

ESTUDO COMPARATIVO DE VAZÕES VISANDO O ATENDIMENTO DOS LIMITES DE ENQUADRAMENTO DA RESOLUÇÃO CONAMA 357/05

Marianne S. França Sieciechowicz¹, Ana Paula Mühlenhoff², Nicole M. Brassac de Arruda³, Gheysa Moraes Pires⁴, Letícia Uba da Silveira⁵, Tânia L. Graf de Miranda⁶, Ingrid Illich Müller⁷ & Geovanni Fedalto⁸

Resumo – No presente estudo foram avaliados dados quali-quantitativos de duas estações de monitoramento localizadas na bacia do rio Iguçu, a montante do reservatório da UHE Foz do Areia. Visando o atendimento dos limites da Classe 2 da Resolução CONAMA 357/05, para as variáveis DBO e fósforo total, a luz do seu Artigo 10, realizou-se um estudo comparativo entre vazões de diferentes permanências: $Q_{95\%}$, Q_{moda} , $Q_{50\%}$ e Q_{mlp} . Para tanto, foram reunidas as metodologias apresentadas por Zucco *et al.* (2012), que trata da estimativa de concentrações para vazões de referência, e por Brites *et al.* (2007), que apresenta o conceito de curvas de permanência de variáveis de qualidade de água. Concluiu-se que, em termos de gestão dos recursos hídricos, a aplicação da Q_{moda} , de permanência em torno de 80%, seria a mais indicada na região de estudo.

Palavras-Chave – probabilidade de ocorrência dos padrões de qualidade de água, monitoramento quali-quantitativo de corpos d'água

COMPARATIVE STUDY OF FLOW RATES AIMING CONAMA'S RESOLUTION FRAMING LIMITS

Abstract – In the present study, qualitative and quantitative data of monitoring stations in Iguçu river basin, upstream to the HPP Foz do Areia's reservoir, were evaluated. A comparative study of different flows rates was carried out in order to test the applicability of article 10 of CONAMA Resolution nº 357/05, for BOD and total phosphorus. In order to proceed with the experiment, two methodologies were applied: the estimation of concentrations in water courses to the references flow (Zucco *et al.*, 2012) and the flow duration curve of water quality variables (Brites *et al.*, 2007). It was concluded that, in terms of water resources management, the application of Q_{moda} , with the duration of 80% of duration, would be the most appropriate for studied area.

Keywords – occurrence probability of water quality standards, qualitative and quantitative water quality monitoring

¹ LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento; marianne.franca@lactec.org.br*

² LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento; anapaulamuhlenhoff@yahoo.com.br

³ LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento; n.brassac@lactec.org.br

⁴ LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento; gheysa.pires@lactec.org.br

⁵ LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento; leticia.silveira@lactec.org.br

⁶ LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento; tania.miranda@lactec.org.br

⁷ LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento; ingrid@lactec.org.br

⁸ COPEL – Companhia Paranaense de Energia; geovanni.fedalto@copel.com

INTRODUÇÃO

Observa-se, de modo frequente, a utilização dos padrões de qualidade de águas da Resolução CONAMA 357/05 para a realização de diagnósticos de corpos hídricos em estudos ambientais. No artigo 10 da referida Resolução, ressalta-se que os valores máximos estabelecidos para os parâmetros relacionados em cada uma das classes de enquadramento deverão ser obedecidos nas condições de vazão de referência. A importância da vazão de referência está em se estabelecer uma vazão de base de pequeno risco (Harris *et al.*, 2000), ou seja, é uma garantia que a qualidade da água esteja compatível com o uso preponderante dos recursos hídricos enquadrados, durante a maior parte do tempo.

Todavia, o que se nota comumente é a realização de diagnósticos de qualidade de água que se baseiam nas concentrações dos parâmetros obtidas para a vazão observada no momento da amostragem, ignorando o preconizado no artigo 10. Tal hábito está relacionado principalmente à falta de monitoramento quali-quantitativo e à indefinição da vazão de referência.

Apesar de existirem diferentes métodos para o estabelecimento da vazão de referência (Zucco *et al.*, 2012), de modo geral, no Brasil, cada estado tem adotado critérios particulares pragmáticos para o estabelecimento das vazões de referência sem, no entanto, apresentar justificativas da adoção desses valores (Silva *et al.*, 2006).

Neste contexto, o presente trabalho se propôs a realizar um estudo comparativo de vazões em dois corpos d'água da bacia do rio Iguaçu, com o objetivo de avaliar o atendimento dos limites da Resolução CONAMA 357/05, para rios de Classe 2, para as variáveis DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e fósforo total.

METODOLOGIA

Zucco *et al.* (2012) apresentaram uma metodologia para estimar concentrações em cursos de águas para as vazões de referência. Com os dados de concentração e vazão, para cada coleta realizada no monitoramento de qualidade de água, determina-se a carga transportada na seção fluviométrica considerada. Com base em tal metodologia, a carga transportada no instante de tempo i do elemento considerado (F_i) foi estimada pela expressão:

$$F_i = C_i \cdot Q_i \quad (1)$$

onde C_i é a concentração (mg/L) e Q_i é a vazão (m³/s). A partir disso, a concentração de um dado constituinte presente no rio (C_r) para o regime de referência adotado foi determinada pela expressão:

$$C_r = \frac{\bar{F}}{Q_r} \quad (2)$$

onde \bar{F} é a carga média (kg/s) e Q_r é a vazão de referência (m³/s), sendo a carga média determinada através da média aritmética dos valores estimados nas datas de coletas de amostras de qualidade das águas.

Em Brites *et al.* (2007), visando a aplicação do instrumento Enquadramento dos corpos d'água (Lei 9.433/97) foi apresentada uma metodologia sustentada pela utilização de um modelo de integração quali-quantitativo d'água. Neste foi incluído uma ferramenta de análise das curvas de frequência hidrológica e curvas de permanência das variáveis de qualidade de água, sendo possível prever para determinada variável a probabilidade de permanência na classe de enquadramento.

Assim, o presente trabalho buscou unir as metodologias apresentados por Zucco *et al.* (2012) e Brites *et al.* (2007), visando definir o tempo de atendimento dos limites da Resolução CONAMA 357/05 – para as variáveis DBO e fósforo total – aplicado a diferentes vazões. Para tanto, primeiramente, foram obtidas as concentrações das variáveis de qualidade de água mencionadas considerando diferentes vazões de referência (aplicação das equações 1 e 2), e em seguida, para cada conjunto de concentrações obtidas para as diferentes vazões de referência selecionadas neste estudo, foram construídas curvas de permanência de DBO e fósforo total. A partir do ajuste de linha de tendência do tipo exponencial e de sua respectiva equação, foi possível obter o percentual de atendimento da Resolução CONAMA 357/05 – para as variáveis DBO e fósforo total - para cada uma das vazões selecionadas.

Área de estudo

Para a realização do presente estudo foi fundamental encontrar corpos d'água que possuíssem uma base de dados quali-quantitativa. Além disso, optou-se por trabalhar com estações que possuíssem séries históricas de vazões referentes a um período mais extenso, com a finalidade de se obter resultados mais confiáveis.

Isto posto, optou-se por estudar primeiramente uma estação localizada no rio Iguaçu, na cidade de União da Vitória/PR. O monitoramento quantitativo neste local teve início em maio de 1930. Cabe destacar que o monitoramento qualitativo não ocorreu no local exato da seção de réguas limimétricas. Para o aproveitamento de tais dados, foi realizado um cálculo de transposição de vazão por relação direta entre áreas de drenagem, considerando que a vazão específica ($m^3/s/km^2$) na estação fluviométrica e na estação de qualidade de água é a mesma.

A título de comparação e validação, escolheu-se outra estação, que possuísse um período de vazões históricas semelhante. Assim, optou-se por estudar os dados quali-quantitativos do rio Palmital, com série histórica de vazões iniciando em novembro de 1945. Ressalta-se que assim como para a estação no rio Iguaçu, também se calculou a transposição de vazão. Além disso, o que contribuiu para a escolha dessas estações foi o reduzido índice de falhas na série histórica (0,94% para a estação no rio Iguaçu e 0,13% para a estação no rio Palmital).

As referidas estações, objeto de análise do presente estudo, fazem parte da rede de monitoramento da Companhia Paranaense de Energia (COPEL). O projeto em que as estações encontram-se inseridas tem como objetivo avaliar as cargas nutrientes e matéria orgânica afluentes ao reservatório da UHE Gov. Bento Munhoz da Rocha Netto (UHE Foz do Areia), de modo que se faz necessário o monitoramento quali-quantitativo na região.

A Tabela 1 e a Figura 1 mostram mais detalhes das estações selecionadas para o estudo.

Tabela 1 – Descrição das estações Iguaçu e Palmital

	Rio Iguaçu	Rio Palmital
Estação Fluviométrica	União da Vitória	Fazenda Maracanã
Código	65310000	65415000
Área de drenagem (km^2)	24.211	323
Período de observação	01/05/1930 a 22/10/2012	16/11/1945 a 30/09/2012
Estação de Qualidade de Água	Iguaçu	Palmital
Área de drenagem (km^2)	24.900	443,2
Frequência do monitoramento	bimestral	bimestral
Período monitorado	Abril/2009 a Fevereiro/2012	Abril/2009 a Fevereiro/2012

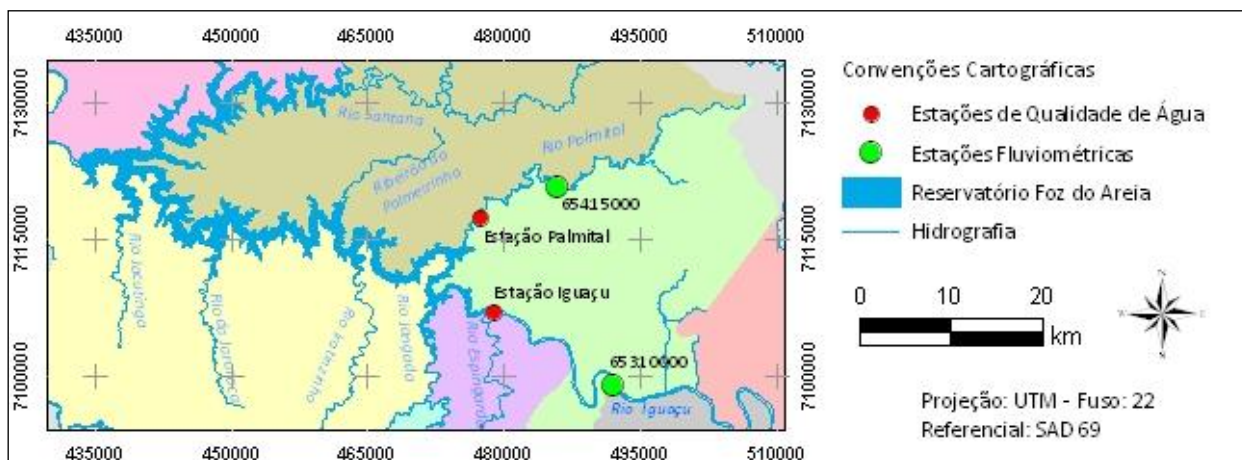


Figura 1 – Localização das estações fluviométricas e de qualidade de água nos rios Iguçu e Palmital

Definição de vazões

Para a seleção das vazões a serem comparadas no estudo, primeiramente, determinou-se a $Q_{95\%}$, por ser esta a vazão de referência adotada no Estado do Paraná. Para tanto, foram construídas as curvas de permanência (método de Kimball) a partir dos dados das séries históricas de vazões diárias das estações fluviométricas União da Vitória e Fazenda Maracanã. Por definição, a $Q_{95\%}$ é a vazão igualada ou superada em 95% do tempo, assim sendo, acaba representando vazões muito baixas. Desta forma, optou-se por utilizar um cenário mais otimista, definindo-se então a Q_{mlp} (vazão média de longo período).

Com a análise da série histórica de vazões diárias, outra alternativa foi trabalhar com a moda da série, ou seja, com a vazão diária que mais se repetiu em todo o período observado.

Por fim, selecionou-se também a $Q_{50\%}$, que representa a mediana das vazões diárias da série histórica, sendo menos influenciada por valores muito menores ou muito maiores que os demais. A referida vazão é igualada ou superada em 50% do tempo.

Com a construção da curva de permanência a partir da série histórica de vazões diárias, foi possível observar as permanências das vazões Q_{moda} e Q_{mlp} . A Tabela 2 apresenta as vazões a serem comparadas no estudo, com seus respectivos valores e permanências.

Tabela 2 – Vazões selecionadas para o estudo

Vazão	Rio Iguçu (Estação União da Vitória)	Permanência	Rio Palmital (Estação Fazenda Maracanã)	Permanência
$Q_{95\%}$	99,86 m ³ /s	95%	1,67 m ³ /s	95%
Q_{moda}	153,60 m ³ /s	83%	2,68 m ³ /s	83%
$Q_{50\%}$	327,10 m ³ /s	50%	5,69 m ³ /s	50%
Q_{mlp}	461,48 m ³ /s	35%	9,07 m ³ /s	30%

Estimativa das concentrações para as vazões selecionadas

O monitoramento da qualidade das águas do rio Iguçu e Palmital foi realizado bimestralmente entre abril de 2009 e fevereiro de 2012, totalizando 18 campanhas. Concomitantemente ao monitoramento qualitativo, foram realizadas leituras dos níveis das réguas linimétricas das estações fluviométricas correspondentes. Apesar de serem monitoradas diversas variáveis de qualidade de

água nas respectivas estações, optou-se neste estudo por utilizar os dados relativos às variáveis DBO e fósforo total.

De posse dos dados de concentração das variáveis de qualidade de água (mg/L) e da respectiva vazão (m³/s), foi possível obter a carga transportada naquele determinado instante a partir do produto entre a vazão e a concentração da variável em questão.

Para estimar a concentração de DBO e fósforo total nas quatro vazões selecionadas, utilizou-se a equação 2. Todavia, ao invés de se utilizar a média das cargas, o cálculo foi realizado para cada uma das campanhas. Ou seja, foram criadas quatro séries de dados, uma para cada vazão, considerando as 18 campanhas.

Curvas de permanência de variáveis de qualidade de água

De acordo com Brites *et al.* (2007), estas curvas permitem avaliar a permanência das variáveis de qualidade de água em determinadas concentrações. Assim, estabeleceu-se uma relação entre as concentrações de DBO e fósforo total, obtidas para cada uma das 18 campanhas nas quatro vazões estabelecidas, em função do tempo de permanência. As concentrações foram dispostas do menor para o maior valor, considerando-se os 18 valores das campanhas. Quando observados valores repetidos na série, tomou-se a referida frequência absoluta igual ao número de repetições. Após obtida a frequência relativa, esta foi acumulada. Assim, a curva de permanência das variáveis de qualidade de água resultou da relação entre as concentrações dispostas em ordem decrescente e suas respectivas frequências relativas acumuladas.

No total, foram geradas 16 curvas de permanência, considerando as duas estações monitoradas, as duas variáveis de qualidade de água e as vazões $Q_{95\%}$, Q_{moda} , $Q_{50\%}$ e Q_{mlp} . Com o ajuste de linha de tendência do tipo exponencial e sua equação resultante, foi possível avaliar o percentual de tempo de atendimento dos limites da Classe 2 da Resolução CONAMA 357/05 para a DBO (até 5,00 mg/L) e fósforo total (até 0,1 mg/L para ambientes lóticos) para as quatro vazões selecionadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cargas de DBO e fósforo total no instante da coleta

Os valores das cargas de DBO e fósforo total, nos rios Iguazu e Palmital, para o instante em que se deu o evento de coleta, são apresentados na forma de *Box plots* (Figura 2). Observa-se a presença de *outliers* no rio Palmital para as cargas de DBO (Figura 2a) e de fósforo total (Figura 2b). Para a DBO, tais valores correspondem às campanhas de abril/2010 e fevereiro/2012, e para o fósforo total, o *outlier* refere-se à campanha de abril/2010.

Na campanha de abril/2010, o nível do rio Palmital era de 412 cm, resultando em uma vazão de 138,20 m³/s. Sendo a Q_{mlp} do referido corpo hídrico igual a 9,07 m³/s (Tabela 2), conclui-se que a vazão no horário da coleta estava extremamente elevada. Em relação à concentração de DBO e fósforo neste evento, estas também se apresentaram mais elevadas do que o de costume. Desta forma, acabaram resultando valores de carga muito elevados para ambas as variáveis (Figura 2a e Figura 2b). Tal fato – concentração e vazão elevadas – está provavelmente relacionado à ocorrência de chuvas mais intensas na região, que aumentaram o aporte de materiais e substâncias ao corpo hídrico, incrementando a poluição difusa, ao invés de auxiliar na diluição (JARVIE, 2006).

Na campanha de fevereiro/2012, a concentração de DBO também se mostrou mais elevada, assim como a vazão no instante da coleta, o que resultou em valor mais elevado de carga (Figura 2a). O aporte de fósforo, todavia, mostrou-se menor, não incorrendo em valores *outliers* (Figura 2b).

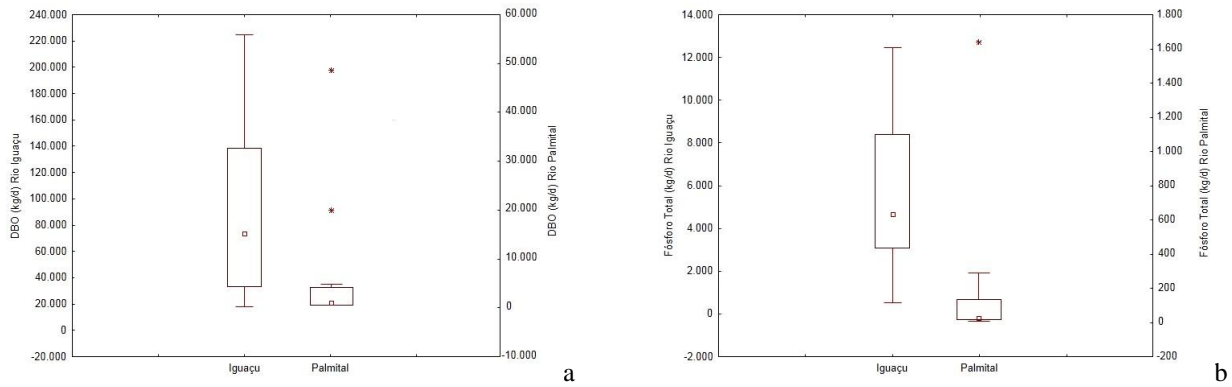


Figura 2 – Box plot das 18 campanhas realizadas para as cargas de DBO (a) e fósforo total (b) nos rios Iguaçu e Palmital

Concentrações de DBO e fósforo total nas vazões $Q_{95\%}$, Q_{moda} , $Q_{50\%}$ e Q_{mlp}

As concentrações de DBO e fósforo total, nos rios Iguaçu e Palmital, estimadas para as vazões $Q_{95\%}$, Q_{moda} , $Q_{50\%}$ e Q_{mlp} , são apresentadas na Figura 3.

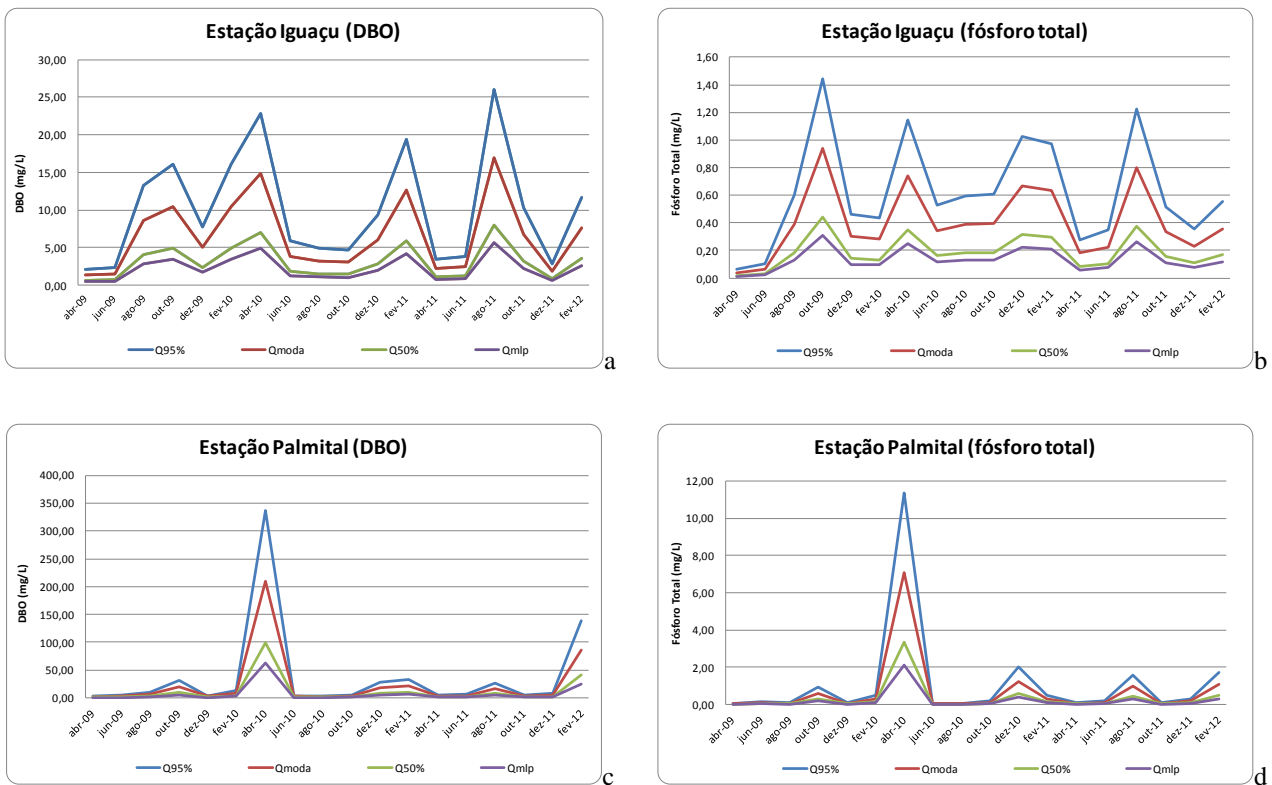


Figura 3 – Concentrações de DBO e fósforo total nos rios Iguaçu (a e b) e Palmital (c e d) nas vazões $Q_{95\%}$, Q_{moda} , $Q_{50\%}$ e Q_{mlp}

Percentual de atendimento aos limites da Resolução CONAMA 357/05

Foram construídas curvas de permanência das variáveis DBO e fósforo total, visando definir em que percentual de tempo os limites da Resolução CONAMA 357/05, para rios de Classe 2 ($\leq 5,00$ mg/L, para a DBO e $\leq 0,1$ mg/L, para fósforo total), seriam atendidos.

A partir do ajuste de linha de tendência do tipo exponencial e de sua respectiva equação, foi possível obter o percentual de atendimento da Resolução CONAMA 357/05, para rios de Classe 2, considerando as vazões $Q_{95\%}$, Q_{moda} , $Q_{50\%}$ e Q_{mlp} . Para melhor ajuste da linha de tendência na estação Palmital, foram retirados os valores *outliers* referentes às campanhas de abril/2010 e fevereiro/2012 (Figura 2). A Tabela 3 apresenta os resultados:

Tabela 3 – Percentual de atendimento aos limites da Resolução CONAMA 357/05

Vazão	Estação Iguaçu		Estação Palmital	
	DBO	Fósforo Total	DBO	Fósforo Total
$Q_{95\%}$	35%	0%	32%	33%
Q_{moda}	50%	10%	49%	43%
$Q_{50\%}$	77%	37%	75%	60%
Q_{mlp}	89%	49%	91%	69%

A título de exemplificação, a Figura 4 apresenta as curvas de permanência de DBO para as estações Iguaçu e Palmital na vazão $Q_{95\%}$.

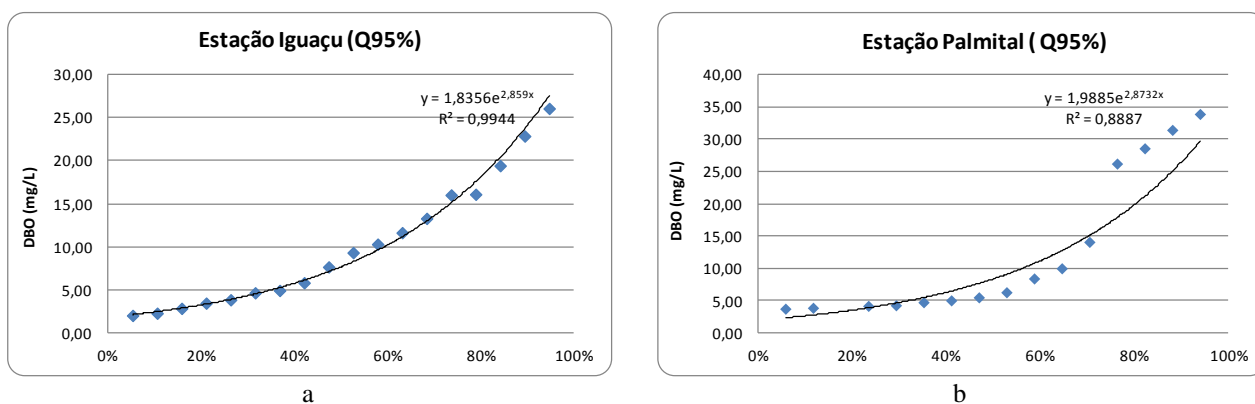


Figura 4 – Curvas de permanência de DBO para os rios Iguaçu (a) e Palmital (b) na vazão $Q_{95\%}$

Observa-se na Tabela 3 que o percentual de atendimento dos limites da Resolução CONAMA 357/05, para a $Q_{95\%}$, foram superiores a 30% do tempo para a DBO nas duas estações. Para o fósforo, o tempo de atendimento foi de 30% na estação Palmital, enquanto que, na estação Iguaçu, as concentrações em nenhum momento seriam inferiores a 0,1 mg/L.

Para a Q_{moda} , com permanência em torno de 80%, o tempo de atendimento para a DBO em ambas as estações é de 50%, enquanto que para o fósforo, a situação é pior para a estação Iguaçu (10%) e melhor para a estação Palmital (43%).

Para as vazões $Q_{50\%}$ e Q_{mlp} , o cenário se torna mais favorável para a DBO em ambas as estações e para o fósforo, na estação Palmital, com percentuais de atendimento elevados. Quanto ao fósforo total, na estação Iguaçu, este se mostrou mais problemático, visto que até mesmo para a vazão Q_{mlp} , com permanência de 35% (Tabela 2), o tempo de atendimento não passa de 49%.

CONCLUSÕES

O presente estudo mostrou que, apesar de se ter uma segurança maior com a aplicação de uma vazão mais restritiva, como a $Q_{95\%}$, o atendimento da Resolução CONAMA 357/05, no seu artigo 10, torna-se pouco plausível. A utilização das vazões $Q_{50\%}$ e Q_{mlp} , apesar de resultar em tempos de atendimento mais satisfatórios, são pouco viáveis, haja vista sua baixa permanência, em termos de segurança. Deste modo, conclui-se que a vazão mais adequada seria a Q_{moda} , com permanência em torno de 80%, verificada em ambos os casos (Iguaçu e Palmital). Destaca-se que, para esta validação, a utilização de séries históricas mais extensas de vazões e com baixo índice de falhas foi essencial.

O estudo também mostrou que o tempo de atendimento para a DBO foi similar em ambas as estações, o que não foi observado para o fósforo total. Tal ocorrência está provavelmente relacionada ao fato de o rio Iguaçu apresentar maior comprometimento quanto a esta variável, quando comparado ao rio Palmital, na região de estudo.

AGRADECIMENTOS

Os autores do presente estudo agradecem à COPEL – Companhia Paranaense de Energia pela cessão dos dados de qualidade de água aqui publicados.

REFERÊNCIAS

- BRITES, A. P. Z.; PORTO, M. F. A.; FERNANDES, C. V. S. Proposta de uma ferramenta de auxílio para aplicação do enquadramento dos corpos d'água. In *Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e 8º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa*, São Paulo, 2007.
- JARVIE, H.P.; NEAL, C.; WITHERS, P. J.A. Sewage-effluent phosphorus: A greater risk to river eutrophication than agricultural phosphorus? *Science of The Total Environment*. V. 360, p 246-253, 2006.
- HARRIS, N. M.; GURNELL, A. M.; HANNAH, D. M.; PETTS, G. E. (2000). Classification of river regimes: a context for hydroecology. *Hydrological Processes*. V.14, p 2831-2848.
- SILVA, A.M.; OLIVEIRA, P. M.; MELLO, C.R.; PIERANGELI, C. (2006). Vazões mínimas de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. V.10, n.2, p 374-380.
- ZUCCO, E.; PINHEIRO, A.; DESCHAMPS, F.C.; SOARES, P.A. (2012). Metodologia para estimativa das concentrações em cursos de água para vazões de referência: uma ferramenta de suporte e apoio ao sistema de gestão de bacias hidrográficas. *REGA*. V. 9, n.1, p 25-37