IV-074 – AVALIAÇÃO DA FREQUÊNCIA DE ATENDIMENTO DOS PADRÕES DE QUALIDADE AMBIENTAL EM CURSOS D'ÁGUA DA PORÇÃO CAPIXABA DO RIO DOCE COMO SUBSÍDIO PARA O ENQUADRAMENTO LEGAL

Brunna Oliveira Guimarães[(1)]
Mestre em Engenharia de Saúde Pública e Desenvolvimento Sustentável. Professora das Faculdades Integradas Espírito-santenses.
José Antônio Tosta dos Reis
Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos/USP. Professor do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo.
Antônio Sérgio Ferreira Mendonça
Professor do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo. Doutor em Engenharia de Recursos Hídricos pela Colorado State University. Pós-doutorado pela Cornell University.

Endereço[(1)] **:** Departamento de Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo, campus Goiabeiras. Av. Fernando Ferrari, 514, Goiabeiras, Vitória, ES. CEP: 29.075-910. Telefone: (27) 4009-2648. **e-mail: brunnaoguimaraes@gmail.com.**

RESUMO

O monitoramento ambiental de longo prazo pode permitir o conhecimento das tendências de evolução da qualidade das águas. Curvas probabilísticas de qualidade da água constituem alternativa para redução da complexidade da análise dos dados pontuais de monitoramento, apresentando-os de uma maneira simplificada e mais acessível aos tomadores de decisão. Este trabalho tem por objetivo estudar a utilização de curvas probabilísticas de incompatibilidade entre a qualidade da água de rios da porção capixaba da bacia hidrográfica do rio Doce e os padrões ambientais estabelecidos pela CONAMA n° 357/2005. Os registros de qualidade de água foram disponibilizados pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA), abrangendo valores de pH e concentrações de oxigênio dissolvido, turbidez, sólidos totais, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total e coliformes fecais monitorados no período compreendido entre os anos de 1999 a 2010. Os resultados demonstraram que os parâmetros fósforo total e coliformes termotolerantes apresentaram elevados percentuais de incompatibilidade, em todos os pontos de monitoramento, independentemente da classe de uso eventualmente associada aos cursos d'água.

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade da água, padrões ambientais, análise probabilística, rio Doce.

INTRODUÇÃO

Dentre os recursos naturais, a água se destaca pela estreita relação com a sociedade e a economia, seja pela demanda associada ao desenvolvimento industrial e tecnológico, seja pelo bem estar e sobrevivência do homem. No entanto, o atual padrão de consumo colocou os recursos hídricos numa posição vulnerável de degradação e escassez, mostrando-se incompatível com a manutenção desses recursos para a atual e para futuras gerações (TUCCI, 2001).

Este cenário, que envolve complexas interações existentes entre o recurso natural, a vida e o desenvolvimento, contribuiu para o surgimento da necessidade de se considerar a água de forma mais ampla, analisando-se a relação entre os aspectos de gestão e utilização dos recursos hídricos e o desenvolvimento econômico, social e ambiental de uma região.

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) brasileira, editada por meio da Lei n.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997, estabeleceu como instrumento de gestão das águas o enquadramento dos corpos de água em classes, os planos de recursos hídricos, a outorga dos direitos de uso, cobrança pelo uso e os sistemas de informação.

O enquadramento ganha relevância quando se busca estabelecer um sistema de vigilância sobre os níveis de qualidade da água de mananciais. Além de permitir a ligação entre a gestão da qualidade e quantidade da água, o enquadramento impõe ou fortalece a relação entre a gestão de recursos hídricos e do meio ambiente.

Embora diferentes países já tratem da classificação e enquadramento dos corpos d'água há certo tempo, poucas e recentes são as experiências brasileiras nesta área (LEEWESTEIN et al., 2000).

No Brasil o enquadramento surgiu inicialmente no estado de São Paulo onde três portarias regulamentaram, a partir do ano de 1995, o enquadramento dos corpos d'água superficiais. No âmbito federal, diferentes instrumentos deram forma ao enquadramento dos corpos d'água, dentre os quais merecem destaque a Portaria do Ministério do Interior n.º GM 0013, de 15 de Janeiro de 1976 e a Resolução n.º 20 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 18 de junho de 1986. Mais tarde, instrumentos legais hierarquicamente mais fortes entraram em vigor, como a Lei n.º 9.433/1997, que trata da PNRH e do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. A Resolução CONAMA n.º 20 foi substituída pela Resolução CONAMA n.º 357, de 17 de março de 2005, que revisou as diretrizes sobre a classificação e o controle do lançamento de efluentes em águas superficiais. Mais recentemente, entrou em vigência a Resolução CONAMA n.º 430, de 13 de maio de 2011, com objetivo de complementar e alterar a Resolução CONAMA n.º 357/2005, dispondo sobre condições e padrões de lançamento de efluentes.

Desde a criação da Lei n.º 9.433/1997, são poucos os estados do País que enquadraram seus corpos hídricos, dentre os quais não figura o Espírito Santo, ainda que sua Política Estadual esteja formalmente instituída por meio da Lei n.º 5.818, de 29 de dezembro de 1998 (MARINATO et al., 2011).

A adequada condução de um processo de enquadramento depende de informações decorrentes de um monitoramento quali-quantitativo dos corpos d'água. O monitoramento ambiental de longo prazo pode permitir o conhecimento das tendências de evolução da qualidade das águas, através da quantificação de variáveis físicas, químicas e biológicas, e viabilizar, desse modo, o diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica estudada. Desta forma, o diagnóstico ambiental dos sistemas hídricos pode sustentar a avaliação das respostas dos ambientes aquáticos (em termos espaciais e temporais) aos impactos antrópicos na sua área de drenagem ou de influência. No entanto, os programas de monitoramento, na maioria das vezes, restringem-se a apresentar significativa quantidade de dados sem sistematizá-los de modo que possam orientar planos de gestão da qualidade da água e de gerenciamento dos recursos hídricos (CALIJURI et al. 2010).

O trabalho proposto Calijuri et al. (2010) apresenta e discute o emprego de curvas probabilísticas de qualidade da água como alternativa para redução da complexidade da análise dos dados pontuais de monitoramento, apresentando-os de uma maneira simplificada e mais acessível aos tomadores de decisão.

Nesse contexto, o principal objetivo deste trabalho é estudar a utilização de curvas probabilísticas de incompatibilidade entre a qualidade da água de rios da porção capixaba da bacia hidrográfica do rio Doce e os padrões ambientais estabelecidos pela CONAMA n° 357/2005. As referidas curvas probabilísticas condensam as informações oriundas do monitoramento e podem orientar os tomadores de decisão responsáveis pela implementação do enquadramento, uma vez que permitem avaliar com que frequência os padrões de qualidade ambiental são atendidos nos cursos d'água estudados, facilitando a identificação de áreas prioritárias de ação do poder público.

ÁREA DE ESTUDO

Constituiu área de estudo a porção capixaba da bacia hidrográfica do rio Doce. A bacia do rio Doce apresenta uma significativa extensão territorial, (aproximadamente 83.400 km²) dos quais 86% pertencem ao Estado de Minas Gerais e o restante ao Estado do Espírito Santo. Abrange, total ou parcialmente, áreas de 228 municípios, sendo 202 em Minas Gerais e 26 no Espírito Santo e possui uma população total da ordem de 3,1 milhões de habitantes (CBH-DOCE, 2012).

O rio Doce, com uma extensão de 853 km, tem como formadores os rios Piranga e Carmo, cujas nascentes estão situadas nas encostas das serras da Mantiqueira e Espinhaço, onde as altitudes atingem cerca de 1.200 m.

Seus principais afluentes são: pela margem esquerda os rios Piracicaba, Santo Antônio e Suaçuí Grande, em Minas Gerais, Pancas e São José, no Espírito Santo; pela margem direita os rios Casca, Matipó, Caratinga-Cuieté e Manhuaçu, em Minas Gerais, e Guandu, no Espírito Santo (CBH-DOCE, 2012).

A bacia hidrográfica do rio Doce está situada na região Sudeste, entre os paralelos 18°45' e 21°15' de latitude sul e os meridianos 39°55' e 43°45' de longitude oeste. Limita-se ao sul com a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, a oeste com a bacia do rio São Francisco, e, em pequena extensão, com a do rio Grande. Ao norte, limita-se com a bacia dos rios Jequitinhonha e Mucuri e a noroeste com a bacia do rio São Mateus (CBH-DOCE, 2012).

METODOLOGIA

Monitoramento hidrológico e de qualidade de água

As informações sobre qualidade de água utilizadas neste trabalho são decorrentes do monitoramento realizado pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) no período compreendido entre os anos de 1999 a 2010. Na porção capixaba da bacia do rio Doce o acompanhamento da qualidade de água é realizado em nove diferentes pontos de monitoramento que estão especializados na Figura 1 e descritos na Tabela 1.

Tabela 1: Localização e coordenadas UTM dos pontos de monitoramento da água da porção Capixaba na bacia hidrográfica do rio Doce

Pontos de coleta	Localização e UTM
P_1	Na ponte sobre o rio, na cidade de Baixo Guandu. Latitude 7842027N e Longitude 288649E.
P_2	Na ponte sobre o rio Guandu próximo a linha férrea. Latitude 7841267N e Longitude 289341E.
P_3	Em Itapina, próximo ao embarque da balsa. Latitude 7839875N e Longitude 309624E.
P_4	Na ponte sobre o rio Santa Joana. Latitude 7838801N e Longitude 320318E.
P_5	Na captação da FRISA em Colatina. Latitude 7839422N e Longitude 0325012E.
P_6	Na ponte sobre o rio Pancas, próximo ao rio Doce. Latitude 7840952N e Longitude 0225861E.
P_7	No povoado de Barbados. Latitude 7841213N e Longitude 334205E.
P_8	Na ponte em Linhares, BR 101. Latitude 7853237N e Longitude 388123E.
P_9	Na fazenda Câmara, na estrada que vai para Povoação. Latitude 7851127N e Longitude 400531E.

Fonte: IEMA (2010)

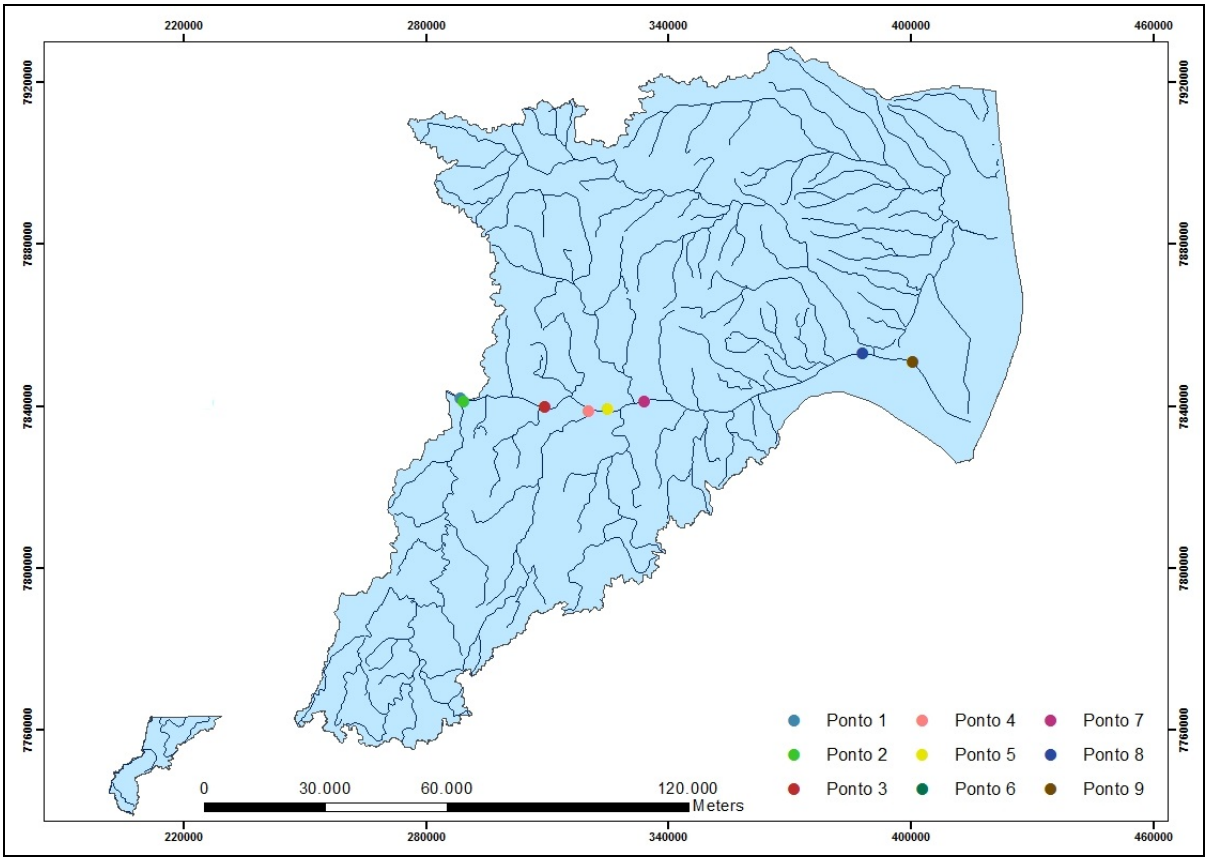

Figura 1 - Mapa de localização dos pontos de monitoramento da qualidade da água da porção capixaba da bacia hidrográfica do Rio Doce.

Os parâmetros considerados neste estudo foram pH, oxigênio dissolvido (OD), turbidez, sólidos totais, demanda bioquímica de oxigênio ($DBO_{5,20}$), fósforo total e coliformes fecais. Os referidos parâmetros foram avaliados todos os pontos de monitoramento.

Curvas probabilísticas

Para a construção das curvas de probabilidade foi utilizada a função de distribuição acumulada. O valor da função de distribuição acumulada [F(x)] é, para cada número real x, dada de acordo com a Equação (01).

$$F(x) = P(X \leq x) \quad (01)$$

O valor de $P(X \leq x)$ representa a probabilidade de que a variável X resulte em um valor inferior ou igual a x. A probabilidade de interesse nesta pesquisa referiu-se, nos casos de não excedência ou de excedência, ao valor de F (x), para x igual ao padrão de qualidade ambiental, ou seja, ao limite preconizado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005) para a classe de enquadramento considerada. Tal porcentagem representou, em termos práticos, a probabilidade de incompatibilidade com o enquadramento legal.

Neste trabalho, foram construídas curvas de probabilidade por parâmetro de qualidade de água ***a)*** para cada ponto de monitoramento do rio Doce e ***b)*** para todos os pontos de forma agrupada. Ainda que os corpos d'água da bacia do rio Doce sejam considerados classe 2, em função da inexistência de enquadramento, neste trabalho foram avaliadas, por parâmetro analisado, as probabilidades de incompatibilidade com os padrões fixados para rios classe 1, 2 e 3.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a avaliação da variação espacial da qualidade foram elaboradas curvas de incompatibilidade por ponto de amostragem. Adicionalmente, foram construídas curvas de incompatibilidade considerando todos os resultados relativos aos pontos de coleta, de forma agrupada. Os resultados obtidos nesta etapa do trabalho estão reunidos

na Tabela 2. Nesta tabela, as células em destaque representam aquelas situações nas quais a frequência de não atendimento dos padrões de qualidade foi superior à frequência de não atendimento quando do agrupamento dos resultados associados aos diferentes pontos de monitoramento. Para os parâmetros turbidez, DBO, fósforo total e coliformes termotolerantes, quando considerado o agrupamento dos pontos de monitoramento, as curvas de incompatibilidade estão representados graficamente pelas Figuras de 2 a 5.

Tabela 2: Porcentagem de não atendimento por ponto de monitoramento e por classe de qualidade de água

Pontos de Monitoramento	Classes	pH	OD	Turbidez	DBO	Sólidos Totais	Fósforo Total	Coliformes
Ponto 1	Classe I	5%	0%	40%	30%	0%	54%	68%
	Classe II	5%	0%	25%	10%	0%	45%	22%
	Classe	5%	0%	25%	0%	0%	27%	9%
Ponto 2	Classe I	5%	0%	65%	42%	4%	91%	100%
	Classe II	5%	0%	40%	14%	4%	68%	100%
	Classe	5%	0%	40%	5%	4%	68%	90%
Ponto 3	Classe I	0%	4%	40%	30%	0%	68%	72%
	Classe II	0%	0%	25%	10%	0%	50%	27%
	Classe	0%	0%	25%	0%	0%	36%	9%
Ponto 4	Classe I	5%	4%	25%	30%	0%	72%	50%
	Classe II	5%	0%	20%	10%	0%	36%	32%
	Classe	5%	0%	20%	0%	0%	36%	18%
Ponto 5	Classe I	0%	0%	33%	8%	0%	53%	85%
	Classe II	0%	0%	25%	0%	0%	38%	46%
	Classe	0%	0%	25%	0%	0%	23%	30%
Ponto 6	Classe I	5%	4%	25%	30%	0%	72%	100%
	Classe II	5%	0%	20%	15%	0%	50%	100%
	Classe	5%	0%	20%	0%	0%	36%	86%
Ponto 7	Classe I	5%	4%	40%	23%	0%	68%	100%
	Classe II	5%	0%	25%	9%	0%	54%	100%
	Classe	5%	0%	25%	0%	0%	45%	100%
Ponto 8	Classe I	5%	5%	30%	28%	5%	84%	70%
	Classe II	5%	5%	15%	11%	5%	58%	50%
	Classe	5%	0%	15%	5%	5%	36%	25%
Ponto 9	Classe I	5%	5%	35%	35%	0%	73%	100%
	Classe II	5%	5%	15%	10%	0%	42%	55%
	Classe	5%	0%	15%	0%	0%	36%	15%
Todos os Pontos Agrupados	Classe I	1%	3%	39%	31%	1%	74%	84%
	Classe II	1%	1%	24%	11%	1%	51%	61%
	Classe	1%	0%	24%	1%	1%	41%	45%

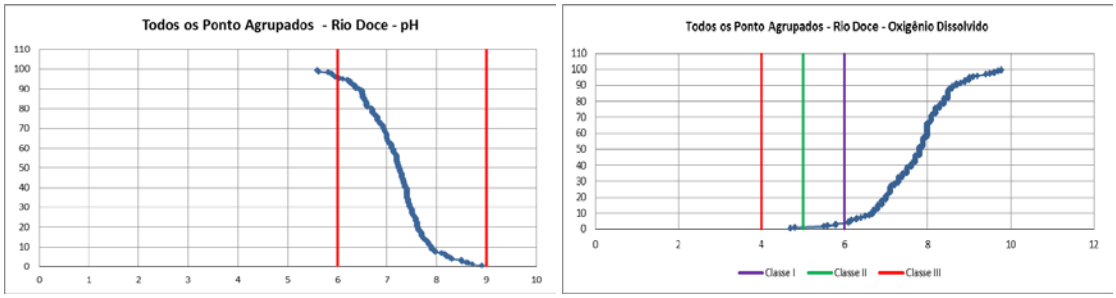

Figura 2: Curva de probabilidade de excedência para o parâmetro pH (esquerda) e oxigênio dissolvido (direita) - Resultados obtidos a partir do agrupamento dos registros de qualidade de água dos diferentes pontos de monitoramento.

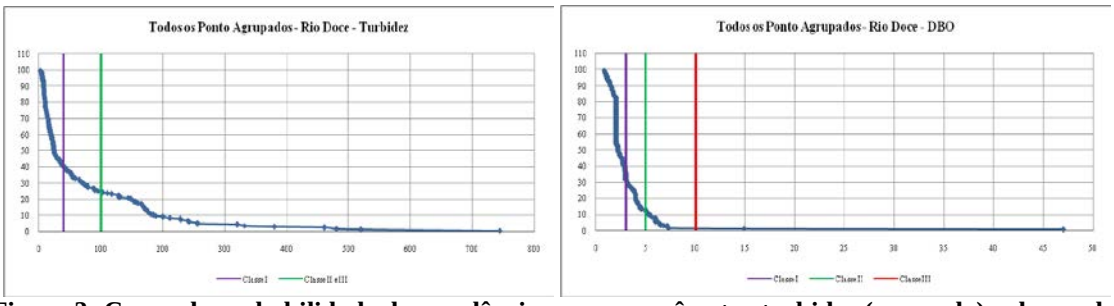

Figura 3: Curva de probabilidade de excedência para o parâmetro turbidez (esquerda) e demanda bioquímica de oxigênio (direita) - Resultados obtidos a partir do agrupamento dos registros de qualidade de água dos diferentes pontos de monitoramento.

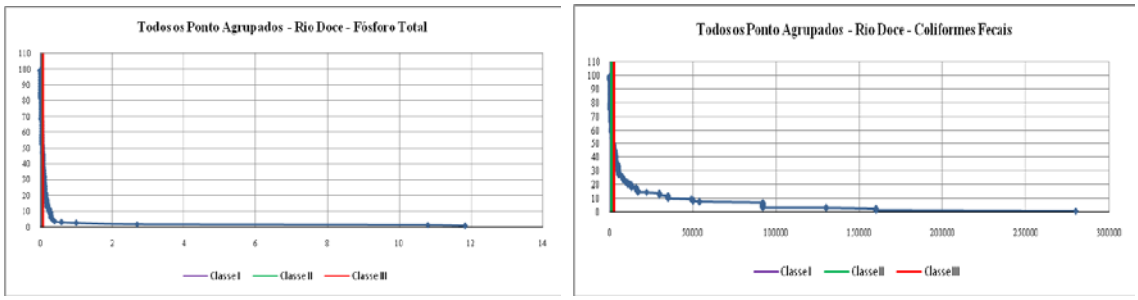

Figura 4: Curva de probabilidade de excedência para o parâmetro fósforo total (esquerda) e coliformes fecais (direita) - Resultados obtidos a partir do agrupamento dos registros de qualidade de água dos diferentes pontos de monitoramento.

Figura 5: Curva de probabilidade de excedência para o parâmetro sólidos totais - Resultados obtidos a partir do agrupamento dos registros de qualidade de água dos diferentes pontos de monitoramento.

A partir da simples inspeção dos resultados reunidos na Tabela 2 e dos gráficos constantes nas figuras de 2 e 5, apresentam-se como relevantes as seguintes considerações:

- O parâmetro pH é regulado por um mesmo padrão de qualidade em todas as classe de enquadramento (valores oscilando entre 6 e 9), o que explica uma mesma frequência de não atendimento para todas as classes de uso. Neste estudo, os percentuais de incompatibilidade entre padrão ambiental e condição de qualidade oscilaram entre 0% (pontos 3 e 5) e 5% (pontos 1, 2, 4, 6, 7, 8 e 9);

- O padrão de qualidade associado ao parâmetro OD em rios classe 3 (4 mg/L) foi atendido em todos os pontos de monitoramento. O padrão da classe 2 (5 mg/L) foi respeitado nos pontos 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, não sendo atendido com frequência de 4% nos pontos 8 e 9. O padrão estabelecido para classe 1 (6 mg/L) foi respeitado nos pontos 1, 2 e 5 e não foi respeitado com frequência, variando entre 4% (pontos 3, 4, 6 e 7) e 5% (pontos 8 e 9).

- O padrão ambiental estabelecido para o parâmetro turbidez em rios de classes 2 e 3 (100 UNT) foi superado em todos os pontos de monitoramento, com frequência, variando entre 15% (pontos 8 e 9) e 40% (ponto 2). O padrão de turbidez para rios de classe 1 (40 UNT), também não foi atendido em nenhum dos pontos de monitoramento, com frequência de não atendimento variando entre 25% (pontos 4 e 6) e 65% (ponto 2);

- Para o parâmetro $DBO_{5,20}$, o padrão de qualidade associado aos rios classe 3 (10 mg/L) foi atendido nos pontos de monitoramento 1, 3, 4, 5, 6, 7 e 9. Nos demais pontos de monitoramento a frequência de não atendimento é de 5% para os pontos 2 e 8; o padrão de qualidade associado aos rios classe 2 (5 mg/L) foi atendido apenas no ponto 5 e nos demais pontos não foi respeitado, com frequência, variando entre 9% (ponto 7) e 15% (ponto 6). O padrão de qualidade referente aos rios de classe 1 (3 mg/L), por sua vez, não foi respeitado em nenhum dos pontos de monitoramento, com frequência de não atendimento variando entre 8% (ponto 5) e 42% (ponto 2).

- O parâmetro sólidos totais é regulado por um mesmo padrão de qualidade em todas as classe de enquadramento (500 mg/L), o que explica uma mesma frequência de não atendimento para todas as classes de uso. O padrão ambiental foi respeitado nos pontos 1, 3, 4, 5, 6, 7 e 9. Nos demais pontos não foi respeitado, com frequência de não atendimento variando entre 4% (ponto 2) e 5% (ponto 8).

- A frequência de não atendimento referente ao fósforo total variou entre 23% (ponto 5 e padrão de enquadramento classe 3) e 91% (ponto 2 e padrão de enquadramento classe 1). A atividade agropecuária praticada ao longo do Doce pode ser apontada como a principal causa deste resultado;

- Para o parâmetro coliformes termotolerantes foram observados elevados percentuais de incompatibilidade entre a qualidade e o padrão ambiental, independente da classe de uso ou do ponto de monitoramento considerado. O padrão para classe 3 (2500 coliformes termotolerantes por 100 mililitros) foi superado com frequência variando entre 9% (pontos 1 e 3) e 100% (ponto 7). O padrão para classe 2 (1000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros) não foi respeitado com frequência variando entre 22% (ponto 1) e 100% (pontos 2, 6 e7). O padrão para classe 1 (200 coliformes termotolerantes por 100 mililitros) foi superado com frequência variando entre 50% (ponto 4) e 100% (pontos 2, 6, 7 e 9). Vale ressaltar que o ponto 7 foi o único no qual se observou 100% de incompatibilidade para as três possíveis classes de enquadramento. A disposição de esgotos domésticos ao longo de toda a extensão do rio Doce e de seus afluentes pode ser apontada como a principal causa para este resultado.

- A análise agrupada dos registros de qualidade, situação na qual se admite um enquadramento único para todo o sistema hídrico analisado, usualmente apresenta maiores incompatibilidades entre o padrão de qualidade ambiental e as condições de qualidade de água observadas.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A análise dos resultados por ponto de monitoramento permitiu a observação da variação espacial da compatibilidade dos valores de parâmetros de qualidade de água com os padrões relativos às diversas classes de enquadramento no rio Doce. Os resultados demonstraram que os parâmetros fósforo total e coliformes termotolerantes apresentaram elevados percentuais de incompatibilidade, em todos os pontos de monitoramento, independentemente da classe de uso. A disposição de esgotos domésticos e a intensa atividade agropecuária, comuns em toda a bacia hidrográfica, podem ser apontadas como as causas destes resultados.

A análise agrupada de todos os pontos de monitoramento, sugerindo a possibilidade de um enquadramento único para todo o curso d'água, produziu frequências de não atendimento dos padrões ambientais superiores àquelas registradas na maioria pontos de monitoramento considerados neste estudo.

Resultados como os obtidos no presente estudo, pelo fato de apresentarem variações espaciais de compatibilidade entre parâmetros de qualidade de água e os padrões relativos a diferentes classes de uso preconizadas pela Resolução CONAMA n° 357/2005, podem contribuir para tomadas de decisão, tecnicamente fundamentadas, a respeito de intervenções prioritárias para a conservação e recuperação dos sistemas aquáticos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente: Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2005.
2. BRASIL. Política Nacional dos Recursos Hídricos: Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 1997.
3. CBH – DOCE - Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Doce. Governador Valadares, MG, 2009. Disponível em: <http://www.riodoce.cbh.gov.br>. Acesso em: 20/02/2012.
4. CUNHA, D.G.F.; CALIJURI, M.C. Análise probabilística de ocorrência de incompatibilidade da qualidade da água com o enquadramento legal de sistemas aquáticos – estudo de caso do rio Pariquera-Açu (SP). Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v.15 n.4, out/dez 2010, 337-346p. São Carlos/SP: ABES, 2010.
5. INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE – IEMA. Relatório de monitoramento das águas superficiais das Bacias do ES. Espírito Santo: IEMA, 2010.
6. LEEUWESTEIN, J.M.; NETTO, O.M.C. Uma Avaliação da Aplicação do Instrumento de Enquadramento de Corpos de Água em Países Selecionados. Simpósio ABRH - I Simpósio de Recursos Hídricos do Centro Oeste Brasília. Brasília, DF, 2000.
7. MARINATO, C.F.; GALLINA, K.L.; TEXEIRA, E.C. Concepção de Sistema de Informações no Tema Enquadramento de Corpos de Água: Aproximando a Sociedade dos Gestores de Recursos Hídricos. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Maceió, AL, 2011.
8. TUCCI, C.E.M. Gestão da Água no Brasil. Brasília, DF: UNESCO, 2001.