

## IV-108 - ESTUDO DAS CARGAS DE NUTRIENTES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO BANDEIRA - CAMPO GRANDE, MS

**Leandro Guimarães Bais Martins<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Mestrando em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP).

**Marjolly Priscilla Shinzato**

Engenheira Ambiental pela UFMS. Mestre em Tecnologias Ambientais pela UFMS. Doutoranda em Hidráulica e Saneamento na EESC/USP.

**Kennedy Francis Roche**

Biólogo pela University College Cork (Irlanda). Mestre em Zoologia pela University College Cork (Irlanda). Doutor em Limnologia pela Rijksuniversiteit te Gent (Bélgica). Professor Adjunto da UFMS.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Trabalhador São-carlense, 400 - Departamento de Hidráulica e Saneamento - São Carlos - SP - CEP: 13566-590 - Brasil - Tel: (16) 3373-9534 - e-mail: [leandro@sc.usp.br](mailto:leandro@sc.usp.br)

### RESUMO

O ambiente urbano produz diversos impactos aos ambientes aquáticos, contribuindo por exemplo para a deterioração da qualidade da água. No presente estudo, foi realizado um balanço de cargas, dos nutrientes nitrogênio e fósforo, em um reservatório artificial de uma pequena bacia hidrográfica urbana. Este reservatório, chamado Lago do Amor, recebe águas dos córregos Bandeira e Cabaça e é afluente do córrego Bandeira. Foram realizadas coletas de amostras de água e medições de vazão em três pontos próximos ao reservatório (2 a montante e 1 a jusante) durante 17 meses, totalizando 25 campanhas amostrais. As concentrações de nutrientes foram, em sua maioria, muito altas em todos os pontos, mas o balanço das concentrações indicou valores de carga na saída inferiores aos de entrada, sugerindo acúmulo, principalmente de fósforo, dentro do reservatório. Não foi detectada nenhuma relação clara entre carga de nutrientes e precipitação durante o estudo, mas foi possível notar uma redução nas vazões e concentrações de nutrientes após a implantação de um sistema de coleta de esgoto na região. A partir dos resultados deste trabalho, discute-se ainda a relevância da poluição difusa e pontual na bacia, além do impacto que uma ocupação urbana produz em corpos de água.

**PALAVRAS-CHAVE:** Nitrogênio, fósforo, reservatório artificial, bacia urbana, poluição difusa.

### INTRODUÇÃO

A urbanização representa uma das manifestações mais significativas da atividade humana. Porém, a formação das cidades alterou ou vem alterando drasticamente as bacias hidrográficas e seus ecossistemas aquáticos. Nesse contexto, o crescimento urbano modifica bastante a superfície do solo, aumentando consideravelmente as áreas impermeáveis e o volume de água escoado superficialmente em eventos de precipitação. Este escoamento leva ao carregamento de poluentes de origem difusa para os corpos d'água, que cresce simultaneamente com o desenvolvimento das cidades. Além disso, existe o despejo de cargas pontuais de poluentes – tais como esgoto, efluentes industriais e resíduos sólidos – ao longo de toda a extensão do corpo de água. Desta forma, é pouco razoável se esperar que os rios localizados em áreas urbanas mantenham suas condições naturais, pois os impactos ambientais são inevitáveis.

Sobre os aspectos qualitativos, o impacto que a urbanização pode causar a um corpo d'água deve-se basicamente à poluição dos mananciais, a qual pode ter origem difusa – gerada de forma distribuída ao longo da superfície do solo, onde os poluentes são direcionados aos corpos de água principalmente por ocasião dos eventos de chuva – ou pontual – cuja fonte pode ser determinada e localizada, tal como esgotos domésticos, descargas industriais e efluentes de aterros sanitários. E a predominância dessas fontes poluidoras está relacionada com serviços de saneamento, por exemplo, em países desenvolvidos – com sistemas de saneamento modernos e completos – a poluição difusa é a principal responsável pela degradação da qualidade dos recursos hídricos, já nos países em desenvolvimento – com sistemas de saneamento precários – a quantidade de fontes pontuais é bastante representativa no contexto da poluição das águas.

A ausência de redes coletoras de esgoto sanitário faz grande parte deste efluente atingir, direta ou indiretamente, os recursos hídricos. Eiger (1999) já constata que em regiões urbanas, as fossas sépticas são as fontes mais significativas da poluição difusa, principalmente quando não estão ligadas a sumidouros ou instaladas em solo de baixa absorção. Entretanto, segundo Novotny & Olem (2003), o esgoto pode também ser caracterizado como uma fonte pontual, quando lançado diretamente nos rios. Os enormes impactos da presença do esgoto na água são conhecidos e amplamente documentados na literatura, destaca-se aqui a relevância dos altos índices de nitrogênio e fósforo no esgoto doméstico, especialmente sobre os impactos que tais representam em ambientes lênticos – como represas, lagos e reservatórios.

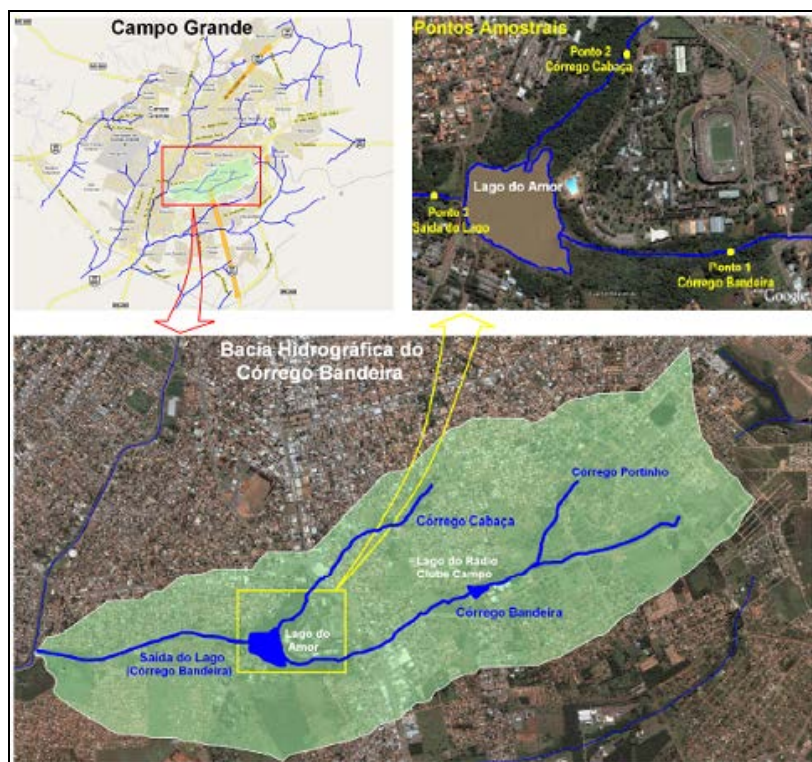
A eutrofização – importante impacto da poluição de ambientes lênticos – provoca deterioração dos ecossistemas aquáticos; alterações ecológicas e sócio-econômicas, como também prejuízos à saúde pública. Com a evolução do nível de eutrofização (de oligotrófica à hipereutrófica), os corpos d'água tendem ao assoreamento e/ou desaparecimento, encurtando sua vida útil, modificando sua colonização por plantas e animais e alterando suas características físico-químicas. Portanto, busca-se a previsão desses danos à qualidade da água e o seu respectivo controle/tratamento diante das atividades humanas, mas devido a grande variabilidade espacial e temporal dos parâmetros de qualidade da água, os gestores ainda encontram dificuldades de execução, monitoramento e fiscalização.

A mitigação dos impactos ambientais abordados implica em grandes gastos para a recuperação de ecossistemas aquáticos e seu controle depende de ações que iniciam nas bacias hidrográficas e nas fontes pontuais de descarga de nutrientes. Além disso, existem fatores locais significativos, cujos efeitos nem sempre podem ser generalizados ou extrapolados, o que exige um monitoramento específico em cada área de estudo para melhorar a eficiência do controle desses impactos. Por isso, este trabalho consiste no estudo das cargas de nutrientes na bacia hidrográfica do córrego Bandeira, em Campo Grande/MS/Brasil.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do córrego Bandeira (Figura 1) está localizada dentro do perímetro urbano de Campo Grande, capital do estado de Mato Grosso do Sul (MS).



**Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do córrego Bandeira no perímetro urbano de Campo Grande/MS/Brasil.**

Essa bacia possui 15,2km<sup>2</sup> de área, população em torno de 40.000 habitantes e ocupação residencial e comercial – com predominância de estabelecimentos como postos de combustíveis, garagens de ônibus, oficinas mecânicas e funilarias. A bacia é composta ao todo por três córregos Cabaça, Portinho Pache e o Bandeira, principal da bacia com aproximadamente 2.500m de comprimento. Estes apresentam-se degradados pelo lançamento de efluentes domésticos, industriais e comerciais, principalmente óleos e graxas, devido aos tipos de atividades na bacia. O Lago do Amor – o qual pode ser visualizado na Figura 1 – é uma represa artificial bastante estudada pelos pesquisadores da região e recebe as águas dos córregos dessa bacia. É caracterizado por conter elevadas concentrações de matéria orgânica e por consequência apresentava-se com sérios problemas de eutrofização (PMCG, 2009).

Ao fim do ano de 2008, as características urbanas da bacia mudaram devido às obras de ampliação do sistema coletor de esgoto da capital, realizadas por sua concessionária de água e esgoto, onde grande parte da bacia foi contemplada com rede coletoras (Figura 2). Apesar do programa de ampliação existir desde 2006, as estações elevatórias de esgoto responsáveis pela área da bacia hidrográfica do Bandeira foram concluídas no início de 2008 e as primeiras ligações domiciliares à rede de esgoto foram feitas em março do mesmo ano. As obras atingiram praticamente toda a área urbana da bacia hidrográfica. Antes das obras, as residências de toda a bacia possuíam sumidouros e/ou fossas sépticas, que na maioria dos casos, não recebiam manutenção adequada, contribuindo assim com a degradação dos mananciais da bacia.

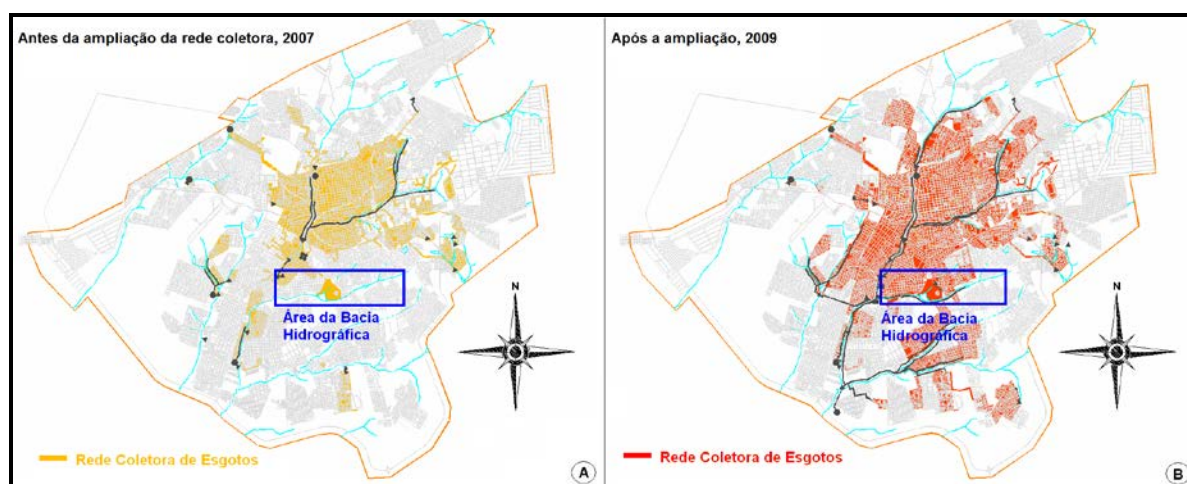


Figura 2: Áreas do município contempladas com redes coletoras de esgoto.

## MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA

No período entre 21 de janeiro de 2008 a 30 de julho de 2009 foram estudados três pontos de amostragem em seções abertas, próximos ao reservatório “Lago do Amor”, sendo dois afluentes e um efluente do reservatório (Figura 1). As amostras de água eram coletadas a cada 2 ou 4 semanas e analisadas no Laboratório de Qualidade Ambiental da UFMS, onde eram realizadas as análises de nitrogênio total e fósforo total, seguindo as normas estabelecidas em APHA (2005). A técnica analítica utilizada para cada parâmetro é citada individualmente na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros e técnicas analíticas utilizadas

Parâmetros	Técnica analítica	Unidade
Nitrogênio total	Método Hach com digestão com perssulfato (TNT <i>Perssulfate Digestion Method</i> - HACH)	mgN.L <sup>-1</sup>
Fósforo total	Espectrofotométrico (cloreto estanhoso) com pré-digestão sem filtração	mgP.L <sup>-1</sup>

Para a medição de vazão, foi utilizado um molinete (fluxômetro *Global Water*), formado por uma haste com uma hélice acoplada à sua extremidade inferior e um pequeno marcador digital anexo à extremidade superior. A partir dos dados de vazão e concentração dos nutrientes calcula-se o valor da carga pela expressão:

$$\text{Carga (mg.s}^{-1}\text{)} = \text{concentração} \times \text{vazão} = (\text{mg.m}^{-3}) \times (\text{m}^3.\text{s}^{-1}) \quad (\text{Equação 1})$$

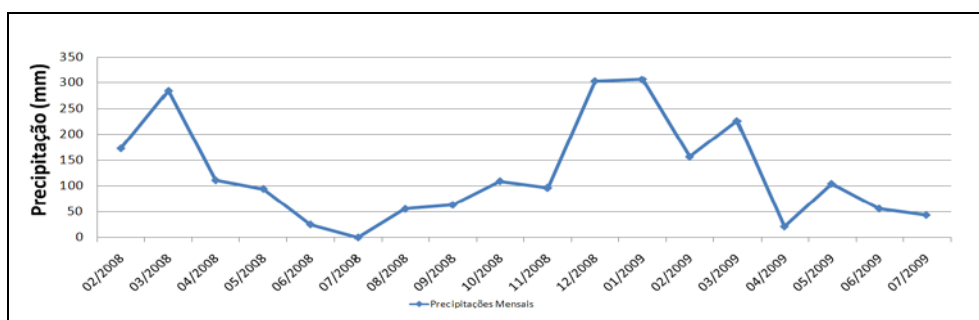
Obteve-se também, a fim de se buscar relações estatísticas entre precipitações e cargas de nutrientes, dados de uma estação meteorológica de superfície automática (Plataforma de Coleta Dados - PCD) localizada a cerca de 100m do ponto de coleta 3. Os dados foram cedidos em planilhas pela Agência de Desenvolvimento Agrário e Rural (AGRAER) e continham os valores de precipitação, medida a cada 3 horas, referentes ao período de estudo.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Primeiramente foi analisada a influência das alterações climáticas no regime hidrológico da bacia hidrográfica para compreender o comportamento das vazões e sua influência nos valores de concentração e cargas de nutrientes. Além disso, possibilitou a tentativa de correlação entre dados meteorológicos, hidrológicos e de qualidade de água.

## CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS E COMPORTAMENTO DAS VAZÕES

Campo Grande pertence a uma região tropical, com clima predominantemente quente ao longo do ano e altos índices de precipitações. Durante a época desse estudo, a capital apresentou temperatura média de 24,04°C; precipitação anual de 1503,25mm (em 2008) e 892mm (em 2009, até o mês de julho); umidade relativa média de 67,25%. Na Figura 3, nota-se que a época menos chuvosa dos anos estudados foi de junho a agosto e a época mais chuvosa foi de dezembro a março. Devem ser destacados alguns eventos ocorridos ao longo do estudo: o mês de março/2008 foi marcado por enxurradas e inundações em Campo Grande; julho/2008 foi considerado um mês bastante seco, registrando valores de umidade relativa de até 18%, média mensal de 45,5% e sem precipitação; abril/2009, apesar de ter havido precipitações, foi considerado o início de outono mais seco dos últimos 13 anos.



**Figura 3: Valores das precipitações mensais no município de Campo Grande/MS/Brasil (Período de fev/2008 a jul/2009).**

Os dias em que ocorreram precipitações até 24 horas antes da coleta e o valor da precipitação estão apresentados na Tabela 2.

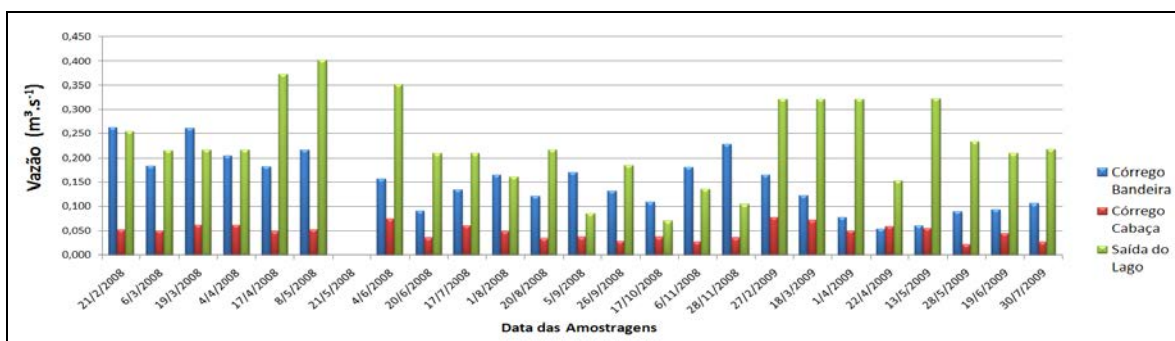
**Tabela 2: Relação das datas de coleta que coincidiram com registro de precipitação.**

Data	Precipitação
21/fev/2008	4,25mm
04/abr/2008	9,00mm
20/jun/2008	3,25mm
18/mar/2009	0,25mm
01/abr/2009	19,00mm
28/mai/2009	3,00mm

Foram feitos testes estatísticos entre valores de concentração e carga de nutrientes e os valores apresentados na Tabela 2, inclusive com um maior detalhamento nos valores de precipitação, entretanto não foram encontradas quaisquer relações matemáticas que sustentem relações entre carga difusa e escoamento superficial. Sabe-se que o tempo de concentração da bacia é bastante pequeno, portanto para a obtenção de relações claras entre esses parâmetros recomenda-se a realização de estudos direcionados ao tema, como Da Silva (2010) que estudou a qualidade da drenagem pluvial da bacia do córrego Cabaça.



Sobre as vazões dos córregos avaliados, percebe-se que o córrego Cabaça (Ponto 2) – com menor área de drenagem, apenas 2,1 km<sup>2</sup> (LAJO, 2003) – manteve valores de vazão com menor variação ao longo do período estudado (Figura 4), o que faz com que o volume escoado em seu leito seja menor que os demais e mais rapidamente encaminhado ao Lago do Amor. O tempo de concentração deste córrego – que em 1999 era de 62,87 minutos (LAJO, 2003) – tende a ser ainda menor atualmente, devido ao aumento da urbanização e das áreas impermeabilizadas em sua bacia. Por outro lado, o córrego Bandeira (Ponto 1) e a saída do Lago do Amor (Ponto 3) possuem vazões menos constantes. O primeiro apresentou uma variação sazonal, com maiores valores em épocas chuvosas e menores em períodos de estiagem, mas também apresentou uma grande queda de vazão de um ano para o outro, aproximadamente 52% de redução em 2009, quando comparado ao mesmo período (de janeiro a julho) de 2008. Esta queda de vazão pode ser resultado da instalação da rede coletora de esgotos na bacia. O córrego à jusante do reservatório mostrou um comportamento de vazão menos óbvio, apresentando altos valores de vazão em meses pouco chuvosos, como em junho de 2008 e abril de 2009.

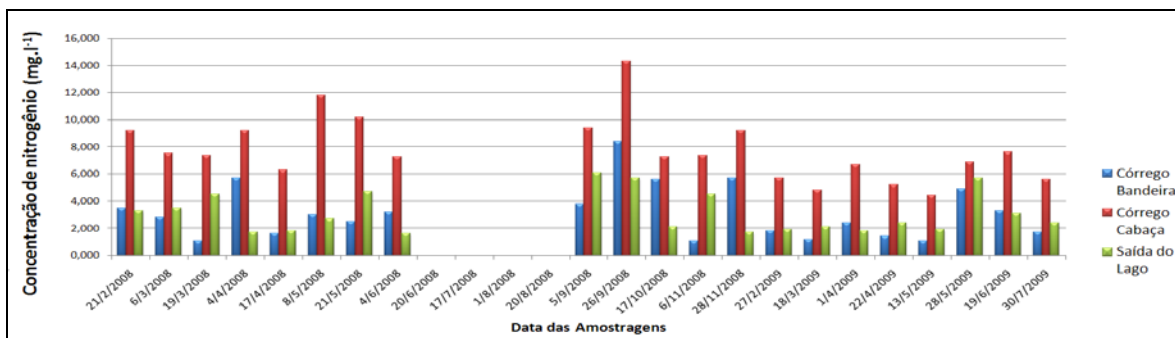


**Figura 4: Valores das vazões nos córregos Cabaça e Bandeira e na saída do Lago do Amor, nas datas das 25 campanhas amostrais.**

As características hidrológicas dos córregos afluentes e efluente do reservatório são diferentes, já que o efluente passa por um processo de regularização da vazão. O tempo de detenção hidráulica médio do Lago do Amor é de 13 dias, podendo variar de 6 a 30 dias. Sendo assim, o comportamento das vazões nos três córregos tende a ser diferente nas diferentes épocas do ano. A regularização da vazão explica o fato de que a vazão efluente ao Lago do Amor raramente é proporcional à vazão afluente no dia da medição.

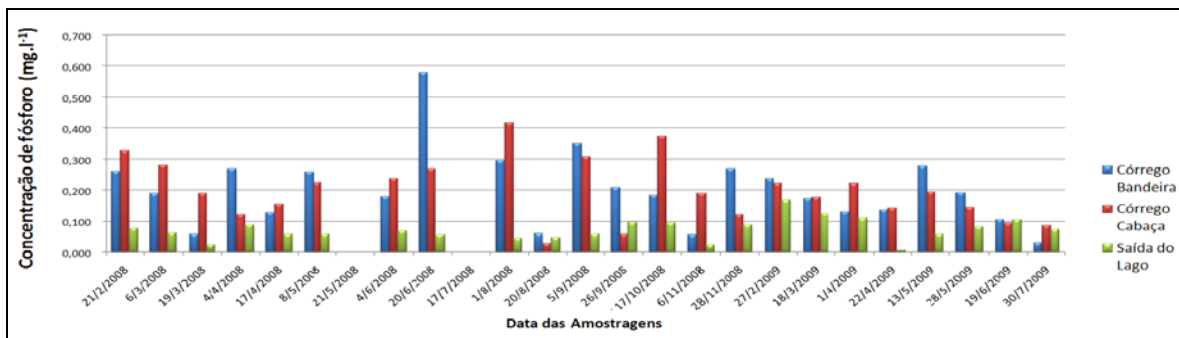
### CONCENTRAÇÃO DE NITROGÊNIO E FÓSFORO

O córrego Cabaça possui a maior média de concentração de nitrogênio (7,78mg.l<sup>-1</sup>), seguido pelo córrego Bandeira (3,13mg.l<sup>-1</sup>) e a saída do lago (3,10mg.l<sup>-1</sup>). Esses valores elevados podem ser consequência de uma baixa vazão associada a despejos pontuais, causando pouca diluição dos efluentes nele lançados. Apesar da ausência de alguns dados na época seca (Figura 5), ainda é perceptível que os maiores valores são encontrados em períodos pouco chuvosos, como maio/2008 e setembro/2008. O mesmo comportamento é apresentado pelo córrego Bandeira e pela saída do reservatório, porém em menor proporção. Houve uma perceptível redução nos valores da concentração de nitrogênio, de um ano para o outro, nos pontos 1, 2 e 3, sendo essa queda de aproximadamente 10%, 32% e 24% respectivamente.



**Figura 5: Valores das concentrações de nitrogênio nos córregos Cabaça e Bandeira e na saída do Lago do Amor, nas datas das 25 campanhas amostrais.**

Em relação à concentração de fósforo (Figura 6), a maior média foi do córrego Bandeira (0,200mg.l<sup>-1</sup>), seguido pelo Cabaça (0,198mg.l<sup>-1</sup>), sendo menor na saída do lago (0,072mg.l<sup>-1</sup>). As concentrações de fósforo nos pontos 1 e 2 apresentaram-se maiores nas épocas secas também. Destaca-se na Figura 6, o mês de agosto/2008, quando no dia primeiro, após uma sequência de 30 dias sem chuvas, a concentração de fósforo estava alta nos dois córregos. Já no dia 20, após 10 dias sem chuva, as concentrações em ambos os córregos foi muito abaixo da média e, sem que nenhuma nova precipitação ocorresse, as concentrações voltaram a subir em 05 de setembro.

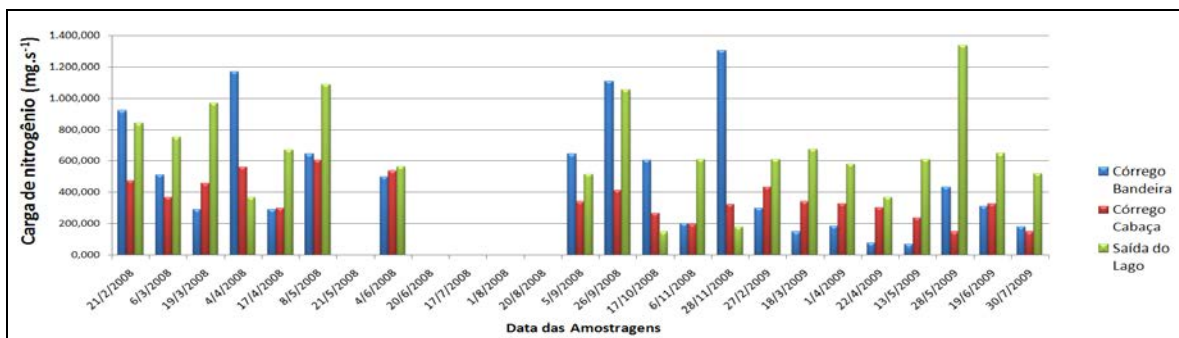


**Figura 6: Valores das concentrações de fósforo nos córregos Cabaça e Bandeira e na saída do Lago do Amor, nas datas das 25 campanhas amostrais.**

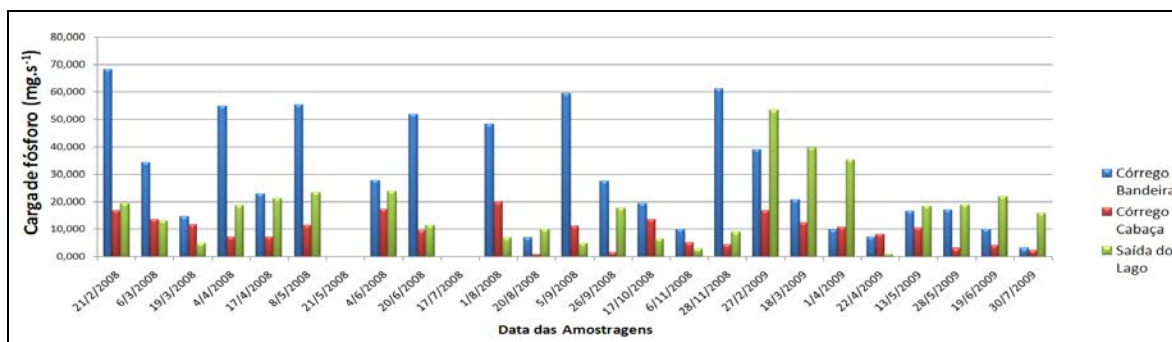
No córrego Cabaça, as grandes variações na concentração de fósforo ocorridas entre os dias 26 de setembro e 28 de novembro de 2008 são indícios de que a origem das cargas pode ser pontual, tendo como evidências a baixa variação na precipitação e nas vazões medidas durante este período. As concentrações de nitrogênio variaram de forma considerável neste período também. Pode-se perceber também, que no Ponto 3, a concentração de fósforo tende a aumentar nos meses chuvosos e diminuir no período seco. Segundo Sperling (2009), a chuva é uma fonte significativa dos nutrientes e também representa um meio de arraste da poluição difusa, através do escoamento superficial. James *et al.* (1991) ainda constataram que fatores físicos – como a vazão – influenciam diretamente na sedimentação de fósforo. E complementando, Welch (1988) afirmou que a taxa de liberação de fósforo dos sedimentos aumenta notavelmente se os sedimentos são perturbados por turbulências. As concentrações de nitrogênio não apresentam comportamento tão previsível na saída do lago, variando ao longo do ano de forma não uniforme.

## CARGAS DE NITROGÊNIO E FÓSFORO

Quanto às cargas de nutrientes, o córrego Bandeira merece atenção especial em relação às quedas apresentadas no ano de 2009, quando comparadas ao mesmo período do ano de 2008. A carga de fósforo (Figura 8) teve uma queda de 55% e a carga de nitrogênio de aproximadamente 71%. Já foi dito que a vazão no Bandeira caiu 52%, porém as concentrações também caíram e, o que isso representa em termos de carga (o produto de concentração e vazão) é substancial. No córrego Cabaça, ocorreu uma queda nas cargas de nitrogênio (Figura 7) de aproximadamente 26%, enquanto nas cargas de fósforos não houve redução de valores.



**Figura 7: Valores da carga de fósforo nos córregos Cabaça e Bandeira e na saída do Lago do Amor, nas datas das 25 campanhas amostrais.**



**Figura 8: Valores da carga de nitrogênio nos córregos Cabaça e Bandeira e na saída do Lago do Amor, nas datas das 25 campanhas amostrais.**

É provável que as quedas nos valores de cargas de nutrientes no córrego Bandeira sejam consequência do programa de saneamento realizado na bacia, onde foram implantados redes coletoras de esgoto na área de drenagem do córrego. Borges *et al.* (2003) concluíram que a instalação de redes coletoras de esgoto melhoraram consideravelmente a qualidade da água de dois córregos urbanos, porém não foram suficientes para considerá-los despoluídos, estando ainda distantes das condições de potabilidade ou usos mais exigentes. Mansor (2005) verificou que as concentrações de fósforo obtidas em seu estudo foram influenciadas pela atividade industrial e ocupação humana, influência esta que se sobrepôs àquela do arraste de partículas causado pelo escoamento superficial decorrente de precipitações.

Observa-se que as cargas de nutrientes, nos afluentes do lago (pontos 1 e 2), são maiores que a carga à jusante do mesmo, o que indica que grande parte dos nutrientes – principalmente fósforo – fica retida no reservatório. Pode-se dizer o reservatório melhora a qualidade da água da bacia hidrográfica, mas em contrapartida o Lago do Amor sofre com o aporte excessivo de nutrientes, apresentando problemas de eutrofização consideráveis, tanto que Coelho *et al.* (2007) concluíram que a qualidade da água no reservatório Lago do Amor indica um ambiente que variava de eutrófico a hipereutrófico.

## CONCLUSÕES

Conforme os resultados apresentados, as cargas difusas provenientes de sumidouros de esgoto doméstico e os despejos pontuais são aparentemente mais relevantes quando comparadas às cargas de origem difusa proveniente de drenagem urbana em termos da degradação da qualidade de água da bacia hidrográfica do córrego Bandeira, pois possuem valores de concentração maiores e são mais constantes, agindo nos períodos de chuva e estiagem. Considerando ainda que a bacia do estudo é relativamente pequena, as cargas difusas provenientes de drenagem pluvial tem pouca representatividade.

Considerando o córrego Cabaça menor (em extensão e largura) que o córrego Bandeira e comparando seus dados de concentração de nutrientes, chegou-se a conclusão que, para essa bacia, quanto menor o corpo receptor, maiores são os impactos da poluição, tanto difusa quanto pontual, atingindo-se maiores valores de concentrações e níveis mais severos de degradação de suas águas.

Os resultados da comparação das cargas de nutrientes entre os pontos a montante e a jusante do reservatório demonstraram que há melhoria na qualidade da água na bacia hidrográfica, porém, o Lago do Amor recebe o aporte excessivo de nutrientes em suas águas, apresentando problemas de eutrofização consideráveis.

Em bacias urbanas, o esgoto doméstico constitui-se como uma das mais importantes fontes de poluição de mananciais e é razoável atribuir às obras de saneamento as melhorias na qualidade das águas superficiais, podendo ser observado pela queda nos valores de concentração e vazão em todos os pontos amostrados, após a instalação da rede coletora de esgoto na região da bacia do estudo.

Para a investigação da origem da poluição dos mananciais são necessários trabalhos de monitoramento específicos, como coletas antes, durante e depois de eventos chuvosos e em épocas de estiagem, a fim de se distinguir quais as reais contribuições de cada tipo de origem, sendo então possível a identificação e separação das cargas pontuais e difusas.

Com este trabalho, os conhecimentos sobre a bacia do córrego Bandeira foram ampliados, que podem servir então como base, ou até mesmo orientar demais estudos, na mesma ou em outras bacias hidrográficas, para auxiliar direta e/ou indiretamente na tomada de decisões na gestão e no gerenciamento de bacias hidrográficas.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. BORGES, M. J., GALBIATTI, J. A., MARGUES-JUNIOR, J., FERRAUDO, A. S. Monitoramento da qualidade hídrica e eficiência de interceptores de esgoto em cursos d'água urbanos da bacia hidrográfica do córrego Jaboticabal. *Revista Brasileira de Recursos hídricos*, Vol. 8 n.2, São Paulo, p161-171, 2003.
2. BRAGA, B., ROCHA, O., TUNDISI, J. G. Reservoir management in South America. *Water Resources Development*, p141-155, 1998.
3. COELHO, L. S., PONES, O. D. D. M. C., SHINZATO, M. P., ROCHE, K. F., SILVA, W. M. Estudo da qualidade da água do reservatório Lago do Amor (Campo Grande, MS). In: XXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA. Belo horizonte, 2007.
4. DA SILVA, J. B. Qualidade da Drenagem Pluvial Urbana da Bacia do Córrego Cabaça. Campo Grande: UFMS. Dissertação Mestrado, 2010.
5. GOOGLE. Mapas e imagem de satélite da bacia hidrográfica do córrego Bandeira. Ferramentas: Google Earth & Google Maps, 2009.
6. LAJO, A. A. M. Uso da legenda Corine para estimar as alterações no escoamento superficial em uma microbacia de drenagem urbana através do método racional e hidrograma unitário de Snyder. Campo Grande: UFMS. Dissertação de Mestrado, 2003.
7. MANSOR, M. T. C. Potencial de poluição de águas superficiais por fontes não pontuais de fósforo na bacia hidrográfica do Ribeirão do Pinhal, Limeira - SP. Campinas: UNICAMP. Tese de Doutorado, 2005.
8. PMCG - Prefeitura Municipal de Campo Grande. Mapa hidrográfico. Projeto Córrego Limpo "Cidade viva". Disponível em <http://www.pmcg.ms.gov.br/GEO/cida>. Acesso em: 02.ago.2009
9. PRODANOFF, J. H. A. Avaliação da Poluição Difusa Gerada por Enxurradas em Meio Urbano. Rio de Janeiro: UFRJ, COPPE. Tese Doutorado, 2005.
10. SPERLING, M. V. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3ed. V.1. Belo Horizonte: Depto. de Eng. Sanitária e Ambiental. 452p, 2009.
11. TUNDISI, J. G. Água no século XXI: Enfrentando a escassez. 2ed. v.1. São Carlos: Ed. RiMA Artes e Textos. 248p, 2003.