

EFEITO DA IRRIGAÇÃO COM ESGOTO TRATADO NA EXPORTAÇÃO DE CARBONO E NITROGÊNIO EM ÁREA CULTIVADA COM CANA-DE-AÇÚCAR SEM DESPALHA À FOGO

Alessandra Monteiro de Paula¹; Sandra Furlan Nogueira²

RESUMO --- A prática do reuso agrícola de efluentes de esgoto doméstico é comum em diversos países e apresenta um grande potencial no Brasil. Dentre as culturas com vocação para irrigação com efluentes, a cana-de-açúcar se destaca, devido às grandes extensões de área cultivada e ao potencial de resposta ao cultivo irrigado em áreas sujeitas a deficiência hídrica. Para avaliar os efeitos da irrigação da cana com esgoto tratado sobre a exportação de carbono e nitrogênio do solo e na produtividade da segunda soca da cultura sem despalha à fogo, foi conduzido um experimento com lâminas crescentes de irrigação em comparação com cana não irrigada, em área adjacente à uma estação de tratamento de esgoto em Piracicaba, SP. A irrigação da cana com esgoto tratado contribuiu com aumento significativo de palhada depositada na área irrigada com 200% ETc, de cerca de 50% a mais de palhada ($4,8 \pm 2,7 \text{ Mg ha}^{-1}$), comparada com a área de cana sem irrigação ($2,0 \pm 0,4 \text{ Mg ha}^{-1}$). A irrigação com efluente de esgoto com até 200% ETc promoveu variação significativa nos conteúdos de C nas folhas e no bagaço de cana, em relação ao tratamento não irrigado. Nos conteúdos de N, o aumento de cerca de 80% foi verificado nas folhas de cana irrigada com 100% ETc, comparado ao tratamento não irrigado. A irrigação com efluente mostrou-se uma prática viável para a cultura da cana-de-açúcar, possibilitando incremento significativo de produtividade, sendo recomendada a lâmina de 100% ETc, contribuindo para o sequestro de carbono, tanto na forma de biomassa produzida, como na deposição de palhada no solo.

ABSTRACT --- The agricultural practice of reuse of domestic sewage effluent is common in several countries and has a great potential in Brazil. Among the crops destined to irrigation with effluents, sugarcane stands out due to large tracts of acreage and potential response to irrigated farming areas subject to water stress. To assess the effects of irrigation with treated sewage of the sugarcane on the soil carbon and nitrogen exportation and productivity of the second ratoon crop husked without the fire, an experiment was conducted with growing irrigation compared to non-irrigated sugarcane in adjacent area to a sewage treatment plant in Piracicaba, SP. Sugarcane irrigation with treated sewage contributed significant increase in straw deposited in the area irrigated with 200% ETc, about 50% more straw ($4.8 \pm 2.7 \text{ Mg ha}^{-1}$), compared with the sugarcane without irrigation ($2.0 \pm 0.4 \text{ Mg ha}^{-1}$). Irrigation with sewage effluent with up to 200% ETc promoted change in C content in the leaves and bagasse, for the non-irrigated. In the contents of N, the increase was about 80% on the sugarcane leaves irrigated with 100% ETc compared to non-irrigated. Irrigation with wastewater proved to be a viable practice for the cultivation of sugarcane, allowing significant increase in productivity, the blade is recommended 100% ETc, contributing to carbon sequestration, both in the form of biomass produced, as deposition of straw on the ground.

Palavras-chave: reuso agrícola, lagoas de estabilização, cana irrigada

1. INTRODUÇÃO

A água é um fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola. O fenômeno de escassez, não é, entretanto, atributo exclusivo das regiões áridas e semi-áridas. Muitas regiões com recursos hídricos abundantes, mas insuficientes para atender as demandas excessivamente elevadas, também experimentam conflitos de usos e sofrem restrições de consumo, que afetam o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida (HESPANHOL, 1999).

Segundo a Agência Nacional de águas (ANA, 2002), o melhor exemplo desse cenário de escassez relativa de recursos hídricos é a unidade hidrográfica (UH) do rio Tietê, onde a demanda por água (46% pela indústria, 59% pela população humana e animal e 14% pela agricultura) excede em 19% a disponibilidade hídrica Q_{95} (vazão com permanência de 95%) e a descarga de DBO_5 em seus corpos hídricos corresponde a 1050 Mg dia^{-1} , definindo assim uma realidade de limitações quantitativas e qualitativas de uso da água. Além da escassez potencial, grandes demandas pelo uso da água já se configuram nesta UH, assim como na do rio Grande. Nas bacias dos rios Piracicaba, Sorocaba, Grande e Turvo, já ocorrem conflitos entre irrigantes, abastecimento público e demanda industrial (TELLES, 1999; ANA, 2002).

No sentido de ordenar o uso racional da água e administrar os existentes e eminentes conflitos, vem sendo implantada em nosso país a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/97), sendo que um de seus principais instrumentos de operacionalização, a cobrança pelo uso da água, foi aprovada no estado de São Paulo em dezembro de 2005 (Lei nº 12.183/05).

A agricultura irrigada é uma das tecnologias utilizadas, sendo que além do acréscimo em produtividade, também é possível a obtenção de duas ou mais colheitas no ano. A presença de água nos períodos em que a baixa precipitação afetaria a produção, é o componente que diferencia a produção da agricultura irrigada no total da produção agrícola do país. No Brasil, 5% da área plantada é irrigada e corresponde a 16% da produção nacional (ANA, 2004).

Tudo isso tem aquecido o mercado do reúso e caracterizado a irrigação com esgotos tratados como uma proposta economicamente interessante para agricultores e órgãos de saneamento. Considerando-se que a agroindústria da cana-de-açúcar brasileira é uma das mais produtivas e competitivas do mundo, e que grande parte das áreas de cultivo são de sequeiro, a irrigação da cultura é bastante promissora, particularmente no Estado de São Paulo, detentor de aproximadamente 58% de toda produção nacional (IBGE, 2010).

O Estado de São Paulo possui a segunda maior área irrigada do Brasil, 450.000 ha (TELLES, 1999), sendo clara a sua tendência de aumento. Com os conflitos de interesse pelo uso das águas superficiais e a cobrança de seu uso, a utilização de águas residuárias na agricultura em condições favoráveis (e.g. proximidade com sistemas de tratamento de esgoto e viabilidade

sanitária) torna-se uma possibilidade atraente, além de favorecer a redução de custos com fertilizantes.

Sobre as vantagens e restrições do reúso agrícola, vários aspectos têm sido amplamente avaliados e discutidos, enquanto outros, como a manutenção do estoque de carbono do solo e implicações (e.g. longevidade produtiva dos solos), aguardam na ordem de prioridades.

Apesar da tradição de cultivo da cultura em condições de sequeiro, a tecnologia de irrigação da cana-de-açúcar constitui uma das alternativas que pode contribuir para a “qualidade total” do processo de produção sucro-alcooleiro paulista, desde que análises técnico-científicas estejam disponíveis, demonstrando a viabilidade econômica da prática de irrigação (MATIOLI, 1998).

Segundo Matioli (1998), os benefícios diretos da irrigação da cana-de-açúcar correspondem ao aumento de produtividade agrícola e da longevidade das soqueiras. Já os benefícios indiretos estão relacionados à redução de custos no processo produtivo agrícola, proporcionada pelo aumento da produtividade, e não menos importante, relacionados ao meio ambiente, com a maior produção de etanol (substituição dos combustíveis fósseis) e manutenção/acúmulo de carbono no solo (ausência de queima).

2. OBJETIVOS

O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da irrigação com esgoto tratado no sequestro de carbono (acúmulo no solo e produção primária líquida) e ciclagem de nitrogênio em área cultivada com cana-de-açúcar (sem queima), sendo eles detalhados em:

- (1) Quantificar as frações de C e N no esgoto tratado;
- (2) Quantificar a palhada acumulada e depositada total e com isso determinar a ciclagem interna de N e as entradas de C no sistema;
- (3) Determinar a exportação de C e N da produção vegetal (colheita).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A área experimental foi instalada, no bairro Taquaral em Piracicaba – SP, em um setor canavieiro pertencente ao Grupo COSAN, no município de Piracicaba (latitude S 22°46'24,1" e longitude W 47°36'32,6", altitude média 582m), ao lado da estação de tratamento de esgoto (ETE) CECAP, operada pelo serviço municipal de água e esgoto (SEMAE). O clima da região é caracterizado como Cwa pela classificação climática de Köppen, ou seja, sub-tropical úmido com

estiagem no inverno, com a temperatura média, do mês mais quente, superior a 22°C e a do mês mais frio inferior a 18°C, a precipitação média é de 1.253 mm ano⁻¹.

A estação de tratamento de esgotos utiliza um sistema do tipo australiano com lagoas de estabilização, produzindo em média de 14,3 L s⁻¹ de esgoto tratado que são lançados em um córrego próximo.

A área experimental possui 300 m de comprimento, ao longo da curva de nível do terreno, por 40 m de largura, no sentido da maior declividade e o solo predominante é classificado como ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Eutrófico típico. A variedade de cana cultivada é a SP – 903414, plantada em setembro de 2006, tendo sido a primeira colheita realizada em agosto de 2007.

As características agrônômicas da variedade SP 90-3414 destacam-se por apresentar porte ereto, por não florescer, isoporizar pouco e pela sua alta produção, sendo recomendada para colheita do meio para o final da safra, nos ambientes de alto potencial de produção, respondendo positivamente à melhoria deles. Apresenta teor de sacarose e de fibra médios. Com relação às doenças e pragas, mostrou-se suscetível à escaldadura e intermediária ao carvão e broca (Sociana, 2010).

3.2 Delineamento e condução do experimento

O efluente vem sendo bombeado e filtrado, para a distribuição no campo através de linhas de gotejadores enterrados a 15 cm de profundidade dispostos ao lado das linhas de plantio. A linha no lado da menor cota do terreno não é irrigada, para minimizar a interferência entre parcelas. Para o manejo da irrigação é medida a evaporação do tanque Classe A, instalado em área próxima à área experimental. As leituras são realizadas três vezes por semana, para estimativa da evapotranspiração da cultura (ET_c), utilizando os coeficientes de cultura (K_c) proposto por Doorenbos e Pruitt (1977) que leva em consideração os diferentes estádios de desenvolvimento.

Após a primeira colheita da cana-planta, iniciou-se a aplicação dos tratamentos experimentais, com a irrigação com o esgoto tratado proveniente da estação de tratamento de esgoto. Para tanto, o canal foi dividido em 40 parcelas de 30 por 10 m. Cada parcela possui seis linhas de plantio em nível, espaçadas 1,4 m entre elas. Considerou-se como bordadura a linha de plantio do lado da maior cota do terreno, duas linhas do lado oposto e ainda os 5 metros iniciais e finais das linhas na parcela, restando três linhas centrais de 20 m, com área útil de 84 m².

Diante dos objetivos propostos neste projeto, quatro tratamentos foram contemplados, como segue: (1) T50 = irrigação com esgoto tratado (ET), 50% da evapotranspiração máxima da cultura; (2) T100 = irrigação com ET, 100% da evapotranspiração máxima da cultura; (3) T200 =

irrigação com ET, 200% da evapotranspiração máxima da cultura; (4) SI = sem irrigação (cultivo convencional).

A distribuição do sistema de irrigação impõe restrições à aleatorização das parcelas, por isso o delineamento experimental empregado foi o de blocos completos com parcelas subdivididas no tempo e cada tratamento é replicado quatro vezes.

3.3 Periodicidade de coletas

A caracterização do esgoto tratado foi realizada mensalmente para uma caracterização precisa dos aportes de C e N.

As coletas de liteira foram realizadas a cada 60 dias, adaptado a partir do protocolo descrito por Rezende et al. (1999), a partir de fevereiro de 2009, pelo período de um ano para a caracterização do depósito de resíduos vegetais pela cultura e incorporação de fração leve de matéria orgânica no solo.

A produção da cultura foi obtida na colheita de agosto de 2009.

3.4 Caracterização do aporte de C e N pelo esgoto tratado

As lâminas de esgoto tratado foram registradas diariamente para os cálculos de carga de C e N aplicados em cada tratamento.

As amostras de esgoto tratado foram preservadas e preparadas conforme o padrão internacional (EATON et al., 1995), com algumas adaptações, descritas abaixo.

No campo foram coletados volumes de 500 mL de esgoto tratado. As amostras foram condicionadas em caixas térmicas com gelo e conduzidas para o laboratório. Leituras de pH e condutividade elétrica (CE) foram realizadas e uma alíquota de 150 mL foi retirada de cada amostra para as filtrações. A alíquota restante foi congelada.

Na primeira filtração (150 mL) foi utilizado o filtro de fibra de vidro GF/F (0,45µm de diâmetro de poro), pré-pesado, objetivando reter o material particulado para determinação de carbono particulado total (CPT), nitrogênio particulado total (NPT) e quantificação dos sólidos suspensos totais (SST). Do filtrado foi retirada uma alíquota de 40 mL, condicionada em frasco de cintilação e tampa com septo de teflon para a determinação da concentração de carbono orgânico dissolvido (COD). Essa alíquota foi preservada com 0,2 mL de HgCl₂ 50 µM.

O restante do filtrado foi novamente filtrado em filtro de acetato de celulose (0,22 µm de diâmetro de poro) e a quantidade de amostra resultante foi separada em duas alíquotas: 30 mL, preservada com Tymol, em frasco de polipropileno para determinação de carbono inorgânico dissolvido (CID) e 40 mL, preservado com 20 µL de PMA (fenil acetato de mercúrio - 0,5 mg L⁻¹), em frasco de polietileno para a determinação de NH₄⁺.

Os filtros de fibra de vidro GF/F foram secos em estufa à 55-60°C por 48 horas e pesados novamente. Parte do material particulado foi acondicionado em cápsulas de estanho para posterior análise do CPT em um analisador elementar (Carlo Erba, modelo EA 1110) acoplado a um espectrômetro de massa Finigan Delta Plus para determinação da composição elementar de carbono (%C) e nitrogênio (%N) e a composição isotópica do C ($\delta^{13}\text{C}$) e do N ($\delta^{15}\text{N}$).

Para detecção da concentração do COD e do CID foi utilizado um analisador de carbono Shimadzu TOC-5000A.

Das alíquotas separadas para a determinação de CID foi retirada uma pequena fração que, após filtração em resina Octadecyl 18 (C_{18}), foi acondicionada em frascos de polipropileno de 600 μL para as análises das formas de NO_2^- e NO_3^- em Cromatografia líquida de alto desempenho (HPLC) em equipamento Dionex DX-500.

As concentrações de N-NH_4^+ foram determinadas usando um sistema automático de injeção de fluxo contínuo (FIA - *Flow Injection Analysis*) (RUZICKA; HANSEN, 1981) acoplado a um condutivímetro.

3.5 Liteira – acúmulo e deposição total

O procedimento de coleta utilizado foi baseado na técnica descrita por Bruce e Eberstohn (1982) e Rezende et al. (1999), desenvolvida para áreas pastejadas e que foram adaptadas para o cultivo de cana-de-açúcar.

Em cada parcela da área demarcou-se um quadrante de 0,35 m^2 (0,5 x 0,7 cm). Desta forma foi amostrada toda a liteira correspondente a metade da entrelinha, uma vez que a distância entre as linhas de plantio da cana-de-açúcar é de 1,4 m, o que possibilitou uma amostragem padronizada, obtendo valores mais representativos dos tratamentos estudados (CAMPOS, 2003).

A liteira existente no quadrante foi retirada da superfície do solo, seca em estufa a 55-60 °C, batida em peneira de 2 mm para remoção do solo aderido e, então, pesada em balança de precisão. A partir da soma da liteira depositada foi calculada a deposição total anual de liteira sobre o solo.

3.6 Exportação de C e N na produção vegetal

Durante a colheita da área experimental, foram coletados dez colmos dentro da área útil de cada parcela, formando uma amostra composta. Os colmos foram pesados para então calcular a produtividade.

3.7 Análises estatísticas

A análise estatística dos resultados obtidos está sendo realizada de acordo com o delineamento de blocos completos com parcelas subdivididas no tempo. Estão sendo realizadas análises de variância, e, caso constatadas diferenças significativas ($P < 0,05$), comparações de médias entre tratamentos e análise de regressão quando for adequado, utilizando o programa estatístico SAS - System for Windows 8.2 (SAS INSTITUTE, 1999).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Precipitação, irrigação acumulada e aportes de C e N do esgoto tratado

No período de julho de 2008 a julho de 2009, a precipitação acumulada foi de 1088 mm, com os maiores volumes observados entre os meses de Dezembro e Fevereiro (Figura 1). A irrigação para o tratamento 100% ETc foi de 461,6 mm; tendo sido aplicados até 1194,87 mm de EETE no tratamento com a maior lâmina (Figura 1). Neste ano, a irrigação foi prejudicada pela manutenção da estação de tratamento de esgoto nos meses de fevereiro e março. A irrigação foi suspensa 45 dias antes da data prevista para colheita, para a maturação dos colmos e prevenção de potenciais problemas de compactação do solo, em decorrência da entrada de caminhões para a retirada da cana colhida.

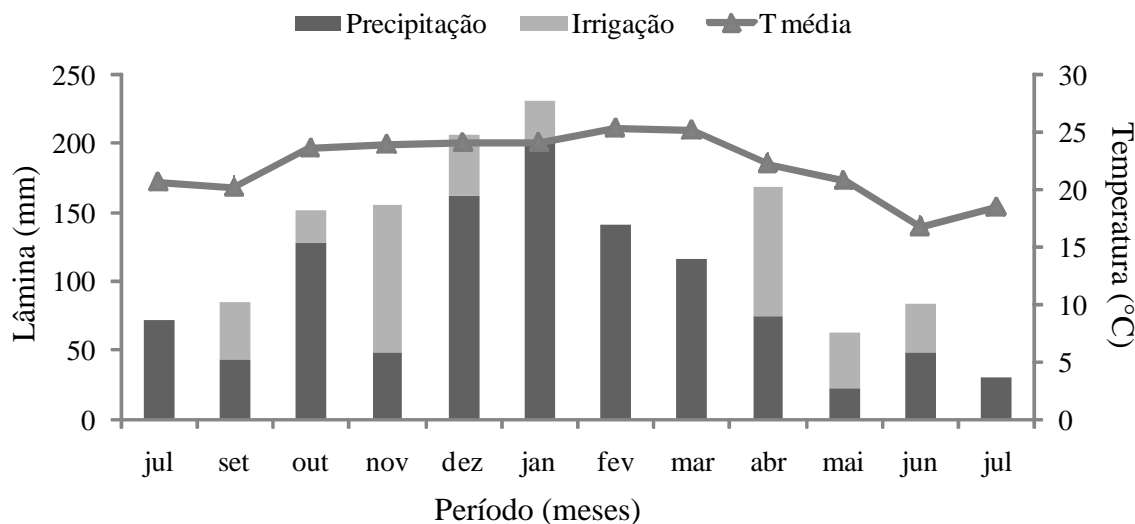


Figura 1. Precipitação (precip) e lâmina de irrigação com efluente de esgoto tratado (100% ETc) aplicadas na cultura de cana de açúcar (2ª soca), no período de julho de 2008 a julho de 2009, em Piracicaba, SP.

A Tabela 1 apresenta as concentrações médias de SST no esgoto tratado, as frações de C e N, bem como a composição isotópica do C ($\delta^{13}\text{C}$) e do N ($\delta^{15}\text{N}$) contidos nos SST. A entrada de C

e N via efluente, considerando-se as somas das frações, variou de aproximadamente 56 kg C ha⁻¹ e 8 kg N ha⁻¹ para a lâmina de 50% ETc e, 226 kg ha⁻¹ e 32 kg ha⁻¹ para a lâmina de 200% ETc.

Tabela 1 - Concentrações de SST no esgoto tratado, frações de C e frações de N contido nos SST e, aportes de C e N no solo via efluente (média de 6 amostragens)

Variáveis	ET (mg L ⁻¹)	Tratamentos (% ETc), em kg ha ⁻¹		
		50	100	200
SST ⁽¹⁾	251 ± 26,80	51,85 ± 4,79	103,71 ± 5,51	207,42 ± 20,06
Carbono				
CPT ⁽²⁾	13,68 ± 5,34	2,82 ± 0,26	5,65 ± 0,30	11,31 ± 1,09
CID ⁽³⁾	234,81 ± 89,68	48,51 ± 4,48	97,02 ± 5,16	194,04 ± 18,76
COD ⁽⁴⁾	25,62 ± 12,86	5,29 ± 0,49	10,58 ± 0,56	21,15 ± 2,05
Nitrogênio				
NPT ⁽⁶⁾	2,51 ± 1,01	0,52 ± 0,04	1,04 ± 0,06	2,07 ± 0,20
NH ₄ ⁽⁷⁾	36,14 ± 7,13	7,46 ± 0,69	14,91 ± 0,79	29,83 ± 2,89
NO ₂ + NO ₃ ⁽⁸⁾	0,33 ± 0,19	0,07 ± 0,01	0,13 ± 0,01	0,27 ± 0,02

⁽¹⁾Sólidos Suspensos Totais ⁽²⁾Carbono particulado total; ⁽³⁾Carbono inorgânico dissolvido; ⁽⁴⁾Carbono orgânico dissolvido; ⁽⁵⁾delta ¹³C; ⁽⁶⁾Nitrogênio particulado total; ⁽⁷⁾Amônio; ⁽⁸⁾Nitrito mais nitrato; ⁽⁹⁾Delta ¹⁵N

No Brasil, o uso de efluentes na agricultura como água de irrigação ainda não é regulamentado, sendo de importante contribuição para o conhecimento e regulamentação dessa prática, estudos como o realizado neste trabalho. De fato, o uso de efluentes de tratamento de esgotos na agricultura é uma atividade mundialmente praticada, em especial nos países em desenvolvimento, onde o custo de tratamento da água é elevado (Rattan et al., 2005; Masto et al., 2009).

De forma geral, os efluentes de tratamento de esgoto são ricos em matéria orgânica e também contém quantidades consideráveis de outros nutrientes dissolvidos, sendo esperado o aumento dos teores de nutrientes nos solos irrigados com efluente (Cho and Kim, 2000; Xie et al., 2007). Masto et al. (2009) observou que a irrigação com efluente promoveu melhoras na estrutura de um solo arenoso e aumentou seu teor de carbono e a agregação, enquanto reduziu a densidade do solo.

Alguns estudos indicam que a irrigação com efluente pode aumentar o teor de metais pesados como Cu, Zn, Hg, Fe, Cd e Mn (Rothenberg et al., 2007; Fu et al., 2008), entretanto, este efeito está diretamente relacionado com a composição do efluente, sendo mais comum a presença desses metais em efluentes de áreas industriais.

4.3 Palhada depositada e acumulada sobre o solo

A palhada depositada ao longo dos 12 meses de crescimento da cana de açúcar foi influenciada pela irrigação com efluente, no início e no final do ciclo da cultura (Figura 2). No início do ciclo da cultura, em Novembro, a área irrigada com 200% da ETc apresentou um aumento de mais de 3 vezes (em torno de $2 \pm 1,1 \text{ Mg ha}^{-1}$) em relação a área não irrigada ($0,42 \pm 0,1 \text{ Mg ha}^{-1}$). Próximo da período de colheita da cana, no mês de Junho, o aumento na maior lâmina de irrigação foi da ordem de cerca de 70%, comparada a área não irrigada. Ao longo do ciclo é possível observar uma tendência de manutenção da deposição de palhada na área de cana não irrigada, em torno de $0,5 \text{ Mg ha}^{-1}$, enquanto que as áreas irrigadas mostram um potencial aumento de deposição de liteira, em função do aumento da lâmina de irrigação, exceto para a avaliação de Fevereiro de 2009.

Para a palhada acumulada ao longo do cultivo da cana (2ª soca), no período de 12 meses, também foi constatada a tendência de aumento da deposição de palhada com o aumento da lâmina de irrigação, com aumento significativo na área irrigada com lâmina de 100% da ETc, em comparação ao tratamento sem irrigação (0) e à lâmina de 50% da ETc (Figura 3). A lâmina de 200% ETc promoveu a deposição de cerca de 50% a mais de palhada ($4,8 \pm 2,7 \text{ Mg ha}^{-1}$), comparada com a área de cana sem irrigação ($2,0 \pm 0,4 \text{ Mg ha}^{-1}$).

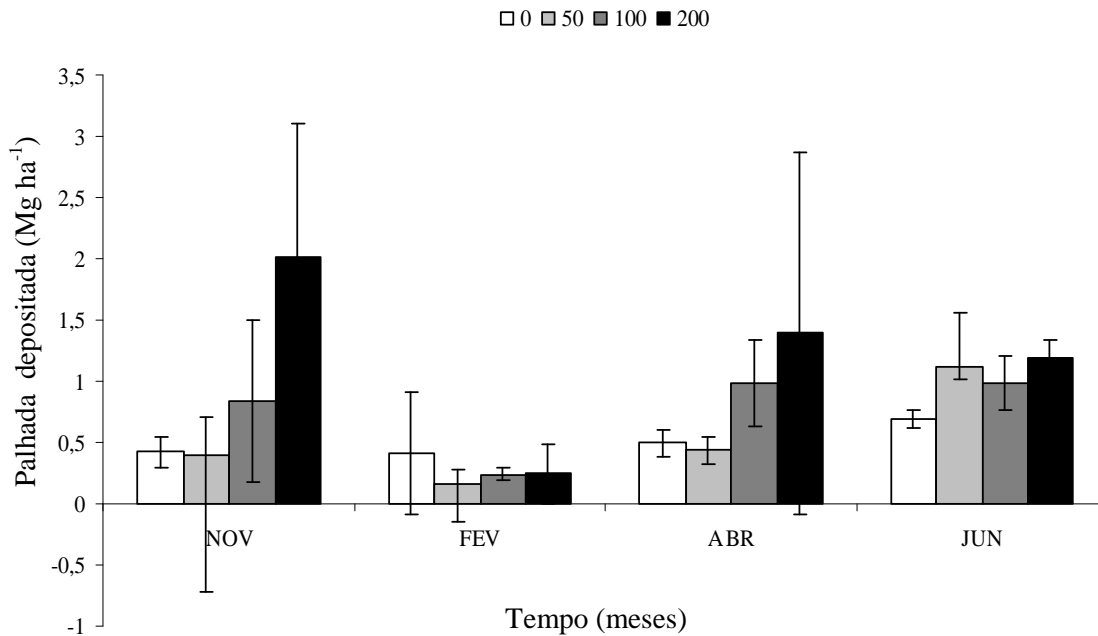


Figura 2. Palhada depositada sobre o solo cultivado com cana de açúcar (2^a soca) sem irrigação (0) e irrigada com lâminas crescentes de efluente de esgoto tratado (50, 100 e 200% da ETc), no período de Agosto de 2008 a Agosto de 2009, em Piracicaba, SP.

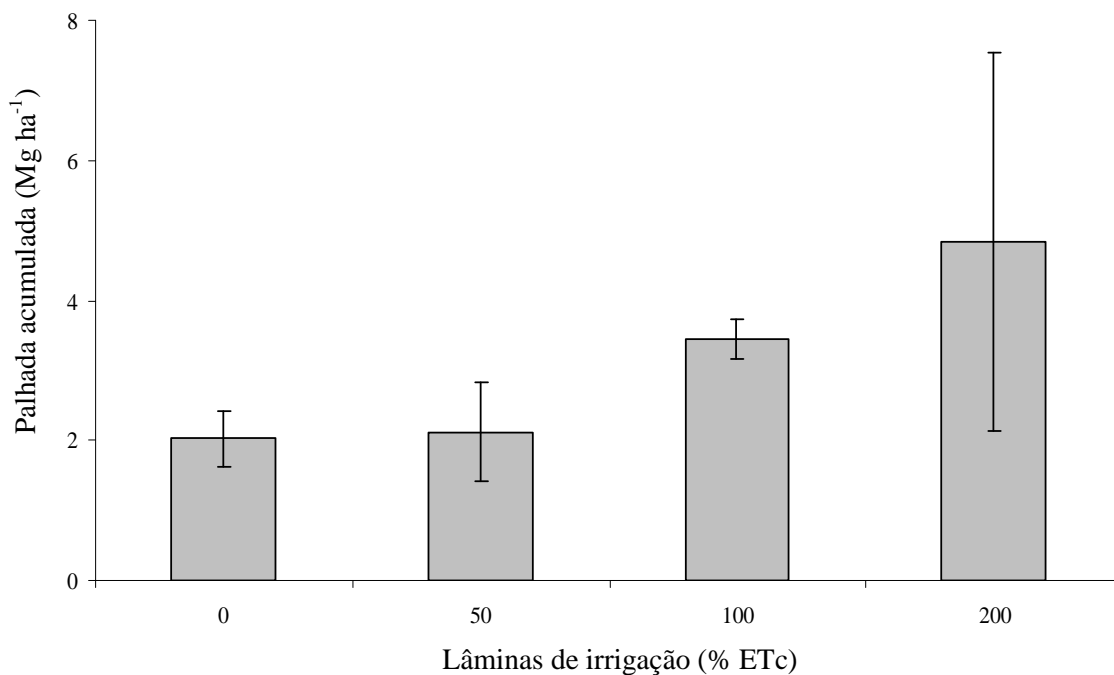


Figura 3. Palhada acumulada sobre o solo cultivado com cana de açúcar (2^a soca) sem irrigação (0) e irrigada com lâminas crescentes de efluente de esgoto tratado (50, 100 e 200% da ETc), em 12 meses de cultivo, em Piracicaba, SP.

O cultivo da cana de açúcar sem queima promove inúmeros benefícios para o solo e para a produtividade da cultura, destacando-se o aumento da matéria orgânica do solo (Vallis et al. 1996; XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos

Graham and Haynes 2005) e aumento na produtividade da cultura (Wood, 1991). O incremento na palhada acumulada resultante da irrigação com efluente tende a favorecer a ciclagem de N no sistema, conforme observado por Basanta et al. (2003), que verificaram que a permanência da palhada da cana sobre o solo como cobertura morta resultava na reciclagem de 105 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ em média, o que conseqüentemente, conduziria a um aproveitamento mais eficiente do nitrogênio do fertilizante aplicado no sistema e, portanto, uma redução na necessidade de fertilizante.

4.4 Exportação de C e N através da produção vegetal

A exportação de C e N foi avaliada analisando-se os conteúdos de C e N na folha e no bagaço da cana colhida em agosto de 2009, conforme apresentado na Figura 5. Apesar do aumento de apenas 5% no conteúdo de C, a irrigação com efluente de esgoto com lâminas de até 200% da ETc promoveu variação significativa em relação ao tratamento não irrigado. Nos conteúdos de N, o aumento significativo de cerca de 80% foi verificado nas folhas de cana irrigada com 100% de ETc, em comparação ao tratamento não irrigado (Figuras 5a e 5b). Na avaliação dos conteúdos de C e N no bagaço da cana, foi possível observar um aumento significativo nos conteúdos de N, nas lâminas de 100 e 200% da ETc (Figura 5d).

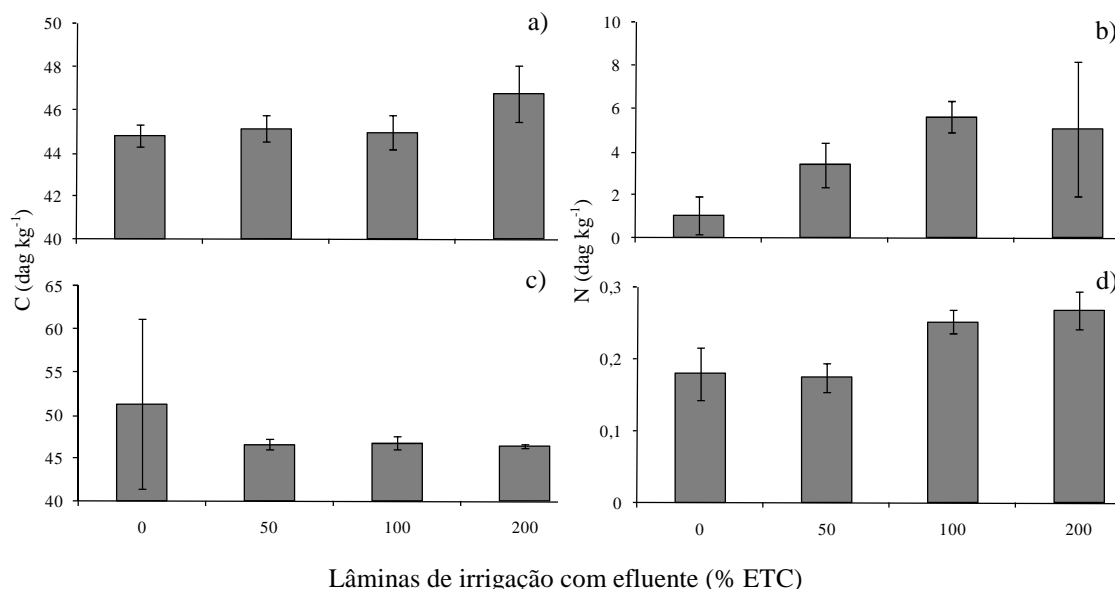


Figura 5. Conteúdos de C e N na folha (a e b) e no bagaço (c e d) de plantas de cana-de-açúcar cultivadas sem queima (3° corte) sem irrigação (0) e irrigada com lâminas crescente de efluente de esgoto tratado (50, 100 e 200%), no município de Piracicaba, SP.

A produção da cana foi estimulada pela irrigação com efluente (Tabela 2). A lâmina adequada para a cultura (100% ETc) diferiu significativamente dos demais tratamentos, XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos

apresentando uma produtividade 26% maior que o tratamento com o dobro da lâmina de irrigação (200% ETc) e, 38% maior que o tratamento sem irrigação.

Tabela 2. Produtividade da cana-de-açúcar sem queima (3º corte) cultivada sem irrigação (0) e irrigada com lâminas crescente de efluente de esgoto tratado (50, 100 e 200%), no município de Piracicaba, SP.

Lâmina de irrigação com efluente (% ETc)	Produtividade (Mg ha ⁻¹)
0	85,09 ± 4,42
50	75,54 ± 5,10
100	136,48 ± 9,26
200	100,86 ± 2,87

A produtividade média da cana foi estimada em 104,52 ± 9 Mg ha⁻¹. O aporte de nitrogênio na lâmina de 200 % ETc (em torno de 320 kg ha⁻¹) é muito superior à dose recomendada oficialmente para cultura (120 kg ha⁻¹) e não seria esperada resposta a esse N excessivo (Vitti et al., 2008), o que indica que a dose mais elevada não é recomendada, pois pode promover perdas de nitrogênio por lixiviação.

Leal et al. (2009) obtiveram produtividade bem superior à deste experimento, em um estudo semelhante, porém obtida no ciclo de cana-planta com 18 meses e outra variedade em Lins-SP. Nos ciclos subsequentes, não foram obtidas diferenças significativas entre os tratamentos irrigados e o não irrigado (comunicação pessoal). No experimento destes autores, a irrigação foi aplicada de acordo com a medida do potencial matricial do solo por tensiômetros. Este modelo de irrigação pode não ser o mais apropriado, visto que sob boa disponibilidade de água, a cana-de-açúcar parece ter consumo de hídrico bem superior à sua real necessidade (Wiedefeld, 1995).

De fato, no experimento de Leal et al. (2009), foram aplicados 2524 mm de irrigação, o que levou ao aporte de 742 kg ha⁻¹ de N no período de 15 meses irrigados. O cálculo da necessidade de irrigação pelo tanque Classe A parece ser mais sensata que a calculada pelos tensiômetros. Neste experimento, a irrigação baseada na ETc levou ao aporte médio de 163,48 kg ha⁻¹ de N, quantidade bem mais próxima da fertilização recomendada para a cultura no estado de São Paulo, e 76,8 kg ha⁻¹ superior à exportação de N pelos colmos, na produtividade obtida.

Na situação climática de Piracicaba, ocorre excedente hídrico no solo durante 6 meses do ano (Sentelhas et al. 1999), o que não exigiria lâmina excedente de irrigação para lavagem de sais, como em regiões semi-áridas para o uso de águas salinas. Estes resultados permitem considerar adequada a lâmina de 100% da Etc calculada com base no Kc de Doorenbos e Pruitt (1977), mas

com a sugestão de que sejam testadas doses de fertilizantes maiores que a utilizada neste experimento.

A irrigação com efluente mostrou-se uma prática viável para a cultura da cana-de-açúcar, possibilitando incremento significativo de produtividade, sendo recomendada a lâmina de 100% da ETc, contribuindo para o sequestro de carbono, tanto na forma de biomassa produzida, como na deposição de palhada no solo.

BIBLIOGRAFIA

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. (2002). A Evolução da gestão dos recursos hídricos no Brasil = The evolution of water resources management in Brazil. Brasília: Agência Nacional de Águas. 64p.
- BRUCE, R.C.; EBERSTOHN, J.P. (1982) Litter measurements in two grazed pastures in South East Queensland. *Tropical Grasslands*, v. 16, p. 180-185.
- CAMPOS, D.C. (2003). Potencialidade do sistema de colheita sem queima de cana-de-açúcar para o sequestro de carbono. 117p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- CHO, J.C., KIM, S.J., (2000). Increase in bacterial community diversity in subsurface aquifers receiving livestock wastewater input. *Appl. Environ. Microbiol.* 66, 956–965.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. (1977). Guidelines for predicting crop water requirements. Rome: FAO, 179p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 24).
- EATON, A.D.; CLESCERI, L. S.; GREENBERG, A.E. (1995) Standard methods for the examination of water and wastewater. Baltimore: United Book Press.
- FU, J.J., ZHOU, Q.F., LIU, J.M., LIU, W., WANG, T., ZHANG, Q.H., Jiang, G.B. (2008). High levels of heavy metals in rice (*Oryza sativa* L.) from a typical E-waste recycling area in southeast China and its potential risk to human health. *Chemosphere*, 71, 1269–1275.
- GRAHAM MH, HAYNES RJ (2005) Organic matter accumulation and fertilizer-induced acidification interact to affect soil microbial and enzyme activity on a long-term sugarcane management experiment. *Biol Fertil Soils* 41(4):249–256.
- IBGE. (2010). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola Municipal. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo2.asp?e=v&p=PA&z=T&o=11>>. Acesso em: 27/10/2010
- LEAL, R. M. P.; FIRME, L. P.; MONTES, C. R.; MELFI, A. J.; PIEDADE, S. M. de S. (2009). Soil exchangeable cations, sugarcane production and nutrient uptake after wastewater irrigation. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v 66, n 2, p 242-249,
- MASTO, R., CHHONKAR, P., SINGH, D., PATRA, A., (2009). Changes in soil quality indicators under long-term sewage irrigation in a sub-tropical environment. *Environ. Geol.* 56, 1237-1243.
- MATIOLI, C.S. (1998). Irrigação suplementar de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp): modelo de análise de decisão para o Estado de São Paulo. 122p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- RATTAN, R.K., DATTA, S.P., CHHONKAR, P.K., SURIBABU, K., SINGH, A.K. (2005). Long-term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater: a case study. *Agric. Ecosyst. Environ.* 109, 310–322.

- REZENDE, C. de P.; CANTARUTTI, R.B.; BRAGA, J.M., et al. (1998). Litter deposition and disappearance in *Brachiaria* pasture in the Atlantic Forest region of the south of Bahia, Brazil. *Nutrient Cycling Agroecosystems.*, 54:99-112.
- ROTHENBERG, S.E., DU, X., ZHU, Y.G., JAY, J.A. (2007). The impact of sewage irrigation on the uptake of mercury in corn plants (*Zea mays*) from suburban Beijing. *Environ. Pollut.* 149, 246–251.
- RUZICKA, J.; HANSEN, E.H. (1981). *Flow injection analysis*. New York: Wiley Interscience, 1981. 395p.
- SAS INSTITUTE INC. (1999). *SAS/STAT – procedure guide for personal computers*, version 6.12 edition. Cary, NC: SAS Institute. 1028p.
- SENTELHAS, P.C.; PEREIRA, A.R.; MARIN, F.R.; ANGELOCCI, L.R.; ALFONSI, R.R.; CARAMORI, P.H.; SWART, S. (1999). *BHBRASIL - Balanços hídricos climatológicos de 500 localidades brasileiras*. ESALQ/USP, Piracicaba. CD-ROOM.
- SOCICANA. (2010). *Variedades de Cana - Características agrônômicas das variedades SP*. Disponível em: <http://www.coplana.com/gxpsites/hgxpp001.aspx?1,5,316,O,P,0,MNU;E;32;5;MNU;,>> Acesso em: 17 de maio de 2010.
- TELLES, D’A.D. (1999). Água na agricultura e pecuária. In: INSTITUTO DE ESTUDOS AVANÇADOS. *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. São Paulo: USP; ABC. p.39-64.
- VALLIS, I.; PARTON, W.J.; KEATING, B.A.; WOOD, A.W. (1996). Simulation of the effects of trash and N fertilizer management on soil organic matter levels and yields of sugarcane. *Soil Tillage Res* 38:115–132.
- VITTI, A.C. ; TRIVELIN, P.C.O. ; CANTARELLA, H. ; FRANCO, H.C.J. ; FARONI, C.E. ; OTTO, R. ; TRIVELIN, M.O. ; TOVAJAR, J.G. (2008). Mineralização da palhada e crescimento de raízes de cana-de-açúcar relacionados com a adubação nitrogenada de plantio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 2757-2762.
- WIEDENFELD, R. P. (1995). Effects of irrigation and n fertilizer application on sugarcane yield and quality. *Field Crops Research*, v 43, n 2-3, p 101-108.
- WOOD, A.W. (1991). Management of crop residues following green harvesting of sugarcane in north Queensland. *Soil Tillage Res.* 20:69–85.
- XIE, Y.X., XIONG, Z.Q., XING, G.X. (2007). Assessment of nitrogen pollutant sources in surface water of Taihu lake region. *Pedosphere*, 17 (2), 200–208.