nº 430/2011 e pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/2008). Os dois padrões são inter-relacionados uma vez que o atendimento aos padrões de lançamento deve garantir, concomitantemente, o atendimento aos padrões de classificação do corpo receptor.

O estudo de capacidade de assimilação, então, deve considerar os padrões estabelecidos para lançamento e as concentrações dos poluentes após a zona de mistura, mantendo-se os padrões estabelecidos para a classe do curso de água.

OBJETIVOS

O objetivo desse estudo foi avaliar a qualidade da água do ribeirão Espírito Santo e sua capacidade de assimilação de carga de efluente industrial tratado, de forma que não altere a qualidade preponderante para classe de seu enquadramento de acordo com a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/2008.

MATERIAL E MÉTODOS

A bacia do ribeirão Espírito Santo tem uma área de 147,8 km², sendo a maior parte desta área situada na zona rural, à noroeste do município de Juiz de Fora. Esta bacia é afluente da bacia do rio Paraibuna pela margem direita e, conseqüentemente, faz parte da grande bacia do rio Paraíba do Sul. O ribeirão tem 17 km de extensão e seus principais afluentes são o córrego Gouveia e o córrego Vermelho, pela margem esquerda, e os córregos Barreiro e Penido, pela margem direita (CESEMA, 2018).

O ribeirão Espírito Santo é enquadrado na Classe 1, das nascentes à confluência com o rio Paraibuna, conforme a DN COPAM nº 16/1996, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água nesta bacia. A bacia tem como principal uso o abastecimento de água potável para a população de Juiz de Fora, em segundo plano vem o consumo para uso industrial, com os processos de outorga, e com menor aproveitamento existem também atividades de irrigação de pequenas culturas e atividades agropecuárias, pouco expressivas na região (CESEMA, 2018).

O padrão de qualidade para classificação e enquadramento de corpos de água conforme os limites estabelecidos pela Deliberação Normativa COPAM/CERH-MG nº 01/2008, para cursos de água Classe 1, são mais restritivos que os limites para lançamento de efluentes e que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano (após tratamento simplificado), à proteção das comunidades aquáticas, à recreação de contato primário, à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película, e à proteção das comunidades aquáticas em Terras indígenas (COPAM, 2008).

Foi feita a avaliação da qualidade da água do ribeirão Espírito Santo, com realização de ensaios físico-químicos e ecotoxicológicos. Para os testes de ecotoxicidade foi realizada amostragem única em 2015, realizando ensaios de toxicidade aguda e crônica; com organismos de dois níveis tróficos, executados de acordo com as normas da ABNT (2009; 2011), utilizando a *Daphnia similis* (microcrustáceo), para o teste de ecotoxicidade aguda, e a *Pseudokirchneriella* sp (alga) e a *Ceriodaphnia dubia* (microcrustáceo), para os testes de ecotoxicidade crônica.

Para a realização dos ensaios de ecotoxicidade aguda com *D. similis* foram feitas uma série de diluições da amostra: de 1% até 100% (amostra bruta). Já os ensaios de ecotoxicidade crônica com *C. dubia* foram realizados com concentrações subletais definidas por meio dos ensaios de ecotoxicidade aguda. O ensaio crônico é importante para se avaliar a presença de efeito em longo prazo.

No ensaio com a alga *Pseudokirchneriella* sp foram realizadas 5 diluições da amostra onde a menor concentração foi de 1% e a maior foi de 100% (amostra bruta enriquecida com nutrientes que permite o crescimento algáceo).

A resolução CONAMA nº 430/2011 estabelece critérios de verificação de efeito tóxico agudo e crônico por meio de resultados de ensaios ecotoxicológicos padronizados realizados no efluente, utilizando organismos aquáticos de, pelo menos, dois níveis tróficos diferentes.

A concentração do efluente no corpo receptor CECR é expressa em porcentagem e é calculada:

$$CECR = \frac{Q_e}{Q_e + Q_R} \times 100 \quad \text{equação (1)}$$

sendo:

Qe - vazão do efluente industrial ($L.s^{-1}$)

QR - vazão de referência do rio - Q7,10 ($L.s^{-1}$)

Para efluentes lançados em corpos receptores de água doce Classe 1, como o caso do ribeirão Espírito Santo, a CECR deve ser menor ou igual ao valor da CE50, obtida em testes de ecotoxicidade aguda, dividido por 10. Quando for realizado teste de ecotoxicidade crônica a CECR deverá ser menor ou igual ao CENO (maior concentração de efeito não observado) em, pelo menos, dois níveis tróficos.

Para o enquadramento de água doce na Classe 1 não pode ser verificado efeito tóxico agudo e crônico em organismos a partir de amostras de água e/ou sedimento. Assim, o efluente não poderá causar ou possuir potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor.

Neste estudo não foram realizados ensaios bacteriológicos para detecção e quantificação de coliformes termotolerantes, ou E.coli. Em caso de lançamento de efluentes é importante que não haja mistura de efluente doméstico, sendo recomendável avaliar periodicamente os parâmetros supracitados, uma vez que a legislação estabelece, para Classe 1, que não deverá ser excedido um limite de 200 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais, de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral.

Para a avaliação físico-química foram realizadas 5 (cinco) campanhas amostrais realizadas em 2015, sendo analisados apenas alguns parâmetros de qualidade que são característicos de efluentes industriais, embora a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/2008 lista diversos parâmetros de qualidade. São eles:

- pH
- Temperatura
- Óleos e graxas minerais
- Óleos e graxas vegetais e animais
- Oxigênio Dissolvido (OD)
- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5)
- Demanda Química de Oxigênio (DQO)
- Sólidos suspensos
- Sólidos sedimentáveis
- Chumbo total
- Cádmio total
- Cobalto total
- Cobre dissolvido
- Ferro dissolvido
- Manganês dissolvido
- Mercúrio total
- Níquel total
- Sulfeto
- Zinco total

Para avaliação da capacidade de assimilação de efluentes industriais tratados foi feita, inicialmente, a avaliação da qualidade da água do ribeirão para comparação com os valores dos padrões de enquadramento da Classe 1, estipulados pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/2008 e, posteriormente, foram avaliadas as concentrações calculadas dos parâmetros passíveis de incorporação por lançamento, sem alteração da qualidade de água pretendida para o ribeirão.

Para avaliação das concentrações calculadas, para cada constituinte após a mistura com os padrões de enquadramento, avaliando o risco de alterações e inadequações que possam alterar a qualidade da água do ribeirão Espírito Santo, deve-se utilizar a equação geral da mistura, a qual é obtida pela média ponderada das concentrações com as respectivas vazões dos componentes que se misturam. Ou seja, a concentração de um constituinte qualquer (OD, DBO, N, P, Ni, Zi, etc) é obtida por meio da seguinte equação:

$$C_o = \frac{Q_e C_e + Q_R C_R}{Q_e + Q_R} \quad \text{equação (2)}$$

sendo:

- Co - concentração do constituinte na mistura.
- Ce - concentração do constituinte no efluente industrial.
- CR - concentração do constituinte no rio.
- Qe - vazão do efluente (L.s⁻¹)
- QR - vazão de referência do rio (L.s⁻¹)

A vazão de referência do rio utilizada foi a Q_{7,10}, que corresponde à vazão mínima de 7 dias com período de retorno de 10 anos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos ensaios ecotoxicológicos, apresentados na Tabela 1, indicam não haver toxicidade crônica ou aguda para nenhum dos organismos teste avaliados, no ribeirão Espírito Santo, estando em conformidade com a Classe 1.

Tabela 1 – Resultado dos testes de ecotoxicidade

Ensaio ecotoxicológico	ribeirão Espírito Santo
Agudo com <i>D. similis</i>	Não tóxico
Crônico com <i>C. dubia</i>	Não tóxico
Crônico com <i>Pseudokirchneriella sp</i>	Não tóxico

Em termos ecotoxicológicos, para o lançamento de efluente no ribeirão Espírito Santo, é necessário que a concentração do efluente no corpo receptor (CECR) seja menor ou igual ao CENO obtido nos testes de toxicidade crônica do efluente, devendo considerar para isso a vazão de referência do rio e do efluente, conforme equação 1.

Para a avaliação da condição na zona de mistura do corpo hídrico com o efluente industrial tratado devem ser consideradas as vazões de ambos. De acordo com o Estudo Hidrológico, a vazão de referência do ribeirão Espírito Santo Q_{7,10} é de 920,8 L.s⁻¹.

Segundo a COPAM CERH nº 01/2008, também é importante a avaliação da vazão de lançamento do efluente, que deve ter regime de máxima de até 1,5 vezes a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor.

A Tabela 2 apresenta os resultados da análise da qualidade das águas do ribeirão Espírito Santo.

Tabela 2 – Resultados da análise da qualidade das águas do ribeirão Espírito Santo

Parâmetro	Unidade	DN COPAM nº 01/2008 Classe I	Resultados (Mediana)	LQ
pH	-	Entre 6 e 9	5,65	-
Temperatura	°C	-	15,7	-
Turbidez	NTU	40	56,0	-
OD	mg.L ⁻¹	≥ 6	7,2	0,1
DBO5	mg.L ⁻¹	≤ 3	3,0	3
DQO	mg.L ⁻¹	-	8,4	5
Sólidos suspensos	mg.L ⁻¹	50	14,5	-
Sólidos sedimentáveis	mg.L ⁻¹	-	0,1	-
Cádmio total	mg.L ⁻¹	0,001	0,001	0,001
Chumbo total	mg.L ⁻¹	0,010	0,010	0,010
Cobalto total	mg.L ⁻¹	0,050	0,010	0,010
Cobre dissolvido	mg.L ⁻¹	0,009	0,005	0,005
Ferro dissolvido	mg.L ⁻¹	0,3	1,180	0,010
Manganês	mg.L ⁻¹	0,1	0,040	0,010
Níquel total	mg.L ⁻¹	0,025	0,010	0,010
Sulfeto	mg.L ⁻¹	0,002	0,050	0,050
Zinco total	mg.L ⁻¹	0,180	0,010	0,010
Mercurio total	mg.L ⁻¹	0,0002	-	0,00015

Os parâmetros de DQO e sólidos sedimentáveis não estão contemplados na avaliação de classificação do corpo de água, apenas nos padrões para avaliação de lançamento de efluentes. No entanto, para o estudo de assimilação é importante a aquisição desses dados, considerando que a nova condição do ribeirão será a somatória das características de ambos, como já detalhando na equação 2. O mesmo acontece com a temperatura, para a qual não existe limite para o enquadramento, mas que deve ser monitorada para avaliar o nível de alteração causada pelo efluente.

Os resultados de mediana mostram que o ribeirão Espírito Santo, conforme os limites estabelecidos pela Deliberação Normativa COPAM/CERH-MG nº 01/2008, para cursos de água Classe 1, apresentam níveis satisfatórios de qualidade das águas, a exceção dos parâmetros ferro dissolvido, pH e turbidez. No entanto, os parâmetros críticos para lançamento de efluentes no ribeirão, inclui também a DBO, que já apresentou mediana com valor igual ao limite máximo para o enquadramento do ribeirão, de forma que a contribuição do efluente é suficiente para extrapolar o padrão legal.

Dois dos cinco resultados de DBO apresentaram valores elevados, iguais a 214 mg.L⁻¹ e 483,0 mg.L⁻¹, o que pode indicar lançamento indevido e pontual de esgoto. Dos cinco resultados analíticos registrados para o parâmetro zinco, quatro ficaram a baixo do LQ, sendo o valor máximo, superior ao limite legal, observado em apenas uma das amostras.

A concentração de ferro acima do limite pode ser devida às características hidrogeológicas territoriais do estado de Minas Gerais. Os parâmetros pH e a turbidez tiveram seus resultados avaliados de apenas duas

observações, determinados pela média das mesmas, podendo ser avaliados posteriormente com maior rigor. As águas do ribeirão Espírito Santo apresentam leve tendência à acidez com concentrações mais elevadas de sólidos suspensos, influenciando o parâmetro turbidez, devido, principalmente, ao carreamento de sólidos e sedimentos.

Não foi possível avaliar o parâmetro sulfeto quanto ao padrão de enquadramento uma vez que o limite de quantificação (LQ) é superior ao valor máximo permitido para Classe 1 estabelecido na legislação ambiental. Além disso, os parâmetros cádmio e chumbo apresentam limites máximos iguais aos valores do LQ, fato que compromete a avaliação de tais parâmetros. Os parâmetros cádmio, chumbo, cobalto, cobre, níquel e sulfeto apresentaram todos os resultados analíticos abaixo do LQ.

Para os parâmetros cádmio e chumbo, todos resultados registrados nas análises do ribeirão ficaram abaixo do LQ. Porém, o valor do LQ é o mesmo que o estabelecido para enquadramento de águas doces classe 1, sendo mais restritivo que o limite máximo para lançamento, conforme a DN COPAM/CERH nº 01/2008. Assim, qualquer contribuição adicional oriunda do efluente pode comprometer o lançamento do mesmo, por alterar a classificação do curso de água.

Estimativas para a concentração de parâmetros nas águas do ribeirão Espírito Santo após o lançamento do efluente tratado (zona de mistura) podem ser realizadas conforme equação 2. A redução da vazão de lançamento do efluente poderia ser uma alternativa para adequação da concentração na zona de mistura para certos parâmetros, como pode ser visto na Tabela 3, que apresenta a concentração máxima para lançamento de alguns parâmetros, considerando diferentes vazões.

Tabela 3 – Estimativa da carga máxima para lançamento de alguns parâmetros com vazões definidas, considerando a capacidade de assimilação do ribeirão Espírito Santo

Vazão estimada (L.s ⁻¹)	Máxima carga poluidora passível de assimilação pelo ribeirão ⁽¹⁾							
	Sólidos suspensos (mg.L ⁻¹)	Cobalto total (mg.L ⁻¹)	Cobre dissolvido (mg.L ⁻¹)	Manganês (mg.L ⁻¹)	Níquel (mg.L ⁻¹)	Zinco (mg.L ⁻¹)	CENO (%)	CE50 (%)
10	3318	3,7	0,4	5,7	1,4	15,8	1,07	10,7
20	1684	1,9	0,2	2,9	0,7	8,0	2,12	21,2
30	1139	1,27	0,12	1,96	0,50	5,40	3,15	31,5
40	867	0,96	0,09	1,50	0,36	4,1	4,16	41,6
50	703	0,78	0,09	1,21	0,30	3,32	5,15	51,5
60	594	0,66	0,07	1,03	0,25	2,79	6,12	61,2
70	516	0,58	0,06	0,90	0,22	2,42	7,06	70,6
80	458	0,51	0,06	0,80	0,20	2,14	7,99	79,9
90	413	0,46	0,05	0,72	0,18	1,92	8,90	89,0
100	376	0,42	0,05	0,66	0,16	1,75	9,79	97,9

(1) Considerada como vazão de referência do ribeirão Espírito Santo $Q_{7,10} = 920,8 \text{ L.s}^{-1}$.

Como já mencionado, o pH do ribeirão já encontra-se abaixo do limite inferior para enquadramento na classe 1, no entanto, dentro da estimativa apresentada na Tabela 3, apenas com lançamento de efluentes com pH igual a 14 e com vazão igual ou superior a 617 L.s^{-1} , é possível extrapolar o limite superior (pH = 9).

O oxigênio dissolvido também não apresentaria não conformidades dentro do modelo apresentado, sendo possível atingir OD menor que 6 mg.L^{-1} com lançamento de efluentes com OD igual a zero e vazão igual ou superior a 190 L.s^{-1} .

Os Limites de CENO e CE50 foram calculados com base na CECR estabelecida para lançamento de efluentes (CONAMA nº 430/2011), sendo a $CECR \leq CENO$ e $CE50/10$.

CONCLUSÕES

O ribeirão Espírito Santo apresenta boa qualidade, sem indício de efeitos ecotoxicológicos e a presença de elementos tóxicos na água. Os parâmetros que não atenderam aos requisitos da classe I (ferro dissolvido, pH e turbidez) podem ser decorrentes de características naturais da bacia.

Diante dos dados de avaliação da qualidade da água do ribeirão Espírito Santo concluiu-se que lançamentos industriais podem comprometer a qualidade e a classificação da água do ribeirão como classe 1, com destaque para lançamentos incluindo esgoto doméstico com maior concentração de DBO, devendo-se sempre atentar para a carga poluidora, buscando atingir as concentrações aceitáveis de lançamento considerando as vazões médias de lançamento e de referência do corpo receptor.

Destaca-se que as avaliações foram feitas com base em um pequeno número amostral e que o monitoramento sistemático, com maior frequência, poderá favorecer a construção de um banco de dados mais robusto para embasar novas conclusões.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro de Inovação e Tecnologia SENAI FIEMG por ter apoiado e viabilizado esta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ABNT NBR 12648: 2011 *Ecotoxicologia Aquática – Toxicidade crônica – Método de ensaio com algas (Chlorophyceae)*. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ABNT. ABNT NBR 12713: 2009 *Ecotoxicologia Aquática – Toxicidade aguda – Método de ensaio com Daphnia spp (Crustacea, Cladocera)*. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ABNT. ABNT NBR 13373: 2011 *Ecotoxicologia Aquática – Toxicidade crônica – Método de ensaio com Ceriodaphnia spp (Crustacea, Cladocera)*. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ABNT. ABNT NBR ISO/IEC 17025: 2005 *Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração*. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

CONAMA. Resolução CONAMA n. 357 de 17 de março de 2005. *Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências*, 2005, p. 27. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>.

CONAMA. Resolução CONAMA n. 430 de 13 de maio de 2011. *Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA*, 2011, p. 9. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>.

COPAM. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008. *Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências*, 2008, p. 8. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>.

COPAM. *Deliberação Normativa COPAM n. 016 de 24 de setembro de 1996. Dispõe sobre o enquadramento das águas estaduais da bacia do rio Paraibuna*, 1996, p. 9. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=113>.

Ribeirão Espírito Santo - CESAMA (2018). Disponível em: <http://www.cesama.com.br/?pagina=resanto#> com acesso em 15/04/2018.

VON SPERLING, M. *Estudos e Modelagem da Qualidade da Água de Rios*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2º edição. 2014.