ANÁLISE PRELIMINAR DA QUALIDADE DA ÁGUA DE RIOS EM MICROBACIAS COM COBERTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR

Robson Willians da Costa Silva[1]; Tatiana Morgan Berteli de Andrade; Luiz Felippe Salemi; Rafael Pires Fernandes; Nicole Fischer Arieta; Luis Otavio Granço Corrêa; Fabiana Cristina Fracassi Adorno; Jorge Marcos de Moraes; Plínio Barbosa de Camargo; Luiz Antonio Martinelli

Resumo - Com a expansão da cana-de-açúcar, há também a concomitante elevação do uso de fertilizantes como a vinhaça e torta de filtro. Todavia, esses nutrientes aplicados às plantações não só afetará a produção agrícola, mas também tem e terá implicações para a qualidade de água das bacias em que se inserem esses plantios. O presente trabalho tem como objetivo identificar os impactos das práticas de manejo da cana-de-açúcar na qualidade das águas dos rios. De acordo com os resultados qualitativos obtidos até o presente momento, foi possível observar que o rio principal se diferenciou dos rios de primeira ordem, levando-se em consideração, principalmente, os valores de pH e de condutividade elétrica, possivelmente, reflexo da aplicação de vinhaça e torta de filtro no solo na cabeceira da bacia hidrográfica 648.

Palavras-Chave – qualidade das águas; cana-de-açúcar.

Abstract - The expansion of surgarcane plantations, there is also an increase in the use of fertilizers such as vinasse and filter cake. However, these nutrients applied to crops will affect not only agricultural production but also has and will have implications for the water quality of watersheds covered with this crop. The objective this study is to identify the impacts of management practices of sugarcane in water quality of rivers. According to the qualitative results obtained so far, it was observed that the main river stood out from the rivers of the first order, taking into account mainly the pH and electrical conductivity, possibly reflecting the application of vinasse and filter cake on soil at the headstream of the watershed n.648.

Keywords – water quality; sugarcane.

INTRODUÇÃO

A agroindústria canavieira é uma importante atividade socioeconômica no Brasil, que se apresenta como o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, onde produziu na safra 2008/2009 aproximadamente 570 milhões de toneladas de cana-de-açúcar (ÚNICA, 2010). Os principais

[1] Todos os autores estão locados no:
Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP)
Endereço. Av. Centenário, 303. CEP 13400-970, Piracicaba-SP
55 + (19) 3429 4063

produtos gerados são o açúcar, com uma produção acima de 30 milhões de toneladas, e o etanol, acima de 21,30 bilhões de litros (Oliveira *et al.,* 2007).

O sucesso dessa agroindústria no Brasil deve-se, entre outros fatores, às condições climáticas, à disponibilidade de terras, à utilização de tecnologias avançadas nas lavouras e indústrias, e ao aumento da demanda mundial por etanol (Martinelli e Filoso, 2008).

O crescimento das áreas cultivadas é, geralmente, acompanhado do aumento do uso de fertilizantes e agroquímicos. Nesse sentido, resíduos orgânicos resultantes dos processos de fabricação do etanol e açúcar, como a vinhaça e torta de filtro, têm sido amplamente utilizados na agricultura brasileira como fertilizante, com o objetivo de melhorar as propriedades físicas e químicas do solo e, consequentemente incrementar a produtividade e qualidade dos produtos agrícolas, bem como reduzir os custos de produção (Antunes *et al*., 2008).

Assim, um fator que deve ser levado em consideração no sistema de produção da cana-de-açúcar é a fertirrigação com vinhaça. A vinhaça é um resíduo líquido obtido na operação de destilação do álcool, sendo que para cada litro de álcool produzido há geração de 10 a 13 litros de vinhaça (Freire e Cortez, 2000). De modo geral, apresenta altas concentrações de matéria orgânica, potássio, cloreto, nitrogênio, fósforo total, cálcio, sulfato, aumento de pH e elevada demanda bioquímica de oxigênio (DBO) (Rossetto, 1987) – as quais lhe conferem grande potencial de contaminação dos recursos hídricos.

A torta de filtro é obtida nos filtros rotativos após extração da sacarose residual da borra. Sua composição é variável, em função da variedade da cana, tipo de solo, maturação da cana, processo de clarificação do caldo e outros (Almeida, 1944). Torta de filtro apresenta altas concentrações de nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio e potássio (Brasil Sobrinho, 1958). Cerca de 30% do conteúdo total de fósforo aparece na forma orgânica e o nitrogênio predomina na forma protéica, propiciando lenta liberação desses elementos e consequentemente alto aproveitamento pelas plantas (Nardin, 2007).

Com a aplicação intensiva de vinhaça, torta de filtro e outros fertilizantes, durante as diferentes fases do cultivo da cana-de-açúcar, aliado ao problema da devastação das matas ripárias para aumentar a área agricultável, têm promovido diversos impactos sobre os recursos hídricos das áreas adjacentes a essas plantações, sobretudo através do processo de lixiviação do solo (Corbi *et al.*, 2006).

De acordo com o que foi exposto, e tendo em vista que os rios refletem os diversos processos que ocorrem em suas bacias de drenagem, avaliar a qualidade da água dos rios que drenam áreas com cobertura de cana-de-açúcar.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

Foram selecionadas 4 microbacias na bacia do rio Corumbataí, município de Piracicaba – SP. Dentro de cada uma destas, foi estabelecido um ponto de coleta próximo ao exutório (Figura 1). Os corpos hídricos destas microbacias selecionadas enquadram-se como rios de 1ª ordem. Adicionalmente, foi estabelecido um ponto de coleta no rio principal, o qual se caracteriza como rio de 3ª ordem, à jusante das 4 microbacias.

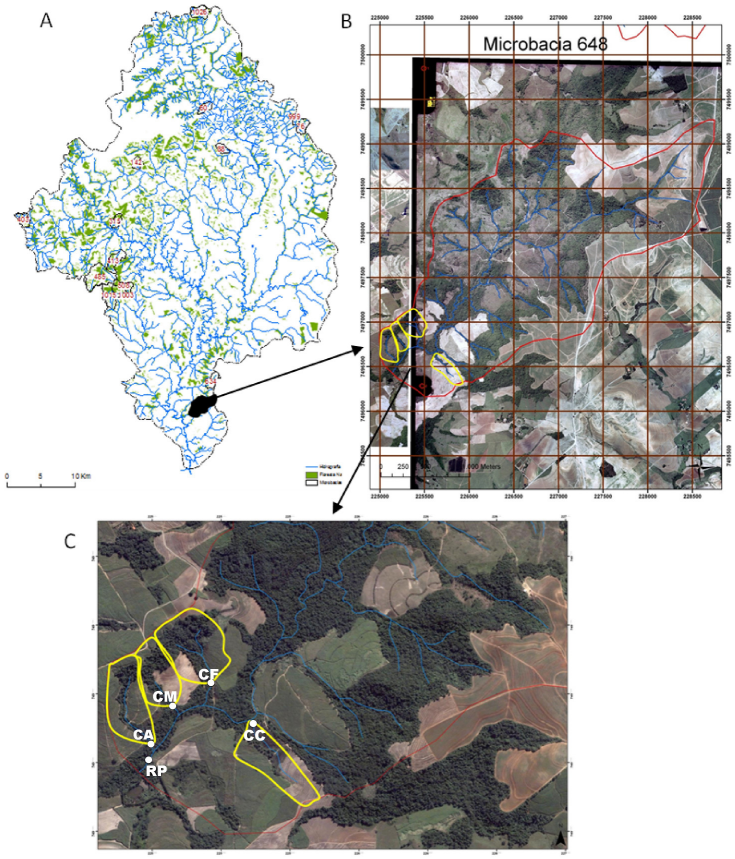

Figura 1- A- Rede hidrográfica da bacia do rio Corumbataí. Em destaque, a delimitação da microbacia 648, onde estão inseridas as demais microbacias de estudo. **B-** Microbacia 648 delimitada em vermelho, onde estão inseridas as 4 microbacias selecionadas, delimitadas em amarelo. **C-** Delimitação das 4 microbacias com predomínio de cobertura de cana-de-açúcar, denominadas: CC– cana cultivada; CF– cana floresta; CM– cana mista; e CA– cana abandonada. RP consiste no ponto de monitoramento no rio principal da microbacia 648, à jusante das demais microbacias de interesse Fontes: CEAPLA, 2008.

As 4 microbacias selecionadas são predominantemente cobertas com cana-de-açúcar (Figura 1C), sendo observadas as seguintes diferenças em relação ao uso do solo:

- as microbacias denominadas cana cultivada (CC) e cana floresta (CF) apresentam cobertura de cana-de-açúcar, atualmente sendo cultivada, em ambas vertentes;

- a microbacia denominada cana mista (CM) apresenta uma das vertentes coberta por cana-de-açúcar atualmente cultivada e a outra por cana-de-açúcar abandonada;

- a microbacia denominada cana abandonada (CA) apresenta cobertura de cana-de-açúcar abandonada em ambas vertentes.

A atual condição de abandono das plantações dessas vertentes data de aproximadamente quatro anos, sendo que as mesmas apresentam um histórico de abandono relativamente contínuo, devido principalmente às constantes transferências (vendas e arrendamentos) dessas áreas.

Outra diferença a ser considerada consiste na presença/ausência de cobertura florestal, ou mata ripária, nas áreas de preservação permanente (APP), de acordo com a Lei Federal nº 4771/1965. A princípio, somente a microbacia CF apresenta APP com cobertura florestal em conformidade com a supracitada lei, contrastando-se nitidamente com a microbacia CC, onde a área com cobertura florestal é praticamente nula (Figura 1C). Já as outras duas microbacias (CM e CA) apresentam condições intermediárias (em relação à área/extensão das matas ripárias) às encontradas nas microbacias CF e CC (Figura 1C). Entretanto, além da identificação da presença/ausência de mata ripária, é necessário levar em consideração as condições de conservação/preservação. Portanto, é de fundamental importância que um levantamento florístico seja efetuado nestas áreas visando dar suporte a posteriores comparações.

Já em relação ao rio principal (RP), destaca-se que o mesmo drena áreas com diferentes usos do solo, anteriormente mencionados para as microbacias (cana-de-açúcar cultivada e abandonada; mata ripária) (Figura 1B) e pastagem. Além disso, dois importantes aspectos devem ser destacados:

- na cabeceira deste rio principal (cabeceira da microbacia 648), há áreas fertirrigadas com vinhaça pela usina sucroalcooleira da região;

- há algumas áreas nas quais atualmente está ocorrendo a reforma do canavial, e entre as práticas agrícolas empregadas durante a reforma, há a calagem do solo, que consiste na adição de calcário para elevar o pH do mesmo.

Delineamento Experimental

Foi instalado um vertedouro em cada uma das 4 microbacias (Figura 2). Em cada vertedouro foi instalado um sensor eletrônico de nível de água ("Water Level Sensor" – Trutrack), que registra a altura da lâmina (H) de água a cada 5 minutos. A vazão ($L.s^{-1}$) é então calculada utilizando as leituras de nível. Adicionalmente, a validação da calibração dos vertedouros vem sendo realizada semanalmente. Para tanto é efetuada a determinação da vazão (pelo método volumétrico) e do nível do riacho.

No rio principal não foi instalado nenhuma estrutura hidráulica para medir a vazão devido à inviabilidade financeira e logística. Assim, neste rio a vazão não está sendo medida.

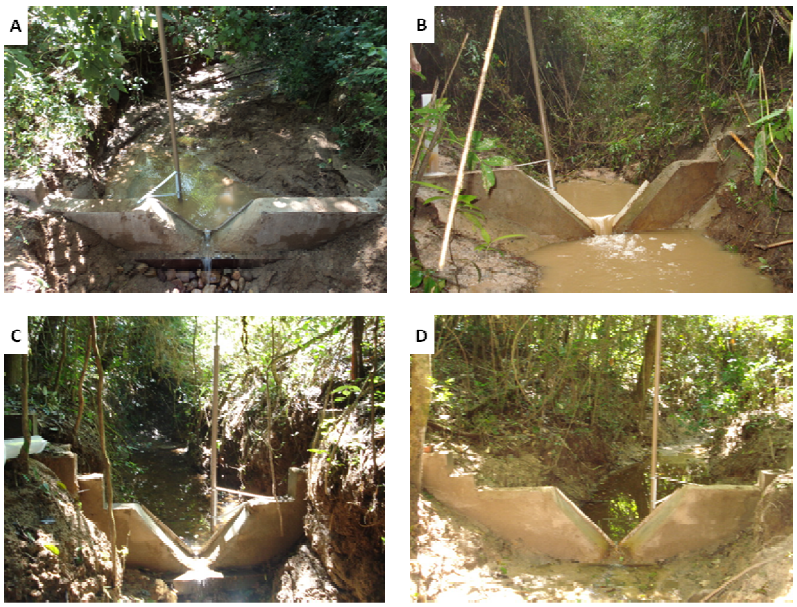

Figura 2**-** Fotografias dos vertedouros com os sensores eletrônicos de nível de água ("Water Level Sensor" – Trutrack) das microbacias de estudo. **A-** Vertedouro da microbacia CF. **B-** Vertedouro da microbacia CC. **C-** Vertedouro da microbacia CM. **D-** Vertedouro da microbacia CA

Foram instalados dois pluviógrafos do tipo "*tipping-bucket*" (*Rain Wise*) que registra o volume de chuva (mm) a cada 5 minutos, assim como 3 coletores de precipitação, em uma área aberta vizinha das microbacias de estudo (Figura 3). Estes dados fornecerão dados quantitativos e qualitativos das chuvas na região de estudo.

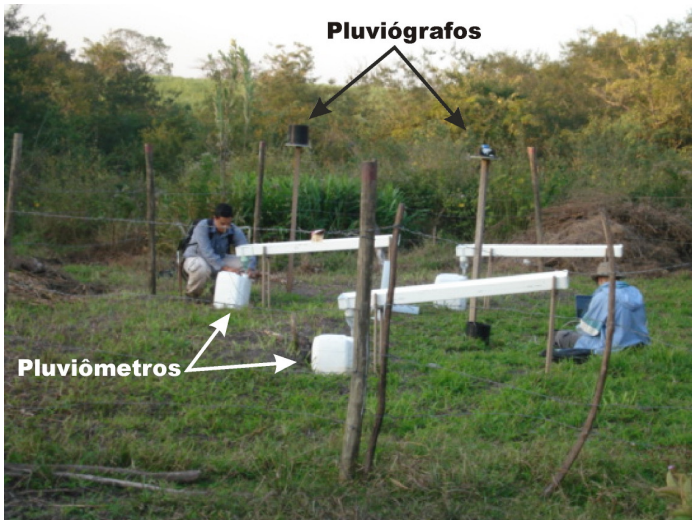

Figura 3- Fotografias dos dois pluviógrafos do tipo "*tipping-bucket*" (*Rain Wise*) e dos três coletores de chuva, instalados em uma área aberta na região das microbacias de estudo

Métodos Amostrais e Analíticos

As coletas das amostras de água tiveram início no dia 25 de março de 2011 e estão sendo coletadas semanalmente desde então. No entanto, para realização do presente estudo, foram utilizados dados até o dia 25 de maio de 2011.

Estão sendo analisados os parâmetros abióticos da água: temperatura e oxigênio dissolvido (eletrodo específico da marca YSI, modelo 5905), pH (Orion pH meter - model EA940) e condutividade elétrica (Digital Conductivity Meter - Amber Science Inc., Model 2052).

Futuramente serão ainda determinadas as concentrações de carbono e nitrogênio dissolvido, assim como as concentrações dos principais cátions e ânions (Ca^{2+}, K^{+}, Mg^{2+}, Na^{+}, NH_4^{+}; NO_3^{-}, NO_2^{-}, SO_4^{2-}, PO_4^{3-} e Cl^{-})

Análises Estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas com emprego do pacote estatístico STATISTICA versão 7.1 para Windows (STATSOFT, 2006).

Foram empregados os testes de Shapiro-Wilk e Levene para testar as hipóteses de normalidade e de homocedasticidade de variâncias, respectivamente. Face à ausência de distribuição normal dos parâmetros analisados, foram realizados testes estatísticos não-paramétricos. Assim, valores medianos foram usados. Para testar diferenças das variáveis de interesse foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis de comparações múltiplas. Para as análises de correlações foi usado o teste de Sperman, sendo r_s a denotação dos respectivos coeficientes de correlação. Diferenças a 5% de probabilidade foram consideradas significativas.

3. RESULTADOS PRELIMINARES

Os resultados preliminares apresentados a seguir correspondem às amostras de água e vazão dos riachos, coletadas semanalmente entre 25 de março e 25 de maio de 2011 (n = 10); assim como da precipitação na área de estudo durante o mesmo período.

A distribuição dos valores medianos de vazão dos rios de primeira ordem estudados (CC, CF, CM e CA) está apresentada na Figura 4.

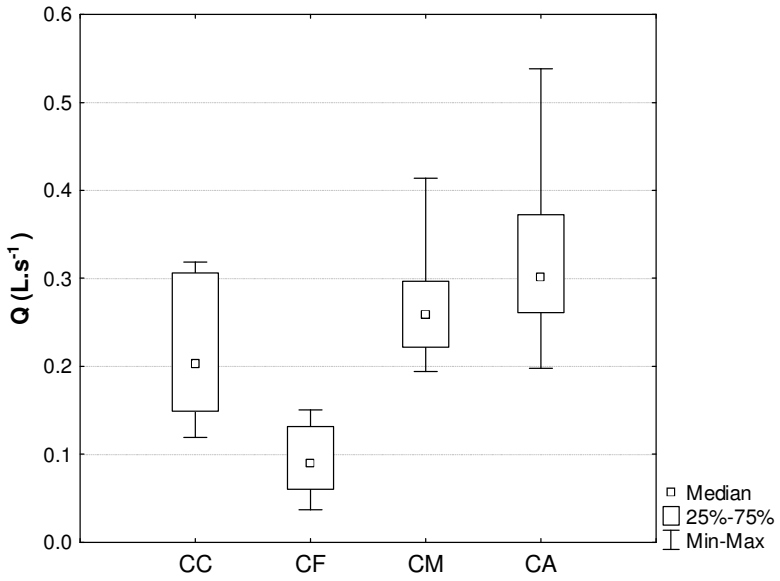

Figura 4- Variação dos dados de vazão dos riachos das microbacias estudadas (CC, CF, CM e CA). O quadrado interno indica o valor mediano, o retângulo ilustra a amplitude inter-quartil (25% - 75%), e as barras os valores mínimo e máximo encontrados

A vazão na microbacia CF foi significativamente inferior à vazão das demais microbacias ($p < 0,005$). Apesar de a microbacia CA tender a apresentar um valor mediano de vazão mais elevado, diferenças significativas não foram observadas em relação à microbacia CM ($p > 0,05$), sendo que esta por sua vez não apresentou diferenças em relação à CC ($p > 0,05$).

A variação temporal das vazões ao longo das 10 semanas de estudo é apresentada na Figura 5. Os valores de vazão correlacionaram-se à precipitação na região ($r_s = 0,39$; $p < 0,05$). As vazões dos riachos das microbacias tenderam a apresentar um mesmo padrão de variação, correlacionando-se positivamente com as chuvas na região; sendo que a vazão do riacho da microbacia CF tende a apresentar um padrão ligeiramente distinto ao encontrado nas demais microbacias (Figura 5). Trimble et al. (1987), Balbinot et al. (2008) e Pinto et al. (1973) afirmam que nas bacias florestadas há a diminuição do escoamento superficial e aumento da interceptação da chuva, resultando assim a diminuição dos picos do hidrograma, refletindo em uma linha mais suavizada no gráfico chuva x vazão, como ocorre na microbacia CF, representada na Figura 5.

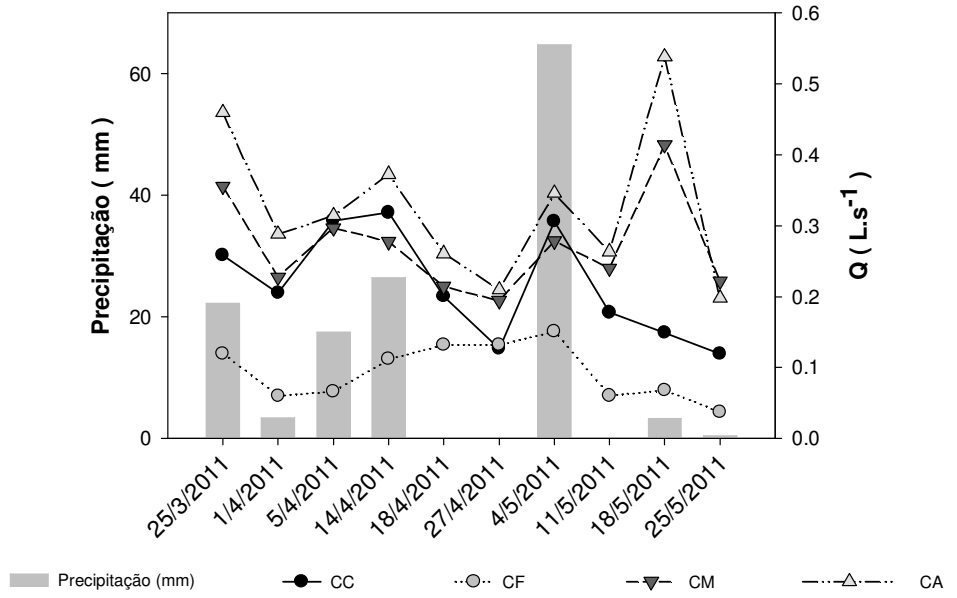

Figura 5- Representação dos dados de vazão dos riachos em função da precipitação na região de estudo, durante o período amostrado (10 semanas) para as 4 microbacias (CC, CF, CM e CA)

As variações espaciais dos parâmetros abióticos medidos, tanto para os rios de primeira ordem (CC, CF, CM e CA), quanto para o rio principal (RP), são apresentadas a seguir.

Diferenças significativas não foram observadas em relação às concentrações de oxigênio dissolvido (OD) ($p > 0,05$) obtidas nos diferentes rios estudados (Figura 6).

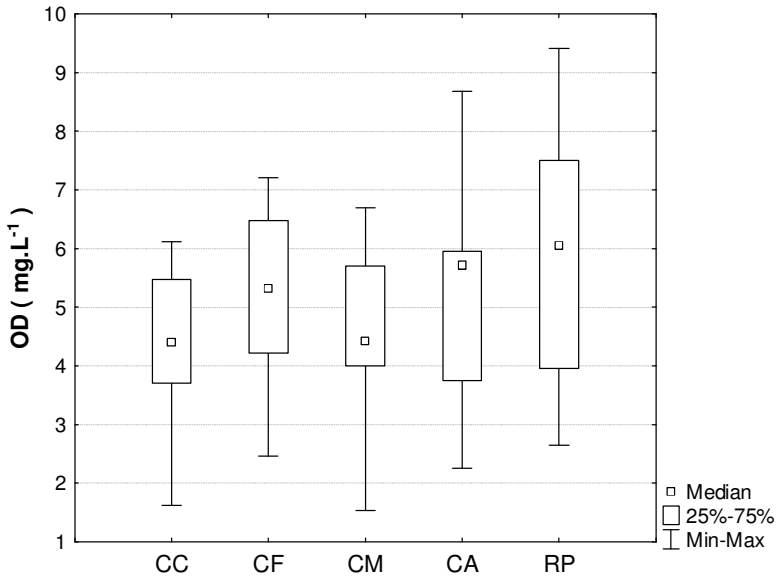

Figura 61- Variação das concentrações de oxigênio dissolvido (OD), em $mg.L^{-1}$, encontradas tanto nos rios de primeira ordem (CC, CF, CM e CA), quanto no rio principal (RP). O quadrado interno indica o valor mediano, o retângulo ilustra a amplitude inter-quartil (25% - 75%), e as barras os valores mínimo e máximo encontrados

O valor mediano de CE no rio principal (RP) foi significativamente superior aos dos rios de primeira ordem ($p < 0,001$) (Figura 7). Já entre os rios de primeira ordem, os valores de CE foram significativamente inferiores na CA ($p < 0,01$) (Figura 7). Diferenças significativas não foram observadas somente entre os valores medianos de CE da CC e da CM ($p > 0,05$) (Figura 7).

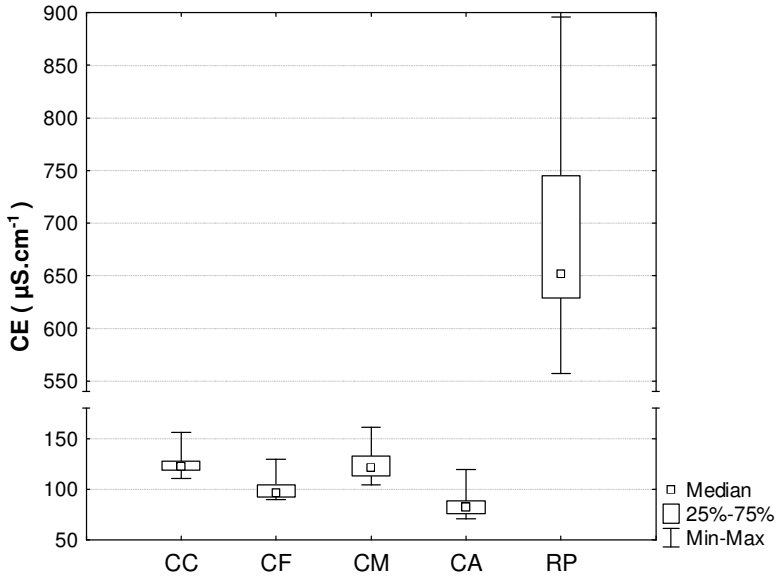

Figura 7- Variação dos valores de condutividade elétrica (CE), em $\mu S.cm^{-1}$, encontrados tanto nos rios de primeira ordem (CC, CF, CM e CA), quanto no rio principal (RP). O quadrado interno indica o valor mediano, o retângulo ilustra a amplitude inter-quartil (25% - 75%), e as barras os valores mínimo e máximo encontrados

Padrão similar foi observado em relação aos valores de pH, uma vez que o valor encontrado no rio principal (RP) foi significativamente superior aos dos rios de primeira ordem ($p < 0,005$) (Figura 8). Entre os rios de primeira ordem, os valores de pH foram significativamente inferiores na CC ($p < 0,005$) (Figura 8). Diferenças significativas não foram observadas somente entre os valores medianos de pH da CA e da CF ($p > 0,05$) (Figura 8).

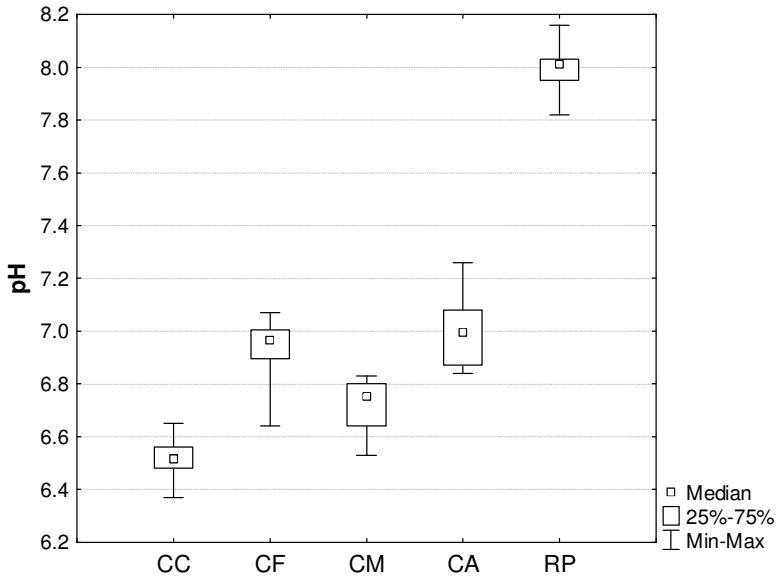

Figura 8- Variação dos valores de pH encontrados tanto nos rios de primeira ordem (CC, CF, CM e CA), quanto no rio principal (RP). O quadrado interno indica o valor mediano, o retângulo ilustra a amplitude inter-quartil (25% - 75%), e as barras os valores mínimo e máximo encontrados

O pH dos rios apresentaram padrão básico, principalmente o rio principal (RP) (Figura 1), podendo ser explicado pela geologia regional. Na região ocorre afloramento da Formação Irati, com presença de calcário dolomítico creme a cinza escuro, os quais podem se apresentar localmente silicificados (nódulos de sílex), evidenciados nos fragmentos rochosos nos canais dos rios CF, CM e CA, e na encosta do canal do rio principal (RP).

No mês de abril iniciou-se o corte da cana-de-açúcar plantada na cabeceira da bacia hidrográfica 648 (Figura 1), posteriormente, o início do preparo do solo para o rebrotamento das mesmas, e um dos manejos realizado no solo é a aplicação de vinhaça e torta de filtro. Segundo Glória e Orlando Filho (1983) e, Silva e Ribeiro (1998), a aplicação de vinhaça no solo acarreta a elevação do pH do solo das águas superficiais e subterrânea. Nardin (2007) encontrou um aumento substancial do pH do solo com a aplicação de torta de filtro em argissolos. Embora nos primeiros dez dias após aplicação de vinhaça o pH sofre uma redução considerável para, posteriormente, elevar-se abruptamente, este efeito está ligado à ação dos microrganismos (Rossetto, 1987).

Quanto a condutividade elétrica, Lyra et al. (2003) e Madejon et al.(2001), afirmam que a vinhaça eleva a concentração de sais no solo, consequentemente, com a lixiviação esses sais chegam aos rios e lagos. Esse fenômeno pode ser verificado no primeiro gráfico da Figura 9.

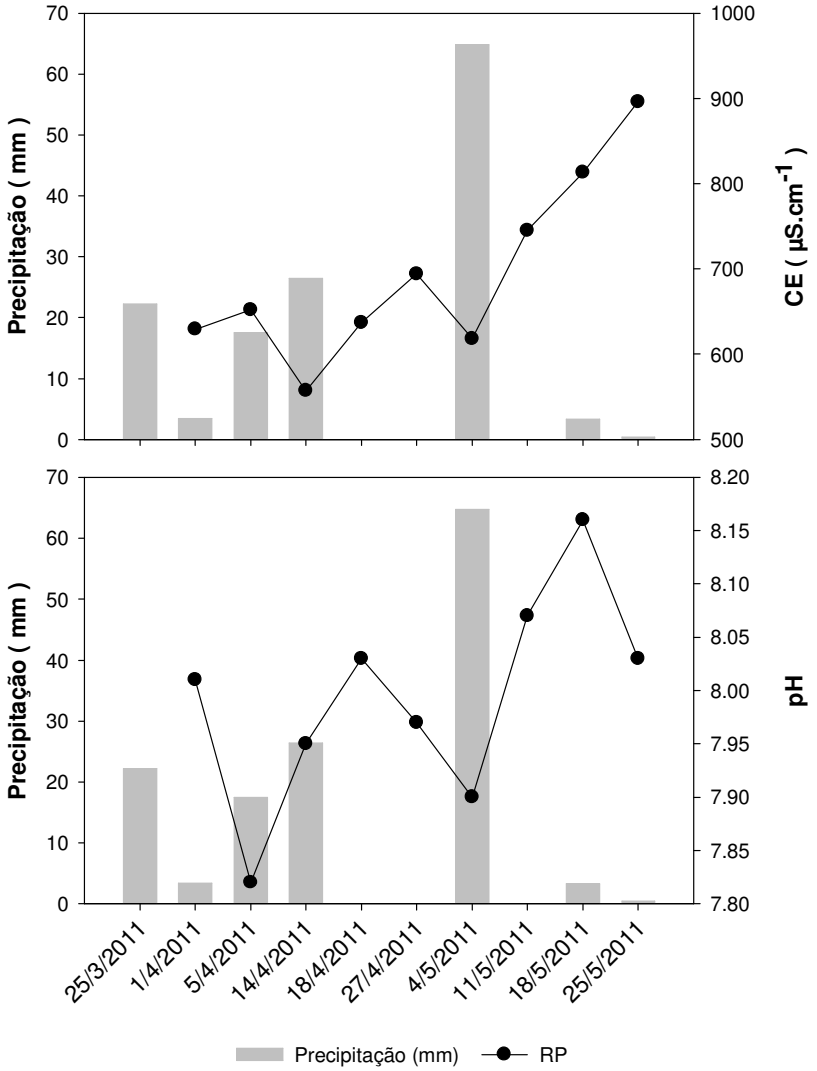

Figura 9- Representação da variação dos valores de condutividade elétrica (CE) e pH no rio principal (RP) em função da precipitação na região de estudo, durante o período amostrado (10 semanas)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Vale ressaltar que no momento atual, de posse de pequeno número de dados, a fase é de construção de cenários, principalmente nas microbacias.

Em relação à caracterização hidrológica das microbacias, a CF foi a que apresentou menores valores de vazão, diferenciando-se ligeiramente das demais, possivelmente por ser uma microbacia que apresenta floresta ripária, que acarreta na diminuição do deflúvio superficial.

De acordo com os resultados obtidos até o presente momento, foi possível observar que o rio principal se diferenciou dos rios de primeira ordem, levando-se em consideração, principalmente, os valores de pH e de condutividade elétrica, possivelmente, reflexo da aplicação de vinhaça e torta de filtro no solo na cabeceira da bacia hidrográfica n. 648.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo apoio financeiro por meio do projeto temático "Mudanças Socioambientais no Estado de São Paulo e Perspectivas para a Conservação" (Processo nº 2006/60954-4), do projeto de auxílio "Hidrologia e Dinâmica do Nitrogênio e do Carbono em Microbacias com Cobertura de Cana-de-açúcar" (Processo nº 2010/20256-1) e aos projetos individuais dos autores Robson Willians da Costa Silva (Processo nº 2010/51226-0) e Luiz Felippe Salemi (Processo nº 2009/54445-8). E ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pelo apoio financeiro a autora Tatiana Morgan Berteli de Andrade (Processo nº 142461/2009-1).

BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, J.R. (1944). *"As tortas da usinas de Açúcar. Brasil Açucareiro*". Rio de Janeiro. 24 (2), pp. 91-93.

ANTUNES, R.P.; NUNES, M.E.T.; MASSUKADO, L.M.; BOTTA, C.M.R.; SALATI, E. (2008). "*Avaliação de características ecotoxicológicas e químicas de fertilizantes orgânicos para aplicação agrícola"* in Anais do III Workshop de Ecotoxicologia, Rio Claro.

BALBINOT, R.; OLIVEIRA, N.K.; VANZETTO, S.C.; PEDROSO, K.; VALÉRIO, A.F. (2008) *"O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas".* Ambiência 4 (1), pp. 131-149.

BRASIL SOBRINHO, M.O.C. (1958). *Estudos sobre o aproveitamento da torta de filtro de usina de cana-de-açúcar como fertilizante*. Tese (Doutorado) – Piracicaba- SP, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ-USP, 109p.

CENTRO DE ANÁLISE E PLANEJAMENTO AMBIENTAL – CEAPLA. Disponível em: <http://ns.rc.unesp.br/igce/ceapla>. Acesso em 3 Nov. 2008.

CORBI, J.J.; STRIXINO, S.T.; SANTOS, A.; DEL GRANDE, M. (2006). "*Diagnóstico ambiental de metais e organoclorados em córregos adjacentes a áreas de cultivo de cana-de-açúcar (Estado de São Paulo, Brasil)"*. Química Nova 29 (1), pp.61-65.

FREIRE, W.J.; CORTEZ, L.B. (2000). *Vinhaça de cana-de-açúcar de açúcar*. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 203 p.

GLÓRIA, N.A.; ORLANDO FILHO, J. (1983). *Aplicação de vinhaça como fertilizante*. São Paulo: Coopersucar, 38 p.

LYRA, M.R.C.C.; ROLIM, M.M.; SILVA, J.A.A. (2003). *"Topossequência de solos fertirrigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas do lençol freático"*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 7 (3), pp. 525-532.

MADEJÓN, E.; LOPEZ, R.; MURILLO, J.M.; CABRERA, F. (2001). *"Agricultural use of three (sugar-beet) vinasse composts: effect on crops and chemical properties of a Cambisol soil in the Guadalquivir river valley (SW Spain)"*. Agriculture, Ecosystems and Environment 84 (1), pp.55-65.

NARDIN, R.R. (2007). *Torta-de-filtro aplicada em argissolo e seus efeitos agronômicos em duas variedades de cana-de-açúcar colhidas em duas épocas*. IAC Campinas-SP, 51 p.

OLIVEIRA, E.P. de; SOBRINHO, J.B. S.; NEGREIROS, J.C. de; AMAZONAS, L.; ALMEIDA, M.B.A. de; SILVEIRA, P.S.; ANDRADE, R.A. de; PIFFER, T.R. de O.; TEIXEIRA, W.S. (2007) "*Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar safra 2007/2008, segundo levantamento, agosto/2007"*. Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília: Conab, 12p.

MARTINELLI, L.A.; FILOSO, S. (2008). *"Expansion of sugarcane ethanol production in Brazil: environmental and social challenges"*. Ecological Applications 18 (4), pp. 885–898.

PINTO, N.L.; HOLTZ, A.C.T.; MARTINS, J.A. (1973). *Hidrologia de superfície*. São Paulo: Edgard Blucher, 179 p.

ROSSETTO, A.J. (1987). *"Utilização agronômica dos subprodutos e resíduos da indústria açucareira e alcooleira*", in Cana-de-açúcar: cultivo e utilização. Org. por Paranhos, S.B. Fundação Cargill, Campinas – SP, pp. 435-504.

SILVA, A.J.N.; RIBEIRO, M.R. (1998). "*Caracterização de um Latossolo Amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas: propriedades químicas"*. Revista Brasileira de Ciência do Solo 22 (2), pp. 291-299.

STATSOFT, Inc. (2005). *Statistica 7.1: data alalysis software system*. Statsoft, Tulsa, Oklahoma (USA).

TRIMBLE, S.W.; WEIRICH, F.H.; HOAG, B.L. (1987) *"Reforestation and the reduction of water yield on the southern Piedmont since circa 1940"*. Water Resources Research (23), pp.425-437.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR-DE-AÇÚCAR - UNICA. "*Acompanhamento da Safra 2009/2010"*. Disponível em: <http://www.unica.com.br>. Acesso em 17 Set. 2010.