

IMPACTO DE UMA ENCHENTE SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA E O TRANSPORTE SÓLIDO NO RIBEIRÃO CAMPESTRE - ÁREA URBANA DE LINS

Lubienska C.L Jaquié¹, Simone C. Caldato¹, André L. de L. Reda², Luiz A. Herculiani¹ e Maurício F. de Macedo¹

Resumo - O artigo relata fase inicial de projeto que objetiva preparar condições de informação para desenvolvimento e implantação de modelo matemático de qualidade da água no ribeirão Campestre, em Lins, Estado de São Paulo. Nesta fase, foram medidas as concentrações de 25 parâmetros de qualidade e nível d'água (para cálculo da vazão líquida) ao longo de evento de precipitação torrencial e enchente sobre bacia de 60,7km². O trecho estudado tem 1100m. Os pontos de coleta de informação foram dois: suas extremidades de montante e jusante. Dos parâmetros de qualidade medidos, são aqui contemplados a demanda química de oxigênio, matéria orgânica, oxigênio dissolvido, sólidos totais e suas parcelas fixa e volátil, sólidos suspensos totais, cobre, ferro total, fosfatos totais e nitrogênio na forma de nitratos. O estudo oferece diversas conclusões sobre as interrelações entre as oscilações nas concentrações das variáveis de qualidade estudadas e destas com os respectivos hidrogramas de enchente. Comparações entre gráficos (de qualidade e de vazão) para as duas seções de controle também fornecem conclusões importantes, sobre a natureza das transformações relativas à qualidade da água no ribeirão. Nos casos de alguns poluentes, houve indicações de que a origem pode estar mais concentrada na parcela urbana ou na área rural da bacia. Conclui-se, também, que o transporte sólido de origem mineral cresce enormemente durante tormentas e enchentes, provavelmente devido à má conservação de um solo que é conhecidamente suscetível à erosão pluvial e hidráulica. Finalmente, conclui-se que o presente material, recentemente colhido, merece análise mais profunda e que se justifica a continuidade do projeto com a coleta de mais dados de campo e modelagem matemática.

Abstract - The paper reports the initial phase of a project that aims at providing the necessary information for the development and implementation of a mathematical water quality model for the Campestre creek, Lins, State of São Paulo. Currently, in this phase, the concentration of 25 quality determinands, and water level (for the estimation of a rating curve), were sampled in the real time during a storm event over the studied catchment, with an area of 60.7km². The studied stretch of river is 1,100m long. The sampling points were two: its upstream and downstream boundaries. Among the water

¹ Escola de Engenharia de Lins da FPTE, Av Nicolau Zarvos, 1925, Lins SP CEP 16400-000.

² Escola de Engenharia de Lins da FPTE; Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo;

Escola de Engenharia Mauá, IMT, S. Caetano do Sul; Universidade Bandeirante, São Paulo e S. Bernardo do Campo.

quality determinands sampled, those contemplated here are: chemical oxygen demand, organic matter, dissolved oxygen, total solids and their fix and volatile fractions, total suspended solids, copper, total iron, total phosphates and nitrate nitrogen. The study yields several conclusions about the cross-relationships among the concentrations of the various quality determinands studied, and between each one and the concerning flood hydrograph. Comparison between graphs (of concentration and flow rate) at each boundary of the studied river stretch also yielded important conclusions, on the behaviour of transformations of water quality along the creek. For some pollutants, their origin was shown to be more likely to occur at either part (urban or rural) of the catchment. It was also seen that mineral-solids transport grows immensely due to storms and their runoff, probably due to the poor state of conservation of the regional soil, knowingly prone to undergo the action of erosion. Finally, one may conclude that the present data base, only recently obtained, deserves deeper analysis. The project needs continuity through the collection of more field information and mathematical modelling.

Palavras-Chave - poluição fluvial transiente; impacto de tormentas na poluição fluvial; transporte sólido fluvial

INTRODUÇÃO

A riqueza da nação brasileira está lastreada nos recursos contidos em seu solo, seu subsolo e seus rios. Constitui, portanto, problema de prioridade nacional, requerendo urgente solução, a erosão descontrolada que se observa nos solos pouco coesivos de várias partes do Estado de São Paulo -- em particular, o Município de Lins, aqui estudado, e a região do Arenito Bauru, onde está contido.

Acelerado pela ação hidráulica e pelo processo de corrosão (por exemplo, pelas chuvas ácidas), o transporte de partículas removidas dos solos para dentro dos cursos d'água pode causar o assoreamento destes e, eventualmente, o extravasamento das águas de enchentes para fora de seus leitos principais (inundação).

A urbanização e a ocupação agropecuária sem os devidos cuidados com a proteção dos terrenos podem desequilibrar a já delicada equação de aporte e remoção de partículas de solo, de várias formas:

- Desmatamento para a urbanização sem pavimentação de vias e sem a proteção vegetal de terrenos não-construídos, deixando-os expostos à ação das intempéries.
- Impermeabilização da superfície urbana, diminuindo o volume de chuva infiltrado e produzindo escoamento superficial mais volumoso e veloz. Como consequência, a erosão hidráulica nas superfícies descobertas e nos rios (naturalmente mais notável por ocasião de tormentas) assume proporções mais sérias.
- Ocorrência atmosférica de substâncias corrosivas de origem industrial ou automotiva (por exemplo, óxidos de enxofre e nitrogênio que se ionizam na forma ácida em contato com a água - origem da chuva ácida). Como consequência, a parte do solo mais solúvel em ambiente ácido se desagrega e é lixiviada; bem como a vida vegetal pode ser prejudicada na região, deixando-a menos protegida da ação erosiva de intempéries.
- Desmatamento para agricultura sem o uso de técnicas de contenção de erosão, acelerando portanto este processo.
- Desagregação do solo por aração, deixando-o assim mais sujeito à remoção pelas intempéries.

Todos os processos acima podem aumentar o transporte sólido pelos cursos d'água, causando seu assoreamento. No caso de áreas urbanas, é importante que a prevenção de tais problemas seja incluída no planejamento (Almeida, 1998). Além disso, porém, há substâncias oriundas das atividades urbanas (domésticas e industriais) e rurais (agrícolas, pecuárias e agro-industriais) que são transportadas para os cursos d'água de várias formas, tais como:

- ação do intemperismo sobre as superfícies urbanas, removendo metais, partículas sólidas e substâncias químicas em geral precipitados pela atmosfera sobre o solo, oriundos de atividades industriais ou de veículos;
- remoção de resíduos sólidos (lixo, folhas de árvores etc.) acumulados em períodos secos;
- descarga de esgotos urbanos não coletados apropriadamente e dispostos juntamente com as águas superficiais;

- descarga de esgotos industriais orgânicos ou de outra natureza (incluindo substâncias tóxicas e perigosas de diversos tipos) de forma não apropriada, juntamente com as águas pluviais;
- afloramento das águas de aquíferos rasos poluídas pela infiltração de substâncias oriundas das atividades urbanas (ex: esgoto doméstico, despejos industriais em pátios e terrenos baldios, infiltração de aterros sanitários e lixões, vazamentos de reservatórios de postos de abastecimento de combustíveis etc.);
- ação do intemperismo sobre pesticidas e fertilizantes excedentes da aplicação agrícola, depositados sobre o solo e as plantas em períodos secos.
- afloramento de águas de aquíferos rasos poluídas pela infiltração de despejos agro-industriais (ex: resíduos da indústria sucro-alcooleira - vinhoto), de pesticidas e de fertilizantes.

Apesar da importância evidente da ação do escoamento das águas pluviais, por ocasião de tormentas, no transporte de substâncias poluentes, são raros os estudos em que tal transporte é monitorado nos cursos d'água. Há casos de medições de transporte de alguns poluentes durante enchentes em redes de drenagem mista (combinação de águas pluviais e de esgoto) em países desenvolvidos do hemisfério norte (Lessard e Lavallée, 1984; Gujer *et al.*, 1986; Hvitved-Jacobsen, 1986). Tais casos, no entanto, são raros e sofrem as consequências da dificuldade inerente à medição de parâmetros complexos em situações transitórias no curso do evento. Um resumo comentado de semelhantes exemplos é encontrado em Reda (1996) e pode ser usado para comparação com os resultados de medições de campo apresentados adiante, no presente estudo de caso.

Este artigo reflete resultados iniciais de um estudo conjunto, envolvendo dois projetos de iniciação científica, voltados um para erosão e transporte sólido e outro para poluição de águas fluviais. Visa identificar as variações transientes, durante uma enchente, da qualidade das águas do ribeirão Campestre (Município de Lins, SP), o qual recebe contribuição rural e urbana. Em sua continuidade, o projeto visa obter mais informações da mesma natureza, incluindo a modelagem dos fenômenos de transporte e transformação das substâncias contidas nas águas fluviais.

A seguir, apresenta-se inicialmente a região e o curso d'água estudados.

Depois, apresentam-se de forma gráfica a variação de vazão medida durante o evento (uma sequência de duas enchentes curtas num dia) e de onze parâmetros de qualidade da água no mesmo período (de um total de 25 parâmetros que continuam a ser estudados em paralelo a este artigo e são: demanda química de oxigênio; dureza total; fosfatos totais; matéria orgânica; nitrogênio amoniacal; nitrogênio em nitratos; nitrogênio em nitritos; nitrogênio orgânico; nitrogênio total; oxigênio dissolvido; sólidos suspensos totais e suas frações de fixos e voláteis; sólidos sedimentáveis; sólidos totais e suas frações dissolvida, fixa e volátil; sulfatos; cobre; ferro total; manganês; prata; sódio e zinco).

Finalmente, discutem-se as variações apresentadas pelos diversos parâmetros, encerrando-se com conclusões resumidas e recomendações para futura investigação.

CARACTERÍSTICAS DA BACIA ESTUDADA

O ribeirão Campestre inicia-se na cidade de Lins, Estado de São Paulo, seguindo aproximadamente por 30km para o norte até desaguar à margem esquerda do Rio Dourado. Atravessa neste trajeto os municípios de Guaiçara e Promissão.

A bacia drenada pelo ribeirão Campestre está sobre terras classificadas como “arenito Bauru superior”-ABq, com solos arenosos deste arenito, quase isentos de cimento calcáreo, topografia pouco acidentada e cultivados intensamente com pouca pastagem e sem muitos cuidados (Setzer e Porto, 1979). Tal classificação torna evidente a importância do estudo da erosão e do transporte sólido na região -- consequentemente, também a importância deste projeto. De fato, a erosão vem causando grandes prejuízos na forma de perda de terreno

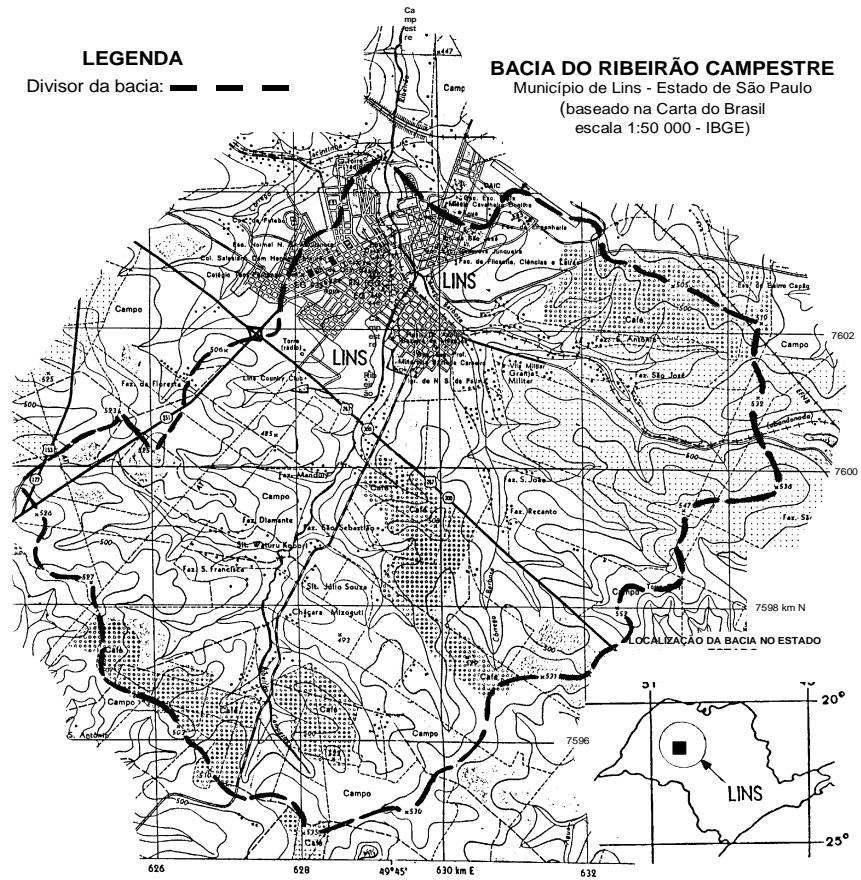


Figura 1 Bacia do ribeirão Campestre, cidade de Lins e sua localização no Estado de São Paulo

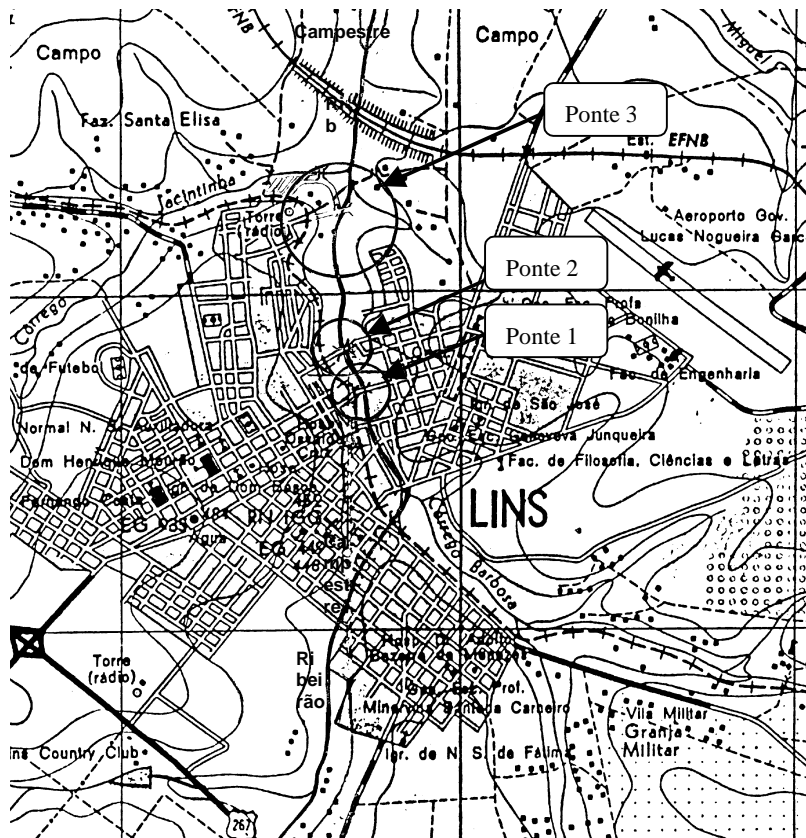


Figura 2 Cidade de Lins e posição do trecho estudado do ribeirão Campestre

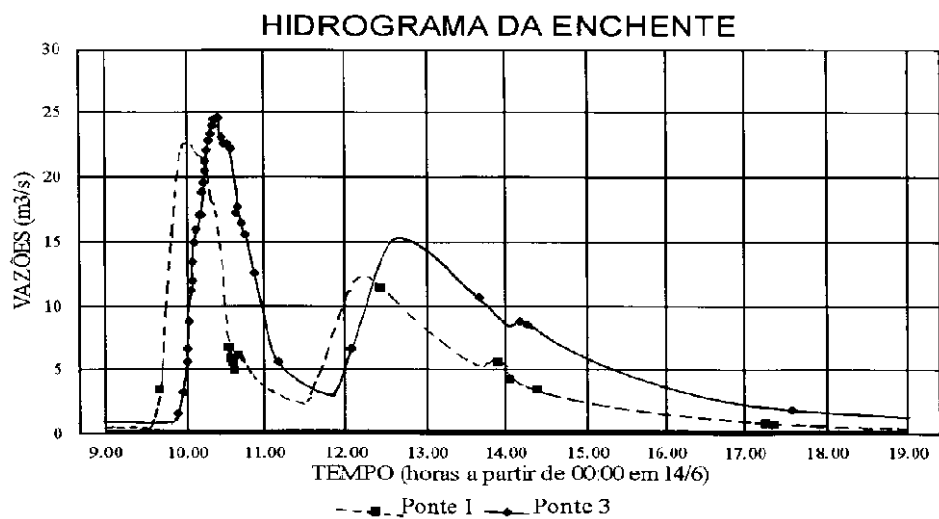


Figura 3 Hidrograma da enchente estudada, em 14 de junho de 1999

agricultável no Município de Lins e nas cercanias, além de enchentes por perda de seção útil nos cursos d'água constantemente assoreados da região. Também o desassoreamento destes vem causando enormes despesas para os municípios e o Estado. Este problema, na municipalidade de Lins, é alarmante, com efeitos que incluem danos à flora e à fauna regionais (ver DAEE-IPT, 1989; Braga e Lima, 1997).

O trecho aqui estudado do ribeirão Campestre (figuras 2 e 3) fica dentro da área urbana de Lins (519,7km², cerca de 10% da área municipal total, de 53,2km²). A área rural (os restantes 10% do município) é ocupada pelo cultivo de cana-de-açúcar e pastagens, sem muita declividade. Na área urbana, o ribeirão possui aproximadamente 5,5km, dividindo a cidade praticamente ao meio (Figura 3), com terrenos que podem atingir grandes declividades. Isto confere maior rapidez à drenagem das águas urbanas e, portanto, a possibilidade de ondas de enchentes de dois picos quando medidas a jusante de parte considerável da cidade.

O clima regional, quente com inverno seco e verão mais úmido, é propício para chuvas convectivas no verão e sua conjunção com a ocorrência de frentes frias próximo ao inverno (caso específico do evento aqui estudado), causando pancadas de curta duração e alta intensidade.

O mapa da Figura 1 mostra a bacia maior aqui estudada, drenada pelo ribeirão Campestre sob a ponte da Rua Jacob M. de Cardoso (Ponte 3, neste estudo), em Lins, com 60,7km² de área de contribuição. Nos mapas das figuras 2 e 3 são mostradas as localizações das outras duas pontes sobre o ribeirão Campestre selecionadas para medições neste projeto. Pela seção transversal da Ponte 2 é drenada uma bacia de 60km². Por sob a Ponte 1, são drenados 58,9km². Como informação complementar, o aterro sob a ponte ferroviária um pouco a jusante da Ponte 3 (vide Figura 3) dispõe de um bueiro que estrangula o escoamento em épocas de enchente e remansa o nível d'água no ribeirão Campestre. Isto promove, no trecho mais a jusante (entre a Ponte 2 e a ferrovia), velocidades de cheia sensivelmente menores que próximo à Ponte 3.

O item seguinte descreve as séries temporais de vazão líquida, concentrações de sólidos total e parciais e concentração de outras substâncias ou elementos químicos característicos de qualidade da água observadas durante um evento de enchente em junho de 1999.

APRESENTAÇÃO DOS DADOS DA CAMPANHA

A Figura 4 é uma estimativa, dentro das restrições da informação disponível, do hidrograma que mostra duas ondas de enchente no dia 14 de junho de 1999, tanto no caso da Ponte 1 quanto para a Ponte 3. Para obtê-la, foram observados por presença níveis d'água nas escalas limnométricas das pontes contempladas nessa figura (e também na Ponte 2, aqui não contemplada) nos instantes dos respectivos pontos. Por meio de flutuadores lançados ao ribeirão (enquanto se aguarda a compra de um conjunto medidor de velocidades fluviais), foram estimadas as velocidades superficiais em trechos de comprimento conhecido. Depois, estimando-se a distribuição de velocidades nas seções molhadas nas diversas situações de medição, reduziu-se cada velocidade

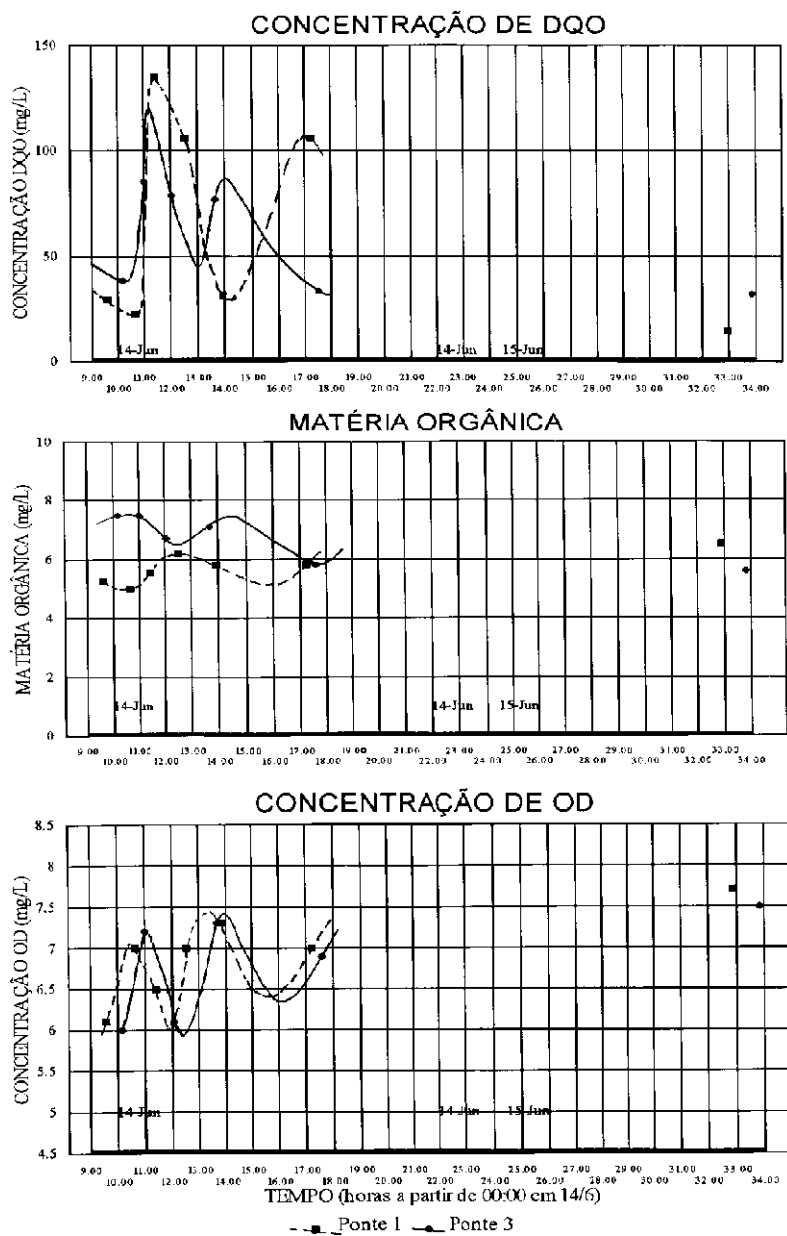


Figura 4 - Concentrações de demanda bioquímica de oxigênio, matéria orgânica e oxigênio dissolvido no ribeirão Campestre durante o evento de enchente

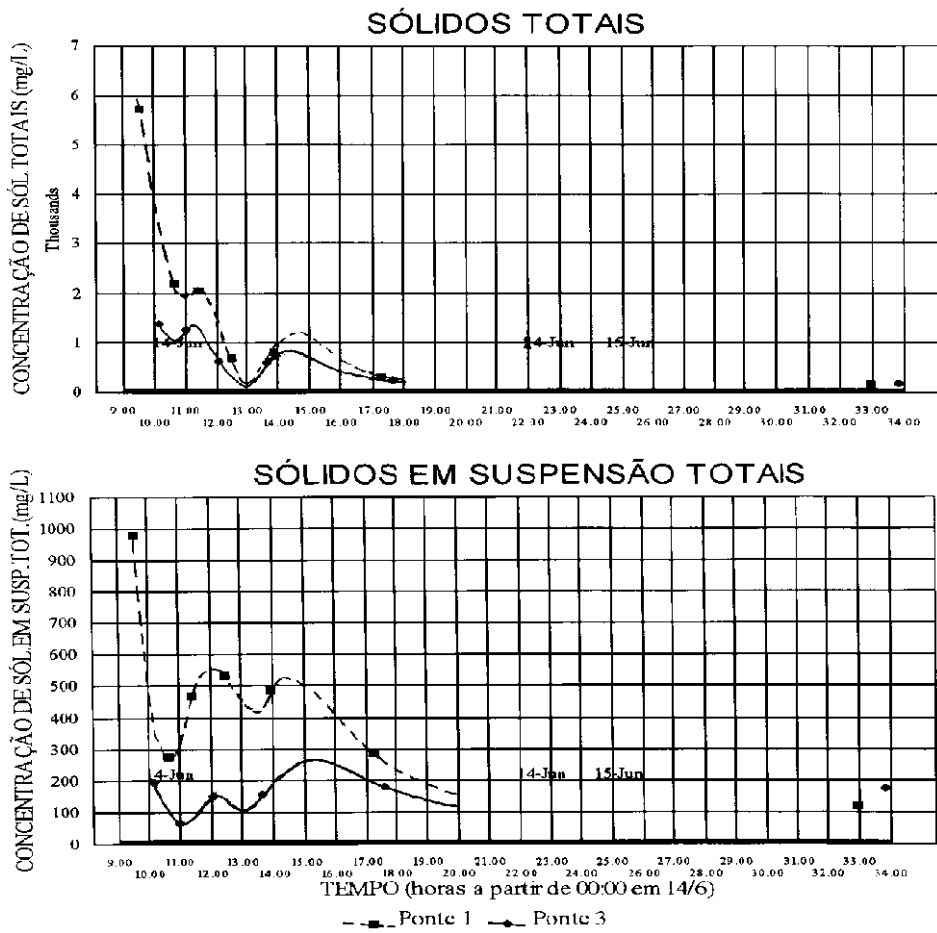


Figura 5 - Concentrações de sólidos totais e sólidos em suspensão totais no ribeirão Campestre durante o evento de enchente

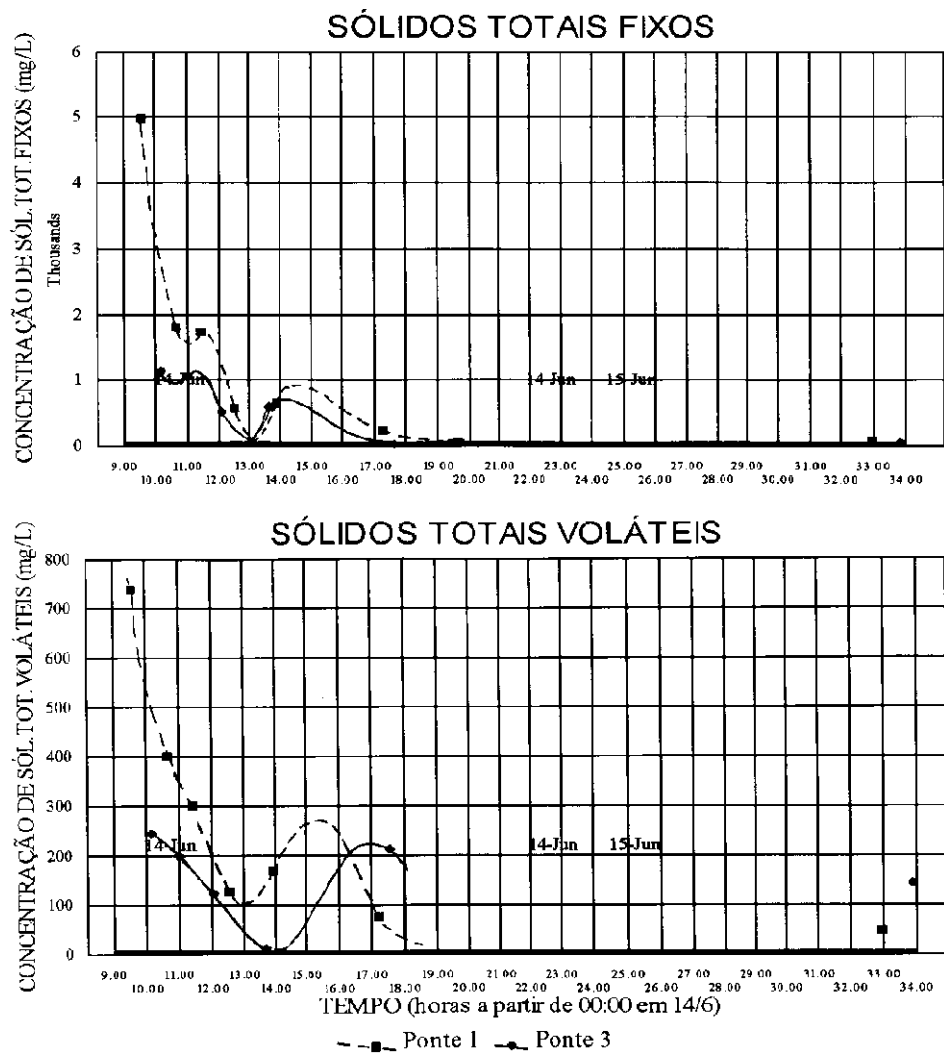


Figura 6 - Concentrações de sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis no ribeirão Campestre durante o evento de enchente

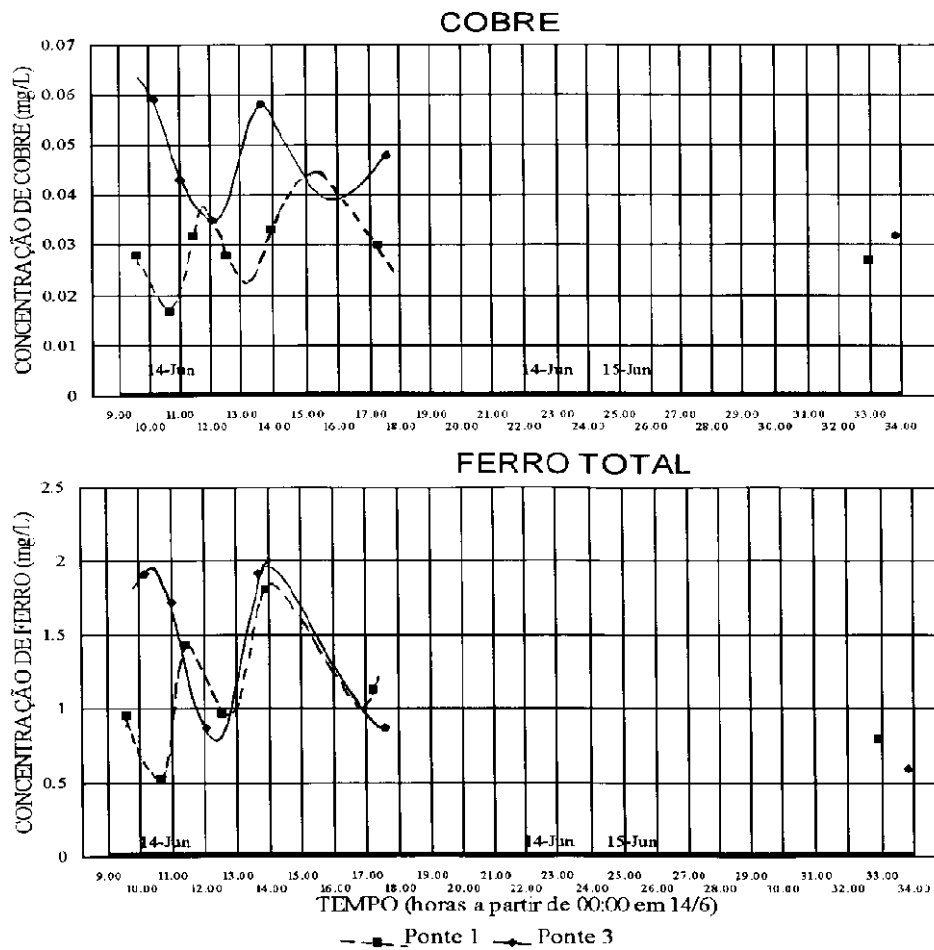


Figure 7 - Concentrações de cobre e ferro total no ribeirão Campestre durante o evento de enchente

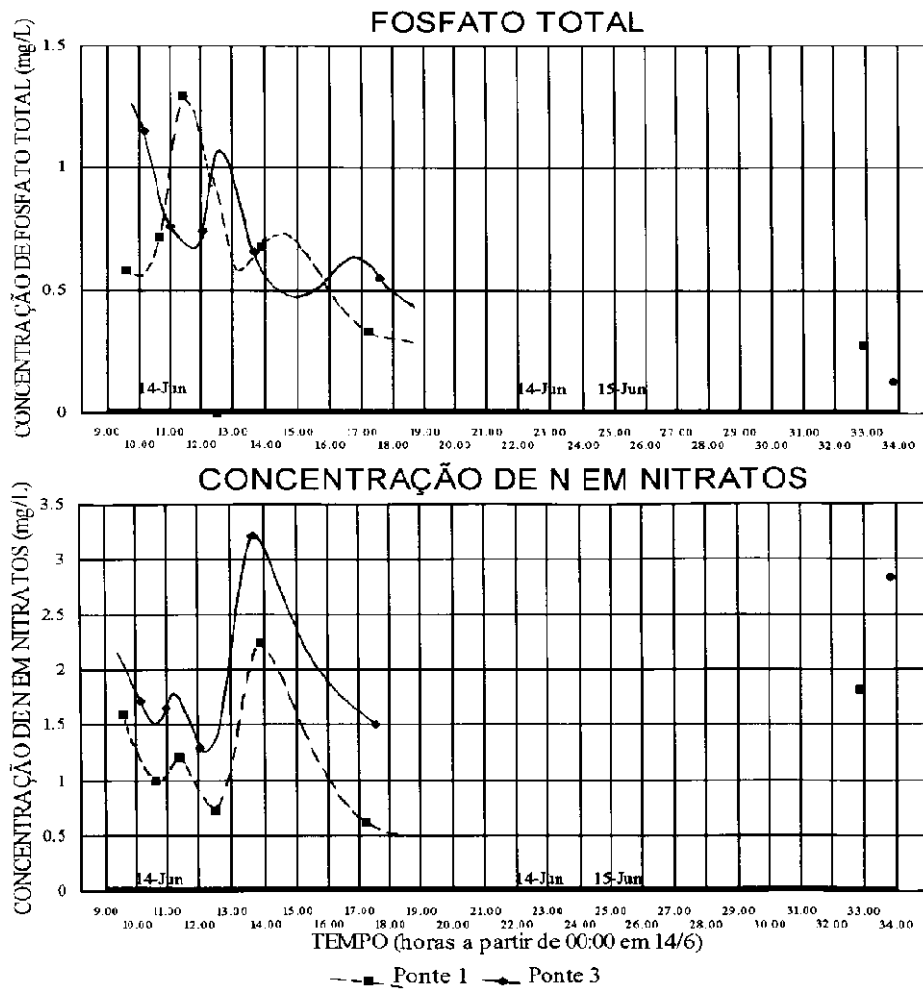


Figure 8 - Concentrações de fosfato total e nitrogênio na forma de nitratos no ribeirão Campestre durante o evento de enchente

de superfície a uma estimativa de velocidade média na seção. Assim, obtiveram-se pares de valores de nível d'água e vazão (velocidade média x área da seção molhada) para a construção provisória de curvas de descarga para as seções das pontes 1 e 3. Estas permitiram a transformação de cada nível d'água observado em uma estimativa de vazão.

Futuramente, medições mais acuradas de vazão em diversas situações permitirão melhor correlacionamento entre velocidades de superfície e velocidades médias nas seções estudadas, para um melhor aproveitamento dos dados desta própria campanha e para a revisão destes resultados à luz de tais melhoramentos.

A figuras de 5 a 9 mostram a variação das concentrações de 11 parâmetros de caracterização de qualidade da água e presença de sólidos que foram escolhidos para comentar neste trabalho. A decisão nesta escolha foi norteadada pela observação do comportamento dos diversos parâmetros de qualidade da água durante enchentes, revista em Reda (1996).

Atente-se, durante a leitura do próximo item (análise dos dados), para a diferença entre os períodos cobertos pelo hidrograma e pelos gráficos de concentrações de parâmetros de qualidade (mais longos). Ocorre que, como a variação de níveis d'água e vazões é mais rápida que a variação temporal nas concentrações, foi necessário expandir a escala de tempo do hidrograma com relação às outras escalas de tempo. Porém, informações de nível e velocidade de escoamento também do dia 15 e do dia 16 (não mostradas naquela figura) serviram para corroborar a estimativa de depleção pós-enchente mostrada nos hidrogramas estimados para as duas seções.

Os gráficos das figuras de 5 a 9 foram interpolados a sentimento por dentre os cinco a seis pontos oriundos da campanha. Os pontos isolados ao final, do dia 15 de junho, serviram em muito casos como uma estimativa da concentração típica de tempo seco do respectivo parâmetro. A interpolação dos diversos gráficos foi feita levando em conta as inter-relações típicas entre concentrações e as transformações que envolvem ao mesmo tempo mais de uma variável. Defasagens e diferenças entre as curvas de concentrações nas duas pontes (geralmente em função de contribuição da sub-bacia intermediária, de consumo e produção da respectiva substância e de sua precipitação ou ressuspensão ao longo do curso d'água em função de variações de velocidade) foram também consideradas no julgamento da plausibilidade destas estimativas. Ao final, resultaram gráficos aparentemente coerentes, dentro da limitação de informações que restringe o estudo.

Os gráficos das diversas concentrações de parâmetros serão analisados no item seguinte.

ANÁLISE CONJUNTA DAS SÉRIES

A Figura 4 mostra um episódio de enchente com dois picos -- mais propriamente, com duas ondas quase separadas. Como a única precipitação torrencial daquele dia ocorreu a partir das 8:30, os gráficos sugerem que a parcela urbana da bacia contribui com um tempo de ascensão da ordem de meia hora até a Ponte 1 e 45min até a

Ponte 3; enquanto a área rural, mais a montante, apresenta um tempo de concentração de cerca de três horas (pouco menos para a Ponte 1 e pouco mais para a Ponte 3). Estes valores foram verificados por fórmulas práticas para áreas rurais e urbanas (conforme o caso de cada bacia) e mostraram-se plausíveis.

Dividindo-se o volume da enchente superficial através do vão da Ponte 3 (cerca de 235000m³, baseando-se no gráfico da Figura 4) pela área de drenagem correspondente, estima-se que a altura pluviométrica excedente (ou não infiltrada), em média para toda a bacia, seria de aproximadamente 4mm -- um valor coerente com as observações da chuva total no dia especificamente na cidade de Lins.

A concentração da demanda química de oxigênio (DQO - Figura 5) na Ponte 3 cai levemente durante a passagem do primeiro pico de enchente, provavelmente devido à diluição dos primeiros minutos, mas se eleva logo que o efeito defasado do transporte da DQO urbana (de esgotos não tratados, dos acúmulos de sua deposição ao fundo dos condutos e de DQO depositada sobre terrenos públicos, parques e áreas verdes), principalmente, atinge aquela seção de controle. Fato similar ocorre com relação à segunda leva de DQO (agora já predominantemente rural) e a segunda onda de cheia. Quanto à Ponte 1, que drena uma área urbana bastante menor, nota-se que a elevação na pluma de DQO é mais notável. A primeira pluma está relativamente em fase com o respectivo hidrograma (seria a DQO urbana descarregada em um ponto próximo e a montante da Ponte 1, provavelmente), mas a segunda pluma é ainda mais defasada com relação à respectiva enchente do que no caso da Ponte 3. Isto se deve, provavelmente, à maior inércia do transporte do poluente no ambiente rural do que no urbano.

Ainda na Figura 5, vê-se que a cada elevação na concentração de DQO corresponde, aproximadamente no tempo, uma depleção no nível de oxigênio dissolvido (OD - gráfico de baixo da figura). No gráfico relativo à concentração de matéria orgânica (centro, na figura), observa-se uma correspondência aproximada, em termos de fase, desta variável de qualidade com a DQO -- numa relação parcial de causa e efeito.

Quanto à moderada queda nas concentrações de DQO entre as duas pontes (Figura 5 - topo), é difícil dizer se a causa maior seria a biodegradação ao longo do trecho (1100m) ou certa precipitação devido à queda da velocidade naquele trecho. A diluição da água do ribeirão por uma água de drenagem urbana com menor concentração de DQO descarregada lateralmente ao trecho é causa improvável do fenômeno aqui analisado, visto que o gráfico de concentração de matéria orgânica mostra maiores ordenadas na Ponte 3. A análise das concentrações de OD não esclarece muito tal indefinição, visto que a reaeração devida, principalmente, à elevada turbulência do ribeirão naquele dia, mascara o consumo de oxigênio molecular por biodegradação.

Na Figura 6, observa-se que os sólidos em suspensão (totais - SST) correspondem a uma pequena parte (1/4, em média no período) dos sólidos totais (ST). Porém, a relação entre ambos varia: os sólidos em suspensão representam maior porcentagem dos sólidos totais quando está passando a pluma de poluentes rurais do que quando passou a pluma urbana. Isto é coerente com o fato de que, na área rural, há maior oferta de material fino, solto e erodível, que vem a ser transportado em estado suspenso.

Ainda na Figura 6, observa-se que a presença de sólidos em suspensão é relativamente mais relevante na Ponte 1 (drenagem menos urbana) do que na Ponte 3 (mais urbana). Tal queda de concentração de sólidos suspensos provavelmente se deve à diluição com água de drenagem urbana contribuindo no trecho entre as pontes, a qual conteria menor concentração de SST.

A Figura 7 mostra as concentrações das duas frações de sólidos totais, voláteis (STV) e fixos (STF), cujas somas para cada instante de tempo corroboram os valores de concentração de ST da Figura 6. A presença de voláteis é uma ordem de grandeza menor que a de fixos, mostrando a predominância de matéria mineral no transporte sólido fluvial -- um fator que corrobora a preocupação com a conservação dos solos da região.

Em geral, as plumas de transporte sólido da onda de enchente urbana (a primeira) apresentam seu pico quando o gradiente da vazão é máximo (desassoreamento por aceleração do fluxo, ao se atingir a tensão de cisalhamento máxima admissível dos depósitos precipitados na época mais seca em ruas, na rede de drenagem e em áreas verdes). Já as plumas de sólidos oriundas do escoamento em área rural (segunda onda) são defasadas do hidrograma cerca de 1h -- aparentemente porque a importância relativa dos depósitos de tempo seco não é tão grande na região e o impacto do intemperismo pluvial e fluvial deve ser predominante na própria geração de material solto para transporte. No entanto, isto é um tema para pesquisa e discussão mais profunda.

Na Figura 8, observa-se que a presença de cobre na pluma da Ponte 3 é bem mais relevante do que na Ponte 1 -- provavelmente devido à maior contribuição relativa da área urbana, onde tal poluente é mais intensamente acumulado (pelas atividades industriais e de transporte). Na pluma de origem mais urbana (a primeira, principalmente para a Ponte 3), a concentração apresenta um pico bem no trecho de ascensão do hidrograma (similarmente ao observado para sólidos em semelhantes condições), para cair bastante depois (efeito da diluição, depois de passada a “primeira leva” de depósitos acumulados em tempo seco) e só subir novamente ao aproximar-se do pico da segunda cheia. Durante a passagem da enchente oriunda da área rural (a segunda), a pluma deste metal parece mais defasada do hidrograma causador que no caso da primeira cheia.

Quanto à concentração de ferro total, parece não variar muito ao longo do ribeirão no caso da segunda pluma (oriunda da área rural). No caso da primeira cheia, no entanto, a presença de ferro é muito mais notável nas amostras colhidas sob a Ponte 3 (onde há a maior parcela de contribuição urbana). Também no caso deste metal, a contribuição urbana aparece mais rapidamente no ribeirão do que a contribuição rural (a primeira pluma ocorre antes na Ponte 3 do que na Ponte 1; na Ponte 3, mais em fase com o respectivo hidrograma na primeira cheia do que na segunda).

A Figura 9 mostra as concentrações de fosfatos totais e nitrogênio em nitratos nas duas pontes. No caso do fosfato, observa-se uma ligeira queda na concentração ao longo do rio, talvez devido à diluição por uma drenagem urbana que parece não conter muitos fosfatos e, também em caráter especulativo (e em menor grau), por certo consumo ao longo do trecho (ação de fitoplâncton - assunto para mais profundas investigações). As plumas nos dois locais de controle são defasadas com relação às enchentes respectivas

(com defasagens que vão de 1,5h a 3h). A aproximada similaridade das concentrações em ambas as pontes mostra que a causa maior da presença deste poluente nas águas investigadas é a contribuição rural, devido ao uso de fertilizantes artificiais e à presença de excreta do gado.

Ainda na Figura 9, observa-se que a presença de nitrogênio em forma de nitratos é constantemente mais elevada na Ponte 3 que na Ponte 1. Não está evidente grande diferença de fases, mas isto mereceria maior investigação (aqui prejudicada por ausência de dados em menor discretização temporal). Uma primeira pluma de pequenas dimensões, em ambas as pontes, parece associada à contribuição urbana. Uma segunda, também em ambas as pontes, é evidentemente associada à muito mais marcante presença de nitratos na zona rural, na forma de excreta do gado e de fertilizantes artificiais. Porém, o crescimento das concentrações entre as duas pontes, acima citado, deve-se provavelmente a uma combinação da contribuição de efluentes sanitários urbanos e da nitrificação de amônia oriunda de matéria em decomposição na bacia. Isto é, sem dúvida, um assunto para mais profunda investigação e provável modelagem matemática (vide estudo nesta linha em Reda, 1996).

O item a seguir resume conclusões gerais e sugestões para futura investigação decorrentes desta análise.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O estudo acima é o primeiro na documentação de resultados de projeto de pesquisa que está começando no corrente ano. Algumas conclusões e recomendações, em caráter geral, são possíveis neste ponto:

- A qualidade dos levantamentos de campo e das determinações laboratoriais parece muito boa, devido à grande coerência entre as várias séries temporais obtidas.
- A bacia, de ocupação mista, mostra duas ondas de enchente defasadas que se compõem nos locais das pontes utilizadas para medições. Isto reflete os diferentes tempos de concentração das duas partes da bacia (urbana, mais rápida, e rural, mais lenta).
- Os gráficos de concentração das diversas variáveis de qualidade refletem, em geral, a dicotomia entre as duas partes da bacia.
- O transporte sólido é relevante no talvegue principal desta bacia, o ribeirão Campestre, e aumenta consideravelmente com chuvas torrenciais. Matéria inorgânica parece predominar, apesar da coerente presença de matéria orgânica. Isto permite concluir que uma proteção mais adequada da superfície da bacia, conhecidamente frágil no que diz respeito à erosão fluvial e hidráulica, poderia trazer benefícios para a conservação do solo para uso agrícola e urbano.
- Aparentemente, há considerável interação entre as variáveis de qualidade da água ao longo do trecho estudado, o que faz merecida uma investigação mais completa com o intuito de se efetuar modelagem matemática de qualidade da água neste ribeirão. Porém, como o controle da qualidade das contribuições laterais (que parecem ocorrer em vários pontos do curso d'água) é difícil tarefa, sugere-se escolher um trecho que esteja isento das mesmas, para começar o trabalho de modelagem. Em fase posterior, poder-se-ia,

então, pensar em uma estrutura mais complexa de modelo incluindo-se contribuições laterais.

-- A presença de fosfatos na parte rural da bacia é evidente e denota o uso de fertilizantes, os quais são acumulados sobre as superfícies na estiagem e carreados para os rios durante episódios de chuvas consideráveis e seu escoamento superficial.

-- A presença de nitratos parece também ocorrer devido à contribuição rural, envolvendo os problemas acima mencionados para os fosfatos, mas cresce ao longo do trecho investigado e isto merece uma explicação mais cuidadosa.

-- A contribuição de metais a partir da área urbana (tendo-se o cobre como um representante neste caso) parece digna de maior investigação. A presença de ferro total é notável tanto na drenagem urbana como na rural.

-- O transporte, pelas águas de drenagem superficial, tanto de matéria sólida em geral como de metais, parece sofrer bastante acréscimo nos momentos em que as velocidades de fluxo crescem até atingir um limite para a erosão por cisalhamento de depósitos acumulados durante o período seco que antecede a enchente. Semelhante fenômeno parece afetar o transporte de DQO acumulada na parte mais urbana da bacia.

-- No futuro, quando se dispuser de melhor equipamento para a medição de descarga líquida, será importante calcular-se as vazões de massa dos diversos parâmetros de qualidade, proporcionando um estudo de balanço de massa e posterior interação com o planejamento e análise de modelagem matemática.

Finalmente, conclui-se que este projeto de pesquisa tem futuro promissor, principalmente por estar o objeto de estudo -- o ribeirão Campestre -- bem próximo à Escola de Engenharia de Lins, proporcionando assim condições para o rápido deslocamento da equipe de campo no curso do evento de enchente. Ademais, o laboratório de análise de qualidade da água que serve o projeto -- o LACI, da FPTE -- no mesmo campus que a Escola, demonstrou, com mais este estudo, condições para uma grande qualidade na determinação das concentrações de inúmeros parâmetros: os descritos neste artigo e os outros 24 parâmetros restantes.

Agradecimentos

Agradece-se o apoio da FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, na forma das bolsas de iniciação científica para as duas primeiras autoras; o empenho e dedicação do corpo técnico do LACI (Laboratório de Análises Químicas e Industriais da FPTE - Fundação Paulista de Educação e Tecnologia de Lins), na fase de determinações laboratoriais de qualidade da água; a colaboração e o voto de fé de diversos professores e funcionários da FPTE nesta equipe, em várias fases da pesquisa (que tornaram possível a energia e o sucesso necessários durante o curto tempo disponível para as medições de campo), e, finalmente, a colaboração do estudante Alexandre Gurfinkel Reda na preparação dos gráficos, revisão do texto e editoração final.

REFERÊNCIAS

- BRAGA, P. e Lima, C. R. A. C. (1997) Aspectos ambientais na ocupação urbana - Exemplo da cidade de Lins. *In: Seminário de formatura, Escola de Engenharia de Lins, Lins, São Paulo, 98p.*
- DAEE-IPT (1989) Controle de erosão: bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientações para o controle de boçorocas urbanas, 2ª ed., Departamento de Águas e Energia Elétrica e Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo, 92p.
- GUJER, W.; Krejci, V.; Schwarzenbach, R. e Zobrist, J. (1986) Storm event in the Glatt River Valley - I. Documentation of results. *Anais*, 36, Confer. Urban Storm Water Quality and Effects upon Receiving Waters, 6a 9 de outubro, European Water Pollution Control Association (EWPCA), eds. F.H.M. van de Ven e J.C.Hooghart, TNO Commit. on Hydrol. Res., The Hague, Holanda, pp.235-49.
- HVIVTED-JACOBSEN, T. (1986) Conventional pollutant impacts on receiving waters, a review paper. *In: Urban runoff pollution*, eds.H.C.Torno, J.Marsálek e M.Desbordes, Proc. NATO Worksh. Urban Runoff Pollution, Montpellier, 25 a 30 de agosto de 1985, OTAN, ASI Series, Ser. G: Ecol. Sci., vol.10, Springer Verlag, Heidelberg, Germany, pp.345-78.
- LESSARD, P. e Lavallée, P. (1984) Combined sewer overflows: the Quebec City experience. *Anais: 3rd Intern. Conf. on Urban Storm Drainage*, Goteburgo, Suécia, junho, pp.831-40.
- REDA, A. L. L. (1996) Simulation and control of stormwater impacts on river water quality. Tese apresentada como parte dos requisitos para obter o grau de "Philosophy Doctor" da Universidade de Londres, Imperial College of Science, Technology and Medicine, Londres, 512p.
- SETZER, J. e Porto, R. L. (1979) Tentativa de avaliação de escoamento superficial de acordo com o solo e o seu recobrimento vegetal nas condições do estado de São Paulo. *Bol. Téc. DAEE*, 2(2), São Paulo, pp.82-135.