

REUSO DE EFLUENTES NA AGRICULTURA

Profº Eduardo Luiz de Oliveira

Jaqueline Cardoso Ribeiro

Sumário

1 INTRODUÇÃO	3
2 VANTAGENS E NECESSIDADE DE REUSO	4
3 LEGISLAÇÃO	6
4 USOS AGRÍCOLAS	8
4.1 Tipo de efluente utilizado para aplicação agrícola.....	9
4.2 Exemplos de reuso de água na agricultura	11
4.2.1 Reuso de efluentes na fertirrigação da cana-de-açúcar em Lins-SP	13
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	20
6 BIBLIOGRAFIA	22

1 INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com a preservação dos recursos hídricos e com a conservação do meio ambiente tem conduzido à formulação de uma legislação mais rigorosa e eficiente, e novas técnicas para o tratamento e reutilização no intuito de proteger a quantidade e a qualidade desses recursos.

O Brasil dispõe de cerca 8% do total de água doce do planeta, porém desigualmente distribuídos no território nacional: enquanto a região Amazônica detém a maior parte da reserva hídrica do país (68%) para uma população de apenas 5% da população total brasileira, e em outras regiões ocorrem graves problemas de seca.

Em função da reduzida disponibilidade de água nas várias regiões do Brasil, associado aos problemas de qualidade da água, o uso e reuso de águas marginais (águas residuárias e salinas) tornam-se uma alternativa potencial de racionalização desse bem natural, inclusive na irrigação agrícola, que representa aproximadamente 70% do consumo hídrico no mundo. Assim, a técnica de reuso tende a ser um eficiente instrumento para a gestão dos recursos hídricos no Brasil.

No entanto, pouco se tem registrado sobre a utilização direta de efluentes, tratados ou não, o que não significa que ocorra de forma indiscriminada e sem controle. Um exemplo é no Nordeste, onde há utilização espontânea de esgotos, incluindo o plantio de milho, melancia, abóbora e capim para alimentação animal (Bastos *apud* Neto, 2003). Com isso vê-se que a utilização de esgotos sanitários no Brasil com certeza é prática corrente, haja vista que há quase inexistência de tratamento de esgoto no país. De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2008), dos quase 70% do esgoto coletado no país, apenas 25% são tratados.

O enorme *déficit* de tratamento de esgotos no País exigirá esforço planejado para a superação deste quadro de sérios danos ambientais e riscos à saúde. E, dada a enorme heterogeneidade da sociedade brasileira, haverá sempre situações em que, não somente caberão, mas serão necessárias tecnologias simples de baixo custo para condições excepcionalmente favoráveis para a

utilização de esgotos, tanto pela disponibilidade de áreas em sua grande extensão territorial como pelas condições climáticas adequadas (Bastos, 2003). As águas de qualidade inferior, tais como esgotos, particularmente os de origem doméstica, águas de drenagem agrícola e águas salobras, devem, sempre que possível, serem consideradas como fontes alternativas para usos menos restritivos. O uso de tecnologias apropriadas para o desenvolvimento dessas fontes, se constitui hoje, em conjunção com a melhoria da eficiência do uso e o controle da demanda, na estratégia básica para a solução do problema da falta universal de água (Hespanhol, 2013).

Deve-se ainda trabalhar socialmente a cultura de reuso de água que, apesar de ser uma prática inconsciente, utilizada há vários anos, sofre o preconceito de sua utilização por parte do público. Entretanto, experiências internacionais têm demonstrado tendência ao fortalecimento e expansão do reuso no Brasil, para fins diversos, especialmente para a irrigação de culturas industriais (café, milho, algodão, cana-de-açúcar, etc.), flores e plantas ornamentais.

2 VANTAGENS E NECESSIDADE DE REUSO

Várias são as vantagens de reuso de efluentes na agricultura e o reuso de águas residuárias pode ser uma solução para a falta de recursos hídricos para a produção de alimentos.

Existem várias discussões a respeito da disponibilidade de água no planeta, de acordo com estudos, o ciclo hidrológico sempre se repete e continuará se repetindo indefinidamente, isso significa que a quantidade de água disponível no planeta é a mesma e sempre será a mesma. Mas existem dois fatores que influenciam muito na falta de água no planeta:

O primeiro que pode ser levado em conta é a quantidade de água disponível no planeta, que é influenciado pelo crescimento populacional, que se tornou exponencial, existem muito mais pessoas no planeta do que havia há 50 anos, e com o avanço da ciência, estas pessoas estão vivendo por mais tempo também, e a tendência é que a quantidade de pessoas no mundo e a longevidade aumentem (Hespanhol, 2013).

Outro fator muito importante que influencia na quantidade de recursos hídricos disponíveis é o consumo de água *per capita*, com a Revolução Industrial, as coisas passaram a ser fabricadas em grande escala, até a própria agricultura mudou do sistema rudimentar de agricultura familiar para o agronegócio. De 1900 a 2000, o uso total da água no planeta aumentou dez vezes, de 500 km³/ano para aproximadamente 5.000 km³/ano (Tundisi, 2003).

O segundo fator é a qualidade dos recursos hídricos que temos disponíveis atualmente, a natureza é capaz de recuperar a degradação de seus recursos, inclusive aquelas geradas pelo homem, mas a demanda atual é tão grande e rápida que a natureza não consegue acompanhar o ritmo que nossa economia exige de seus recursos, um exemplo que pode ser dado é o rio Tietê em São Paulo, a natureza poderia recuperá-lo, se não houvesse mais nenhuma interferência do homem, porém isso levaria muito tempo, além desse tempo não ser respeitado o rio continua recebendo poluentes, o quê não permite sua recuperação através de processos naturais, tal como a autodepuração.

Além destes dois fatores existe o problema da distribuição geográfica dos recursos hídricos em relação a distribuição populacional e industrial, que nem sempre são coerentes (Lima, 2012). Mesmo tendo em vista todos estes agravantes do problema da escassez de recursos hídricos, é necessário levar-se em conta que a humanidade não pode voltar a viver como vivia antes da Revolução Industrial, isto seria um retrocesso, portanto, meios alternativos de utilização dos recursos hídricos são cada vez mais necessários e o reuso é uma alternativa que possui bastante potencial a ser explorada além de se mostrar extremamente viável.

Existem alguns fatores limitantes para alguns tipos de culturas, principalmente aquelas que são consumidas cruas ou que não passam por nenhum processo industrial, estas culturas não podem ser irrigadas com efluentes brutos, precisam ser efluentes que passaram por tratamentos rigorosos para assegurar a qualidade da água para que a saúde dos consumidores não seja comprometida.

Já outros tipos de cultura passam por processo industrial antes de ser alimento ou são utilizadas para a fabricação de combustível, um exemplo é a cana-de-

açúcar, boa parte dela é transformada em combustível. Entre as culturas mais produzidas no Brasil, a cana-de-açúcar ocupa o terceiro lugar em relação à área plantada, ficando atrás da soja e do milho. A área cultivada que será colhida e destinada à atividade sucroalcooleira na safra 2012/2013 está estimada em 8.567,2 mil ha, distribuídos pelo Brasil todo (CONAB, 2012).

Além da imensa quantidade de água que é utilizada na irrigação, que constitui aproximadamente 70% do consumo hídrico mundial e brasileiro, também podemos levar em conta a quantidade de fertilizante que será dispensada com o aproveitamento de águas residuárias na irrigação (Oliveira, 2012). A quantidade de fertilizante por área plantada no Brasil passou de 70 kg por hectare em 1992 para mais de 150 kg/ha em 2010. Durante o período, o uso de fertilizantes consumidos no país chegou a atingir um pico de 160 kg/ha em 2007 (IBGE, 2012). O reuso na agricultura também pode ser uma alternativa de fertilizante, tendo em vista que muitas águas residuárias possuem altas concentrações de NPK, entre estas podemos destacar os esgotos domésticos que são ricos em material orgânico (Oliveira, 2012).

3 LEGISLAÇÃO

Atualmente no Brasil não existe uma legislação que estabeleça a quem cabe o controle da qualidade da água de reúso. Em relação ao reúso agrícola, em que há a disposição do esgoto tratado no solo, existe a necessidade de uma avaliação por parte da Cetesb.

O CNRH (Conselho Nacional de Recursos Hídricos) lançou, em 2003, uma minuta de resolução, bastante similar à recomendação da Organização Mundial da Saúde, incentivando o reuso de águas de qualidade inferior e estabelecendo os padrões de qualidade dos efluentes para cada modalidade de reuso, o que representou um grande passo na legalização da técnica no país. Contudo, tal resolução não entrou em vigor e no ano de 2005 o órgão o lançou a Resolução nº 54, que incentiva a prática do reuso em diversas modalidades, mas não estabelece parâmetros específicos para seu emprego (Brasil, 2005).

Em 2010, o CNRH lançou a Resolução nº 121 (16/12/2010), que estabelece diretrizes e critérios para a prática de reuso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução nº 54 (Brasil, 2011).

Ainda no mesmo ano saiu a Decisão da Diretoria nº 388/2010/P, de 21 de dezembro de 2010, que aprova premissas e diretrizes para a aplicação de resíduos e efluentes em solo agrícola no Estado de São Paulo. De acordo com a premissa 1.3, "será dada prioridade para a normalização ou a atualização de normas existentes relativas ao uso de efluentes líquidos e de resíduos sólidos oriundos de indústrias alimentícias, de indústrias de bebidas, do setor sucroalcooleiro, do setor de curtumes e do setor de saneamento (estações de tratamento de esgotos urbanos, com predominância de efluentes domésticos)".

E ainda a premissa 1.5 que diz: "Deverão ser concluídas eventuais normas em elaboração, visando à aplicação de efluentes líquidos ou de resíduos sólidos, oriundos de outros setores produtivos, em solo agrícola". Isso mostra que estudos ainda estão em constante andamento para definir, principalmente, os parâmetros a serem atendidos para a aplicação (DOSP, 2010).

Em 18 de outubro de 2005, a Cetesb apresentou, no Seminário de Utilização Agrícola de Efluente de Lagoa de Estabilização em Lins, a Instrução Técnica nº 31 (Irrigação com água de reúso proveniente de esgoto sanitário tratado). Esta IT estabelece exigências técnicas para o reuso de água proveniente de uma ETE para fins de aplicação agrícola, fornece orientações quanto à área que poderá ser aplicada, ao uso pretendido, aos parâmetros dos efluentes e ao projeto como um todo, mas não tem previsão de ser revista e publicada. A Cetesb se manifesta por meio de avaliação de projeto de aplicação e planos de monitoramento do solo e da água subterrânea. Não há previsão da versão final desta Instrução, de acordo com a Cetesb (AESABESP, 2006).

Existe ainda a Norma Técnica P4-002: Efluentes e lodos fluidos de indústrias cítricas - Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola, de maio de 2010 (São Paulo, 2010). E a Norma Técnica P4.203: Aplicação de lodos sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas - critérios para projeto e operação: manual técnico, de agosto de 1999 (São Paulo, 1999). Ambas disponíveis no guia de Normas Técnicas Vigentes do site da Cetesb.

Do ponto de vista do Centro de Vigilância Sanitária, a água de reúso é algo novo. A Vigilância, por sua vez, também não atua no controle direto disso. É preciso avançar para estabelecer normas, haja vista que temos hoje apenas resoluções genéricas.

Não somente no Brasil, mas em muitos países, a legislação sobre o reúso é inexistente, muito branda ou muito restritiva. Faltam estudos que evidenciem quais as taxas seguras de aplicação para cada cultura e quais os reais danos cada contaminante podem ocasionar ao sistema solo-água-planta.

Enquanto a legislação brasileira é deficiente, utiliza-se muito os critérios adotados pela USEPA (*United State Environment Protection Agency*), e pela OMS (Organização Mundial da Saúde) que junto com a UNEP (*United Nations Environment Programme*) lançou a IV edição da “Guia de Uso de Águas Residuárias”, no caso desta edição, uso na agricultura.

4 USOS AGRÍCOLAS

A agricultura depende, atualmente, de suprimento de água a um nível tal que a sustentabilidade da produção de alimentos não poderá ser mantida, sem o desenvolvimento de novas fontes de suprimento e a gestão adequada dos recursos hídricos convencionais. Esta condição crítica é fundamentada no fato de que o aumento da produção, não pode mais ser efetuado através da simples expansão de terra cultivada. Com poucas exceções, tais como áreas significativas do nordeste brasileiro, que vem sendo recuperadas para uso agrícola, a terra arável, a nível mundial, se aproxima muito rapidamente de seus limites de expansão (Hespanhol, 2013).

A Índia já explorou praticamente 100 % de seus recursos de solo arável, enquanto que Bangladesh dispõe de apenas 3% para expansão lateral. O Paquistão, as Filipinas e a Tailândia, ainda têm um potencial de expansão de aproximadamente 20%. A taxa global de expansão de terra arável diminuiu de 0,4% durante a década 1970-1979 para 0,2%, durante o período 1980-1987. Nos países em vias de desenvolvimento e em estágio de industrialização

acelerada, a taxa de crescimento também caiu de 0,7% para 0,4% (Hespanhol, 2013).

Durante as duas últimas décadas, o uso de esgotos para irrigação de culturas aumentou, significativamente, devido aos seguintes fatores:

- dificuldade crescente de identificar fontes alternativas de águas para irrigação;
- custo elevado de fertilizantes;
- a segurança de que os riscos de saúde pública e impactos sobre o solo são mínimos, se as precauções adequadas são efetivamente tomadas;
- os custos elevados dos sistemas de tratamento, necessários para descarga de efluentes em corpos receptores;
- a aceitação sócio-cultural da prática do reuso agrícola, e reconhecimento, pelos órgãos gestores de recursos hídricos, do valor intrínseco da prática.

Estima-se que, na região do Alto Tietê, a jusante do Reservatório de Ponte Nova, até as imediações de Guarulhos, poder-se-ia, com o atendimento da demanda agrícola através dos esgotos coletados dos municípios da região, dispor de aproximadamente 3 metros cúbicos por segundo adicionais, de água de boa qualidade, para abastecimento público (Hespanhol, 2009).

A aplicação de esgotos no solo é uma forma efetiva de controle da poluição dos mananciais e atenuaria um problema que vem ocorrendo na maioria das águas fluviais, a eutrofização, um fenômeno que pode ser observado nas bacias que possuem atividades antrópicas intensas ao seu redor, ou seja, agricultura, pecuária, indústrias que fazem o despejo de seus efluentes em rios, ETEs, etc. Os maiores benefícios dessa forma de reuso, são os associados aos aspectos econômicos, ambientais e de saúde pública.

4.1 Tipo de efluente utilizado para aplicação agrícola

O efluente considerado mais adequado para a aplicação na agricultura é o esgoto doméstico, principalmente os esgotos tratados, devido à sua composição e valores nutricionais. Devido à sua composição química, efluentes industriais geralmente são incompatíveis para o reuso agrícola, porque podem apresentar substâncias tóxicas para o homem e animais (Oliveira, 2012).

Apesar dos esgotos domésticos serem bastante heterogêneos, pois estes variam de acordo com o uso das águas de abastecimento, clima, hábitos e condições sócioeconômicas da população, presença de efluentes industriais, etc. De um modo geral, a maior parcela dos esgotos domésticos é constituída por esgotos sanitários provenientes dos banheiros e cozinhas das residências ou estabelecimentos comerciais (Oliveira, 2012).

Os esgotos domésticos são basicamente constituídos de matéria orgânica e mineral e sua fase predominante é a líquida, o que o torna o efluente ideal para uso agrícola levando em consideração o que as plantas necessitam para o seu desenvolvimento. Porém tem-se que tomar alguns cuidados, em especial devido à alta presença de organismos patogênicos no esgoto doméstico, os ovos de helmintos, também são cuidados que devem ser tomados durante a prática do reuso de água, pois estes podem provocar danos e são bastante resistentes a certos tipos de tratamento de efluentes.

A seleção de culturas visa à proteção dos consumidores, principalmente na irrigação restrita e irrigação irrestrita. A primeira refere-se à restrição de cultivo (somente de culturas submetidas à cocção prévia ao consumo, ao processamento industrial, cereais, etc.), inversamente, a irrigação irrestrita refere-se à irrigação de toda e qualquer cultura, inclusive de culturas alimentícias consumidas cruas, o que exige água de melhor qualidade.

A seleção do método de irrigação visa à proteção dos agricultores e consumidores, uma vez que os diferentes métodos (inundação, sulcos, aspersão, gotejamento e irrigação superficial), potencializam ou minimizam o contato entre as águas residuárias, as plantas, os agricultores e mesmo o público circunvizinho.

Poluentes químicos devem ser consideradas de maneira diferente dos contaminantes microbiológicos, principalmente pelo fato de que são incorporados aos tecidos das plantas através da adsorção pelas raízes, não podendo ser, efetivamente removidos, seja por lavagem superficial ou por cozimento, portanto é imprescindível que esgotos tratados sejam utilizados, ao invés de efluentes brutos na aplicação no solo.

4.2 Exemplos de reuso de água na agricultura

Em alguns países onde a água não é um recurso abundante, o reuso de água não é um conceito novo e tem sido praticado há muitos anos. Existem relatos da prática de reuso na Grécia Antiga, com a disposição de esgotos e sua utilização na irrigação. A Califórnia e a Flórida ocupam destaque entre os estados que possuem critérios específicos para o reuso potável indireto planejado. (CGER, 1998).

A Califórnia tem antigos requisitos gerais para o reuso potável indireto, datado de 1978, por meio da recarga de aquíferos, os quais estão sendo atualizados para garantir que um aquífero que recebeu água de reuso atenda ao padrão de potabilidade e não exija tratamento posterior antes do consumo.

A Flórida exige que os distritos de gerenciamento das águas do Estado identifiquem quais áreas têm ou terão abastecimento problemático nos próximos 20 anos, devendo elaborar estudos de viabilidade para as ETE's localizadas nestas áreas, prevendo o reuso de seus efluentes ou demonstrando que isto é inviável por razões econômicas, ambientais ou técnicas. Sendo julgado viável, a descarga do efluente tratado nas águas superficiais ou em injeções de poços profundos deve-se limitar à água de reposição necessária para os sistemas de reuso.

Uma das reaplicações de água com retorno expressivo está na utilização das águas utilizadas no meio urbano para um segundo uso na agricultura. Apesar dessas águas serem consideradas “poluídas”, elas contêm nutrientes que beneficiam o solo. Em geral, o setor agrícola dispense muitos recursos em fertilizantes químicos para compensar as necessidades das culturas em nitrogênio, fósforo e potássio, que estão contidos em grandes quantidades nas águas de origem urbana ou doméstica. Estudos realizados na Califórnia, Israel e Portugal têm demonstrado que diversas culturas irrigadas com águas de esgoto urbano requerem pouca ou nenhuma complementação adicional de fertilizantes químicos ou orgânicos (Bernardi *apud* Beekman, 2003).

Outro exemplo que pode ser citado foi em 1650 em Edinburgh, na Escócia, esta técnica de reuso foi posteriormente aplicada nos arredores de Londres, Manchester e outras cidades.

Na Austrália, essa técnica começou a ser aplicada em 1897, na Werribee Farm, em Melbourne, e atualmente, aproximadamente 10.000 hectares de terras agrícolas são irrigadas com águas de reuso, sendo o maior sistema em operação no mundo.

Nas últimas décadas, esta metodologia tem se consagrado como uma forma econômica de controle da poluição, e simultaneamente, como uma opção importante para contrapor a escassez de águas. Atualmente, aproximadamente 500.000 hectares de terras agrícolas, em cerca de 15 países, estão sendo irrigadas com águas reutilizadas. Entre estes, Israel detém um dos mais ambiciosos programas de reutilização de águas tratadas, sendo que 70% das águas do país são reutilizadas para a irrigação de 19.000 hectares (Bernardi *apud* Beekman, 2003).

Contudo a utilização de águas de reuso em países em desenvolvimento apresenta características sanitárias insatisfatórias, sendo, muitas vezes, aplicadas na forma “in natura” na agricultura. Águas de reuso de Santiago do Chile, que praticamente representam a vazão do rio Mapocho durante o período seco, irrigam cerca de 16.000 hectares de horticultura, destinados ao consumo dos mercados dos centros urbanos, o que resultou em febres tifóides em meados da década de oitenta. Por isso, o controle sanitário é um fator essencial de extrema relevância na utilização dessa técnica.

Tabela 1 - Principais exemplos de utilização de esgotos sanitários na agricultura.

País	Área irrigada (há)
Argentina	37.000
Alemanha	28.000
Austrália	10.000
África do Sul	1.800

Mestrado

Arábia Saudita	4.400
Bahrain	800
Chile	16.000
China	1.330.000
Estados Unidos	14.000
Índia	73.000
Israel	10.000
Kuwait	12.000
México	250.000
Peru	4.300
Sudão	2.800
Tunísia	7.300

Fonte: Bastos (2003)

O Brasil ainda precisa evoluir bastante na reutilização de efluentes na agricultura, em especial na parte de legislação, que é bastante abstrata e não dispõe de diretrizes especificamente detalhadas sobre o assunto, no entanto, existem estudos na área e é possível citar casos de sucesso.

Em Campina Grande, foi conduzido um estudo de reuso de efluente oriundo de lagoa de polimento e reator UASB na produção de pimentão, uma cultura que é consumida crua (Sousa, 2006).

Entre estes podemos citar a utilização do efluente do Sistema de Lagoas de Lins, Campus Experimental da USP que continua em andamento até o presente.

4.2.1 Reuso de efluentes na fertirrigação da cana-de-açúcar em Lins-SP

Os experimentos foram conduzidos na cidade de Lins interior de São Paulo, a cidade possui aproximadamente cerca de 71.000 habitantes (IBGE 2010), é o município mais importante da bacia hidrográfica do rio Dourado, afluente do rio Tietê, e encontra-se localizado na região centro-oeste do estado de São Paulo, a cerca de 440 quilômetros da capital. Em 1997, a SABESP – Companhia de

Saneamento Básico do Estado de São Paulo implantou uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) constituída por um conjunto de 03 lagoas anaeróbias e facultativas, operando em paralelo (sistema australiano). A figura 1 apresenta uma vista aérea do sistema de lagoas.



Figura 1 - Sistema Australiano do município de Lins.

O campo experimental está instalado ao lado da ETE e consiste em um projeto USP– SABESP que realiza a utilização do efluente de esgototratado da ETE de Lins para a irrigação de culturas, minimizando ou restringindo a necessidade de tratamento adicional para lançamento em corpos d'água nos períodos sem irrigação, oferecendo uma alternativa técnica e economicamente atrativa.

O campo de reuso possui uma área de 7.500 m², inclinada em direção ao eixo de uma drenagem, sendo o solo, de montante para jusante, caracterizado como um sistema Latossolo-Argissolo (Ibrahim, 2002).



Figura 2 - Área do campo experimentalde reuso próxima a ETE.

4.2.1.1 Técnicas de amostragem aplicadas

Desde 2001, foram avaliados os impactos químicos, físicos e biológicos causados ao sistema solo-planta-água pela irrigação de culturas com efluentes de estação de tratamentos de esgotos (ETE).

A qualidade do ETE é determinada através de análises laboratoriais periódicas, estas foram atualizadas de acordo com a necessidade de dados para a aplicação do efluente nas culturas.

Foram cultivadas em períodos diferentes as culturas de café, capim Tifton 85, girassol, milho e cana-de-açúcar que é o instrumento deste estudo de caso, foi plantada em maio de 2005, e a colheita ocorreu em todos os meses de setembro de 2006 a 2010, sendo a soca cultivada após cada colheita. A fertilização com NPK foi realizada a cada ano, e aproximadamente um mês após a colheita foi utilizada metade da dosagem de nitrogênio sugerido pelas recomendações técnicas para o Estado de São Paulo (Raij; Cantarella, 1996). Devido ao elevado teor de P encontrado no solo a fertilização com este nutriente não foi realizada no ano de 2008, voltando a ocorrer somente em 2009.

Cinco tratamentos foram conduzidos de maio de 2005 a outubro de 2008: sem irrigação (WI), 100% (T100), 125% (T125), 150% (T150) e 200% (T200) da necessidade hídrica da cultura (NHC). O manejo da irrigação foi realizado com base na umidade crítica do solo na camada de 0-0,6 m. A cada dois dias foram realizadas leituras nos tensímetros localizados no meio das camadas de 0-0,2; 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m dispostos no meio das parcelas irrigadas, a uma distância lateral de aproximadamente 0,2 m dos tubos gotejadores. O sistema de irrigação foi acionado sempre que o potencial matricial do solo era inferior a -40 kPa (água facilmente disponível) por um tempo calculado para elevar a umidade do solo para -10 kPa (umidade na capacidade de campo) no tratamento T100, e por um tempo 25,50 e 100% superior nos tratamentos T125, T150 e T200, respectivamente. O volume de EETE aplicado foi calculado a partir da curva característica de retenção de água no solo e a tensão de água nas três camadas acima mencionadas. Em novembro de 2008 os tratamentos T125 e T200 passaram a receber 100% e 150% da NHC, respectivamente. Assim, passaram a existir oito parcelas recebendo 100% da NHC e oito recebendo 150% da NHC. Quatro dessas oito parcelas em cada lâmina de irrigação receberam aplicação superficial de fosfogesso de forma aleatória, com dose suficiente para substituir todo o sódio trocável da camada de 0-0,6 m. Assim, os tratamentos tornaram-se: (i) sem irrigação (WI), (ii) irrigada com EETE com 100% de NHC (T100), (iii) irrigada com 100% da NHC mais fosfogesso (T100G), (iv) irrigada com 150% da NHC (T150) e (v) irrigada com 150% da NHC mais fosfogesso (T150G). Durante o período avaliado, houve concentração de chuvas do mês de setembro/outubro até abril de cada ano e a irrigação foi concentrada de maio até julho, sendo a irrigação cortada no mês de agosto com propósito de acelerar o amadurecimento da cana (Blum, 2011). Para a avaliação da qualidade do solo, após dois anos de aplicação do fosfogesso, amostras indeformadas de solo foram coletadas nas profundidades de 0-0,1 e 0,1-0,2 m (Blum, 2011). Amostras de solo deformadas foram coletadas nas profundidades de 0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,6; 0,6-0,8 e 0,8-1,0 m em quatro ocasiões: (i) antes do início da irrigação de efluentes, (ii) antes da aplicação do fosfogesso, (iii) um ano

após a aplicação do fosfogesso e (iv) dois anos após a aplicação de fosfogesso, nos anos de 2005, 2008, 2009 e 2010, respectivamente. As amostras foram coletadas com trado holandês com 0,1 m de comprimento e 0,03 m de largura, tomando-se 12 sub-amostras por parcela nas profundidades de 0-0,1 e 0,1-0,2 m e 6 sub-amostras nas profundidades de 0,2 até 1,0 m. As amostras de solo foram secas em estufa com ventilação forçada a 40 °C, moídas e peneiradas para passar através de uma malha 2 milímetros (Blum, 2011).

4.2.1.2 Parâmetros de qualidade de água e solo avaliados

Os parâmetros de solo avaliados foram: densidade (D), condutividade hidráulica saturada (K_{sat}), retenção de água do solo nos potenciais de água no solo de 0, -6, -10, -30 e -1500 kPa, pH, H+Al, Al, Ca, Mg, Na, K, P, S, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb e Zn.

E os parâmetros do EETE antes da sua aplicação em solo foram: Sólidos totais, DBO, DQO, CT, COD, NT, Alcalinidade como HCO_3^- , $N-NH_4^+$, $N-NO_3^-$, $N-NO_2^-$, N-total, $P-H_2PO_4^-$, $S-SO_4^{2-}$, Cl^- , F^- , Ca, Mg, K, Na, B, Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, pH, Relação DBO:DQO, Relação CT:NT, Relação molar Ca:Mg, CE em $dS\ m^{-1}$ e (SABESP, 2008).

4.2.1.3 Valores orientadores empregados na avaliação da qualidade da água e solo

Os parâmetros de qualidade de água foram avaliados levando em conta a Resolução 357/2005 do CONAMA, lembrando no caso do sistema de Lins, o lançamento do esgoto tratado é feito em água classe 4, de acordo com a legislação estadual e que, neste caso, apreocupação se resume ao atendimento aos padrões de emissão (CONAMA, 2005). Cada parâmetro foi comparado com a literatura pertinente, que será mais detalhado nos resultados.

4.2.1.4 Resultados e discussões

Pelos consideráveis teores de nutrientes, as águas residuárias apresentam um grande potencial como meio de suprimento de água para os cultivos agrícolas, além de fonte de fertilizante.

Em estudos realizados por Fonseca et al. (2007), os autores fizeram um levantamento da composição dos efluentes de esgotos tratados usados em estudos científicos no mundo e no Brasil. Segue, na tabela 2.

Tabela 2 – Características de efluentes de esgoto tratados usados em estudos científicos no mundo e no Brasil (Viçosa, MG; Lins, SP).

CONSTITUINTE	COMANA RES. 357/05	MUNDO	VIÇOSA	LINS
Sólidos Totais		400 - 1200	528,0	571,0 ± 52,5
DBO		10 - 80	-	77,8 ± 46,8
DQO		30 - 160	-	180,5 ± 91,7
Carbono Total		10 - 30	-	49,4 ± 8,0
Alcalinidade (HCO ₃)		200 – 700	-	301,4 ± 60,8
Nitrogênio Total		10 – 50	48,0 ± 32,3	31,9 ± 5,8
H ₂ PO ₄ ²⁻ - P		4,2 – 9,7	12,6 ± 10,5	4,3 ±
K		10 - 40	32,3 ± 6,6	16,6 ± 1,8
Ca		20 - 120	13,9 ± 4,6	8,1 ± 1,1
Mg		10 - 50	3,2 ± 0,9	1,9 ± 0,5
SO ₄ ²⁻ - S		62	-	4,9 ± 1,4
Na		50 - 250	43,2 ± 10,7	145,8 ± 31,3
B		< 1	-	0,17 ± 0,09
Cu		0,04	0,39 ± 0,42	< 0,01
Fe		0,33	5,18 ± 2,35	0,08 ± 0,06
Mn		0,20 – 0,70	0,12 ± 0,06	0,02 ± 0,01
Zn		0,04	0,08 ± 0,04	0,02 ± 0,01

Mestrado

pH	7,8 – 8,1	7,23 ± 0,27	7,51 ± 0,34
C. E. (dS m ⁻¹)	1,0 – 3,1	0,56 ± 0,03	0,86 ± 0,12
RAS (mmol L ⁻¹) ^{0,5}	4,5 – 7,9	3,03 ± 0,90	11,94 ± 2,91

Fonte: Oliveira, 2012

A produtividade média obtida para os diferentes tratamentos variou significativamente conforme figura 4. Nos tratamentos que receberam irrigação com EET a produtividade foi expressiva, diferindo consideravelmente da obtida no tratamento sem irrigação e sem adubação nitrogenada (TSI).

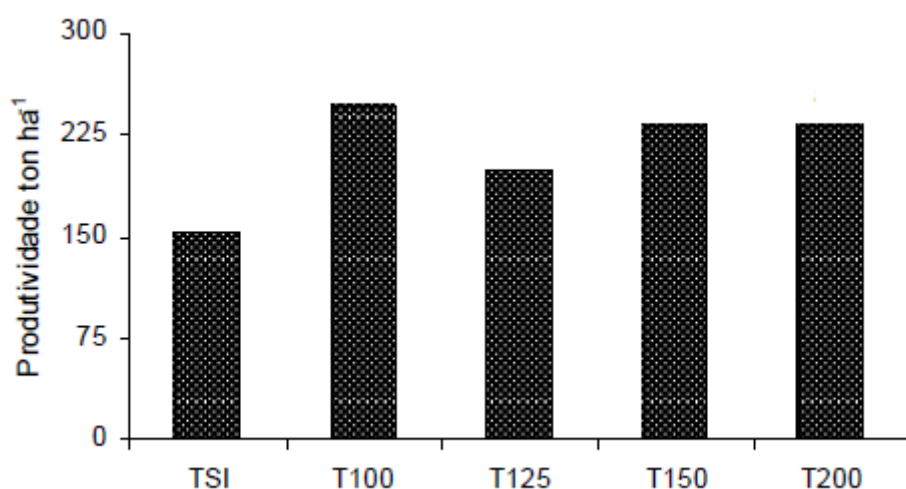


Figura 4 - Efeito dos diferentes tratamentos na produtividade da cana-de-açúcar.

As elevadas produtividades obtidas nos tratamentos com irrigação de efluente doméstico devem-se a associação positiva de diferentes práticas de manejo adotado: adubação mineral, baixa incidência de pragas, doenças e competição com plantas daninhas e irrigação.

A produtividade média brasileira na safra 05/06 de cana, com a variedade aqui empregada foi de aproximadamente 107,50 ton ha⁻¹ (AGRIANUAL 2006), sendo a produtividade muito inferior que a obtida neste estudo que o menor resultado foi de aproximadamente 150 ton ha⁻¹.

Os resultados obtidos das análises de solo foram comparados com a bibliografia existente sobre o assunto e foi feita uma comparação entre as parcelas de solo irrigado com EET e as não irrigadas.

A utilização de EET – efluente de esgoto tratado na irrigação de cana ocasionou incrementos consideráveis, sendo responsável pelo aumento na determinação de nutrientes como Ca e K, ocorrendo alterações representativas no solo como ocorridos no parâmetro de salinidade/sodicidade. Conforme a revista DAE, a principal limitação na aplicação de efluente é sem dúvida os altos teores de sódio que ocasiona a redução da permeabilidade do solo, mas atua diretamente para minimizar a acidez ativa e potencial embora este efeito seja mínimo não substituindo a calagem.

A produtividade da cana aumentou significativamente nos tratamentos onde a irrigação com o efluente foi realizado, principalmente devido ao aumento da umidade na cultura.

Os metais pesados não provocam problemas ambientais no uso de efluentes na agricultura, desde que o mesmo seja de origem de esgotos domésticos.

Os resultados obtidos nos tratamentos com o efluente, T150 e T200, foram poucos diferenciados em relação à produtividade.

As alterações de nutrição da cana foram pouco evidentes. O EET junto com o fosfogesso ocasionou ligeira amenização tanto na acidez ativa (pH) quanto potencial (H+Al), embora não substitua a calagem.

Em relação aos parâmetros indicadores como sodicidade/salinidade, sódio trocável (PST) e condutividade elétrica (CE) houve aumento significativo nas concentrações, relacionado aos altos teores de Na do efluente e baixas concentrações de Ca e Mg.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Do ponto de vista agrônomo e ambiental o esgoto tratado constitui em água residuária e pode substituir a água convencional utilizada pelos agricultores, trazendo benefícios econômicos e aumentando a qualidade de várias culturas, concluindo que irrigação com água de reuso é promissora desde que estabelecido um manejo adequado.

O Reuso de efluentes tratados é um recurso importante para implementar gerenciamento sustentável dos recursos hídricos, entretanto, devemos

considerar o uso mais eficiente da água e melhor gerenciamento do sistemas (metas de redução de perdas e de usos de mananciais) e a produção de água segura para os usos desejados. Ex: Preocupação com a presença de fungicidas e fármacos (antibióticos, hormônios, anestésicos, anti-inflamatórios), no esgoto doméstico em baixas concentrações, em águas superficiais e de subsolo.

Instrumentos necessários para desenvolver a prática de reuso:

- Incorporar as atividades de reuso na implementação dos instrumentos atuais dos sistemas de gerenciamento ambiental e de recursos hídricos como zoneamentos, monitoramento, plano, enquadramento, cobrança;
- Desenvolver normas-procedimentos para funcionamento (outorgas/licenças): melhores técnicas e melhores práticas + critérios e padrões ambientais e de uso da água;
- Aprofundar utilização de mecanismos econômicos: estudos, financiamento sobre custos de implantação, impactos da/na cobrança, incentivos. Ex: (Custos para o reuso – Custos do tratamento do esgoto bruto) x Custos para outras medidas ou para novos mananciais;
- Monitorar/divulgar aplicações e impactos ambientais e de saúde pública: bases para aperfeiçoar normas-procedimentos das práticas de reuso e bases para tomar medidas emergenciais e difundir a cultura do reuso.

6 BIBLIOGRAFIA

AGRIANUAL, F.L. Cana de açúcar: de gota em gota. In: FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. **Agrianual, 2006**: Anuário de Agricultura Brasileira, São Paulo, 2006. p. 227-248.

Associação dos Engenheiros da Sabesp - AESABESP (São Paulo). Reúso de água: uma necessidade para as próximas décadas. **Saneas**: ESPECIAL FENASAN/ENCONTRO TÉCNICO, São Paulo, v. 02, n. 23, p.3-9, ago. 2006. Quadrimestral.

BASTOS, R. K. X. **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura**. 253 p. Editora: Vida e Consciência. Minas Gerais, 2003.

BERNARDI, Cristina Costa. **REUSO DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO**. 2003. 52 f. Monografia (Mba) - Curso de Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada, Isea-fgv/ Ecobusiness School, Brasília - Df, 2003.

BLUM, Julius. **Aspectos agronômicos e ambientais da irrigação com efluente de estação de tratamento de esgoto e aplicação de fosfogesso em sistema de produção de cana de açúcar**. 2011. 107 f. Tese (Doutor) - Curso de Ciências, Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2011.

BRASIL. Ministério Do Meio Ambiente. Conselho Nacional De Recursos Hídricos. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Conjunto de normas legais: Recursos hídricos**. Brasília, 2011.

BRASIL. Ministério Do Meio Ambiente. Conselho Nacional De Recursos Hídricos. **Resolução nº 54**. DOU em 09/03/06. Disponível em:

<http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=37>. Acesso em: 28 set. 2013.

CGER - COMMISSION ON GEOSCIENCES, ENVIRONMENTAL AND RESOURCES. **Issues in potable reuse: The viability of augmenting drinking water supplies with reclaimed water.** [book online]. Overview of relevant federal guidelines and state regulations 1998. Disponível em: <<http://books.nap.edu/books/0309064163/html/31.html>>. Acesso em: 27 set. 2013.

Cia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Sabesp. REVISTA DAE, A ARSESP EM DISCUSSÃO: **Sociedade debate os desafios que terá a nova Agência Reguladora de Saneamento e Energia de São Paulo.** São Paulo. v. 177, maio 2008.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: Cana-de-açúcar.** Brasília, 2012.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 357**, publicada no Diário Oficial da União - DOU nº 053. 17 de mar. 2005.

DOSP - Diário Oficial do Estado de São Paulo de 24/12/2010, Caderno 1. **Decisão da Diretoria nº 388/2010/P.** p. 59. Disponível em: <<http://www.jusbrasil.com.br/diarios/23998364/dosp-executivo-caderno-1-24-12-2010-pg-59>>. Acesso em: 8 maio 2013.

FONSECA, A. F.; HERPIN, U.; PAULA, M. A.; VICTÓRIA, A. J.; MELFI, A. J. **Agricultural use of treated sewage effluents: agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil.** Scientia Agricola, Piracicaba, v.64, n.2, p.194-209, 2007.

HESPANHOL, I. **Água e saneamento básico - uma visão realista**. In: Águas doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação. Coordenação de Aldo Rebouças, Benedito Braga e José Galizia Tundisi. Editora Escrituras, 2009.

HESPANHOL, Ivanildo. **POTENCIAL DE REUSO DE ÁGUA NO BRASIL - AGRICULTURA, INDÚSTRIA, MUNICÍPIOS, RECARGA DE AQUÍFEROS**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/encuen/ivan.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2013.

IBRAHIM, L. **Caracterização física, química, mineralógica e morfológica de uma sequência de solos em Lins/SP**. 2002. 86p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Cidades. Estimativa da População**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat>. Acesso em: 23 maio 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável**. Brasil, 2012. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/recursos_naturais/indicadores_desenvolvimento_sustentavel/2012/ids2012.pdf>. Acesso em: 28 set 2013.

LIMA, Daniel Correia et al. REUSO DE ÁGUA PARA A IRRIGAÇÃO: UMA ABORDAGEM REFLEXIVA. In: COLÓQUIO SOCIEDADE, POLÍTICAS PÚBLICAS, CULTURA E DESENVOLVIMENTO, 2., 2012, Crato-ceará. **Gestão do território, políticas locais e desenvolvimento sustentável**. Crato-ceará: Universidade Regional do Cariri - Urca, 2012. p. 1 - 18.

OLIVEIRA, Eduardo Luiz de (Org.). **Manual de Utilização de Águas Residuárias em Irrigação**. 1ª Botucatu: Fepaf, 2012. 192 p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. Outras culturas industriais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1996. cap. 22, p. 233-243.

SÃO PAULO. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - Cetesb. **NORMA TÉCNICA P4-002**: Efluentes e lodos fluidos de indústrias cítricas - Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola. Maio de 2010. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/servicos/normas---cetesb/43-normas-tecnicas---cetesb>>. Acesso em: 28 set. 2013.

SÃO PAULO. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - Cetesb. **NORMA TÉCNICA P4.203**: Aplicação de lodos sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas - critérios para projeto e operação: manual técnico. Agosto de 1999. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/servicos/normas---cetesb/43-normas-tecnicas---cetesb>>. Acesso em: 28 set. 2013.

SOUSA, José T. de et al. **Reúso de água residuária na produção de pimentão (*Capsicum annuum* L.)**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.10, n.1, p.89–96, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v10n1/v10n1a14.pdf>>. Acesso em: 27 set. 2013.

TUNDISI, José Galizia. **Recursos Hídricos**. Instituto Internacional de Ecologia. São Carlos-SP, 2003. Disponível em: <<http://www.multiciencia.unicamp.br/art03.htm>>. Acesso em: 22 set. 2013.