



ABTCP-TAPPI 2000

Congresso Internacional de Celulose e Papel
23 a 26 de Outubro de 2000
São Paulo - Brasil

Pulp and Paper International Congress
October 23rd to 26th, 2000
Sao Paulo - Brazil

UTILIZAÇÃO DO EFLUENTE DE INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL EM IRRIGAÇÃO - UMA REVISÃO



Ana Augusta Passos Rezende
Antônio Teixeira Matos
Cláudio Mudado Silva

Universidade Federal de Viçosa,

Português / Portuguese



UTILIZAÇÃO DO EFLUENTE DE INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL EM IRRIGAÇÃO – UMA REVISÃO

Ana Augusta Passos Rezende

Antônio Teixeira Matos

Cláudio Mudado Silva

Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil

RESUMO

Este artigo apresenta revisão de literatura referente à aplicação do efluente de indústria de celulose e papel no solo, dando ênfase aos efluentes provenientes do tratamento secundário de fábricas que utilizam o processo kraft de polpa branqueada. Discute-se a situação atual do processo de disposição do efluente no solo bem como os estudos necessários à implementação desta prática.

O levantamento de literatura indicou considerável número de pesquisas conduzidas neste campo, incluindo algumas em escala real. Estes estudos se concentraram, quase que exclusivamente, nos aspectos de produtividade das culturas irrigadas. Problemas relativos à salinidade e acúmulo de sódio no solo, bem como taxas de aplicação ideais foram, também, extensivamente estudadas. Todavia, pouca atenção tem sido dada para o comportamento dos compostos orgânicos tóxicos dos efluentes no solo. Além disso, os impactos ambientais decorrentes da aplicação do efluente por períodos mais longos ainda não estão totalmente entendidos.

Com a presente revisão bibliográfica pode-se constatar que a aplicação de efluentes de fábricas de celulose branqueada no solo constitui assunto que, ainda, requer grande investigação para se obter um claro entendimento das potencialidades e das limitações do uso desses efluentes na irrigação, ou melhor, fertirrigação de culturas agrícolas.

Palavras-chave: *fertirrigação, disposição no solo, efluente de indústria celulose e papel, aproveitamento agrícola de resíduos; fertirrigation pulp-paper mill effluents, agricultural residues reuse.*

INTRODUÇÃO

A indústria de celulose e papel produz um grande volume de efluentes (muitas vezes podendo alcançar valores acima de 200.000m³/d), cujas características variam dependendo do processo de fabricação utilizado⁽¹⁾. Particularmente, a prática intensiva do processo de branqueamento o qual emprega reagentes à base de cloro, produz uma variedade de compostos organo-clorados, muitos dos quais conhecidos por suas características bio-acumulativas e/ou mutanogênicas⁽²⁾.

A preocupação com a questão ambiental na indústria de papel e celulose tem crescido significativamente nas últimas décadas. Apesar da maioria das fábricas modernas possuir alguma forma de tratamento do efluente antes de lançá-lo no ambiente, os requerimentos legais relativos ao gerenciamento dos resíduos industriais têm se tornado mais restritivos fazendo-se necessário investigar alternativas para melhorar os processos de tratamento e disposição final destes efluentes.

A aplicação de águas residuárias no solo, como um processo de tratamento ou disposição final, por meio de irrigação, tem sido praticado por alguns municípios e indústrias, por várias décadas. A indústria de celulose e papel está entre aquelas que vêm considerando e empregando a disposição no solo como uma alternativa no gerenciamento de seus efluentes.

A disposição do efluente no solo por meio da irrigação surge como uma opção atrativa e como um processo suplementar aos sistemas de tratamento existentes. A disposição do efluente no solo reduz a carga do efluente lançada no corpo d'água receptor, fornece nutrientes para as plantas e aparece como uma fonte suplementar de água para irrigação. Com isso, torna-se possível projetar um sistema de irrigação que proporcione a eliminação do descarte de efluentes das fábricas para as águas superficiais.

Efluentes de fábricas de celulose contém nutrientes (incluindo N, P, Ca, Mg e metais), que podem ser fertilizantes para plantas, e matéria orgânica, que pode atuar como condicionadora do solo ⁽³⁾. Entretanto, como este efluente contém, também, diversos constituintes indesejáveis, especial atenção deve ser dada aos possíveis impactos no ecossistema solo/água/planta, principalmente quanto à acumulação de sais, nutrientes e outros elementos introduzidos no meio por aplicação prolongada dos resíduos.

É importante salientar que o processo de disposição de efluente no solo deve ser entendido, planejado e gerenciado com o mesmo grau de atenção e importância dado a qualquer outro processo operacional. O planejamento se inicia com a elaboração de um banco de dados das áreas a serem irrigadas, características do solo e do efluente e qualidade do lençol freático; a identificação das características limitantes do terreno, do solo, e do efluente; e o nível dos fatores necessários a proteção da saúde pública e do meio ambiente. No sentido de identificar estes fatores, quantificar os benefícios potenciais e os riscos associados com o processo de irrigação com o efluente, um amplo estudo e entendimento das características e do comportamento físico, químico e biológico dos componentes do efluente no sistema solo-planta-água subterrânea torna-se necessário.

O presente artigo apresenta uma visão geral de estudos e práticas relacionados com a utilização de efluentes de indústrias de celulose e papel no solo, enfocando os efluentes provenientes de tratamentos secundários de fábricas que adotam o processo kraft, discutindo-se os principais fatores associados com esta prática, e apresenta o estado da arte deste campo de estudos.

DEFINIÇÃO

A terminologia 'disposição no solo' tem sido definida como "aplicação planejada e controlada de um resíduo específico sobre a superfície do solo a fim de se alcançar um grau específico de tratamento por meio de processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem naturalmente no sistema água-solo-planta"⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾.

A aplicação de águas residuárias no solo consiste não apenas da utilização do efluente como um valioso recurso de água e nutrientes, mas também numa forma de tratamento da água residuária. A aplicação no solo tem-se tornado uma tecnologia moderna aceitável, apesar de suas raízes serem centenárias⁽⁷⁾, e suas potencialidades tem sido, recentemente, reconhecidas no campo da engenharia ⁽⁴⁾. O objetivo da disposição de resíduos no solo é a destinação final de resíduos em quantidades que não venham a comprometer nenhum dos componentes ambientais (solo, água, ar, organismos, etc.). O processo de tratamento por disposição no solo utiliza-se do sistema solo-planta para a degradação, assimilação e imobilização dos constituintes do efluente, bem como dos produtos de sua transformação no meio.

Os efluentes devem ser aplicados em quantidades previamente calculadas, de acordo com a capacidade de assimilação do sistema solo/planta, que dependem de fatores específicos de cada área, como propriedades físicas e químicas do solo, taxas de absorção da vegetação, limitações a qualidade da água subterrânea, e outras atividades biológicas.

As características das águas residuárias que irão limitar a sua aplicação no solo são determinadas por meio de balanços de água, nitrogênio, fósforo, material orgânico e de outros constituintes presentes em concentrações significativas. A partir dos balanços de água, pode-se estabelecer uma taxa de aplicação para cada parâmetro, e as cargas críticas serão aquelas que irão requerer maior área de aplicação. Em geral o projeto de sistemas de aplicação são controlados pela taxa hidráulica ou lâmina de aplicação. A taxa de aplicação hidráulica consiste no volume de água residuária aplicada por unidade de área por um período de tempo - normalmente semanal, mensal ou anual.

Existem três métodos básicos de aplicação/tratamento de águas residuárias no solo: infiltração lenta ou irrigação, infiltração rápida ou inundação e escoamento superficial.

A irrigação consiste do processo mais utilizado ultimamente, sendo o efluente aplicado por aspersão, irrigação localizada ou por superfície, com taxas em torno de 30-50 m³/ha/d para áreas de cultivo agrícola e acima de 150 m³/ha/d para áreas gramadas ⁽⁴⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾.

Em sistemas de infiltração rápida, o efluente pode ser aplicado no solo usando-se os mesmos métodos de irrigação, porém com taxas de aplicação da ordem de 400 m³/ha/d. Neste caso, o solo deve ter permeabilidade que possibilite a infiltração e percolação de grandes volumes de água, além de adequada profundidade, de forma a permitir o tratamento adequado do efluente. Neste método de disposição do efluente, uma menor área é requerida para o mesmo volume de efluente. Quando alguma cultura é cultivada na área de disposição, a mesma deve ser tolerante ao excesso de água e aos constituintes do efluente ⁽¹⁰⁾.

Nos sistemas de escoamento superficial, a água residuária é pulverizada sobre parte mais alta da área de forma a fluir através da vegetação em uma superfície inclinada, até um ponto de descarga específico. A maior parte do efluente tratado é coletada como escoamento superficial no final da rampa, enquanto parte é perdida por evapotranspiração ou percolação ⁽⁴⁾.

CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE E A QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

O conhecimento das características químicas do efluente permite determinar a taxa de aplicação e os meios pelos quais pode-se reduzir os impactos negativos do efluente sobre o solo, água e plantas. Isto requer a identificação dos principais compostos químicos presentes no efluente, além da determinação de suas concentrações e dos efeitos físicos, químicos e biológicos que podem proporcionar na área destinada à sua disposição.

A natureza e a composição do efluente de fábricas de celulose e papel encontra-se bem documentada em termos de parâmetros de controle da poluição, porém, a quantidade e a concentração dos efluentes de uma fábrica é função do tipo de processo utilizado e das práticas operacionais, bem como o grau de reuso da água. As indústrias de celulose diferem em tamanho, tipo de matéria prima processada, processos industriais e produtos finais.

A quantidade de água requerida numa indústria de celulose e papel pode variar de 20 a 450 m³/t_{sa} (tonelada seca ao ar) de celulose produzida ^{(11) (12)(13)}. Vários setores da fábrica de celulose e papel geram efluentes, tais como licor da polpação, água de lavagem da polpa, efluente da planta de branqueamento, e efluente da máquina de papel. Normalmente o fluxo individual de cada efluente setorial é misturado antes do tratamento, produzindo o efluente geral, ou efluente combinado. A maioria das fábricas tem suas próprias estações de tratamento, onde o efluente tratado é lançado no corpo de água receptor; outras lançam o efluente, após sedimentação prévia, para o tratamento de esgoto doméstico da municipalidade.

Composição dos efluentes

Os efluentes dos processos de polpação e branqueamento possuem uma composição complexa. Os fatores que contribuem para esta complexidade química são (a) a fonte de madeira, (b) a química do processo de branqueamento, (c) o grau de fechamento de circuito, controle de derrames, sistema de coleta e manejo dos condensados, (d) substâncias químicas adicionadas no processo, (e) a carga orgânica que entra na planta de branqueamento (grau de deslignificação), (f) o tipo e a eficiência do tratamento de efluente, e, (g) as instabilidades no processo. Assim, há uma grande variação de fábrica para fábrica, não possuindo, nenhuma fábrica, efluentes idênticos. O processo kraft de polpação é responsável pelos altos níveis de sódio, sulfato, cloreto e cor no efluente.

Os parâmetros mais importantes no monitoramento dos efluentes são os sólidos em suspensão (SS), a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), a demanda química de oxigênio (DQO), a cor e os derivados fenólicos. Os constituintes químicos de maior importância dos efluentes utilizados em irrigação incluem a salinidade, os íons trocáveis (Na, Ca, e Mg), o boro (B), e os metais (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Mo, Pb, Zn).

As concentrações de DBO_5 em efluentes brutos de indústria de celulose kraft branqueada situam-se numa faixa de 250 a 400 mg L^{-1} . As concentrações de DQO estão na faixa de 400 a 1350 mg L^{-1} . Os sólidos em suspensão geralmente tendem a variar de 20 a 400 mg L^{-1} , porém concentrações tão altas quanto 1000 mg L^{-1} podem ocorrer dependendo da operação da fábrica. Assim, os efluentes de celulose e papel tendem a ser mais concentrados do que os esgotos domésticos típicos. Para a disposição no solo, tem sido comum, adotar a carga de DBO e, em menor número de vezes, a carga de sólidos em suspensão, como parâmetros referenciais para a definição da taxa de efluente a ser aplicada. Um valor em torno de 225 $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ de DBO tem sido considerado como limite superior na capacidade de assimilação de efluentes industriais pelo solo, em termos de manutenção da qualidade do solo e da cobertura vegetal⁽¹⁴⁾. Sólidos em suspensão (especialmente fibras) nos efluentes aplicados são importantes devido à sua tendência de entupir os equipamentos de aspersão e poros no solo ou cobrir a superfície do solo⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾.

Geralmente os efluentes de toda fábrica kraft possuem intensa coloração, atingindo valores superiores a 1000 mg L^{-1} , que não é removida pelos tratamentos primário e secundário⁽¹⁷⁾. A cor dos efluentes é originária dos derivados da lignina, principalmente provenientes da linha de fibras e do branqueamento⁽¹⁸⁾. A alta intensidade de cor dos efluentes tem sido mais um fator de incentivo para considerar a aplicação no solo, evitando, assim, causar problemas estéticos nos corpos d'água receptores. Todavia, caso as taxas de aplicação excedam os limites recomendados para cada tipo de solo, a percolação dos efluentes no solo pode vir a causar impactos estéticos à água freática. Um trabalho interessante foi desenvolvido por Juwarker (1986) mostrando a capacidade de solos de reter a cor dos efluentes contendo lignina⁽⁹⁾.

O pH de efluentes combinados, não tratados, tendem a ficar na faixa de 6 a 9. Entretanto, efluentes das operações de polpação e branqueamento podem ser muito ácidos ou alcalinos. O pH, nesse caso, pode ser fator limitante à aplicação dos efluentes no solo, já que, condições de alta acidez podem trazer problemas de toxicidade e alcalinidade de indisponibilização de grande parte dos micronutrientes essenciais às plantas.

Os efluentes provenientes de fábricas de celulose são deficientes em *nitrogênio* e *fósforo*, com exceção das fábricas que adotam amônia como agente de polpação⁽²⁰⁾⁽¹³⁾. Nitrogênio e fósforo são frequentemente adicionados nos efluentes, de forma a aumentar a eficiência do tratamento biológico. A adição de nutrientes antes da aplicação no solo não tem sido relatada na bibliografia.

Compostos de sódio são empregados como licor de polpação em diversos processos tais como kraft ou sulfato, soda, quimiotermodinâmicos e outros. Assim, os efluentes podem possuir altas concentrações de sódio e de sólidos dissolvidos. Os principais contaminantes são o sódio (Na) e o cloreto (Cl) cujas concentrações são de aproximadamente 340-400 mg L^{-1} e 320 mg L^{-1} , respectivamente. São também encontrados níveis significativos de potássio, magnésio e cálcio.

Águas para irrigação com Razão de Adsorção de Sódio (RAS) entre 4 e 9 são consideradas de pequeno risco no que refere-se à dispersão da argila e, por conseqüência, à permeabilidade do solo. De acordo com a literatura, alguns efluentes combinados de fábricas de celulose possuem RAS nesta faixa, sendo assim, potencialmente adequadas para a irrigação⁽²¹⁾.

Os efluentes de fábricas de celulose e papel possuem baixas concentrações, ou concentrações insignificantes de metais pesados e outros elementos de importância ambiental. O tratamento secundário remove eficientemente tais elementos quando presentes no efluente bruto.

As concentrações de cloreto situam-se na faixa de 120-350 mg L^{-1} , o que pode comprometer a utilização do efluente para irrigação, uma vez que tais concentrações podem causar danos severos às folhas das plantas irrigadas por aspersão.

O branqueamento com compostos a base de cloro, normalmente o cloro molecular (Cl_2) e o dióxido de cloro (ClO_2), produzem grande variedade de compostos organo-clorados nos efluentes do

branqueamento. Uma medida aproximada da concentração de material orgânico clorado nos efluentes é o AOX (Adsorbable organic halogen), o qual tem sido objeto de estudos exaustivos. As concentrações de AOX variam de 8 a mais de 20 mg L⁻¹, dependendo de fatores tais como a tecnologia adotada no branqueamento, o consumo de água, e o tratamento de efluente adotado ⁽¹¹⁾. A remoção de AOX nas estações de tratamento varia de 19 a 70%, dependendo do tipo de sistema adotado ⁽²⁾. A maior parte do AOX removido é constituída por compostos de baixo peso molecular, restando nos efluentes tratados ainda grandes quantidades de compostos orgânicos com alto peso molecular ⁽²⁴⁾.

Os efluentes do processo industrial são isentos de coliformes fecais, entretanto, se forem misturados aos esgotos sanitários da fábrica, organismos patogênicos entéricos poderão estar presentes ⁽²²⁾.

Qualidade da Água para Irrigação

A qualidade dos efluentes que receberam tratamento e que é requerida para irrigação varia, dependendo de fatores de saúde pública, econômicos e ambientais, de barreiras institucionais, e preocupações sociais e legais. Alguns fatores relevantes são a salinidade, a permeabilidade dos solos, a toxicidade específica de íons, os nutrientes (N, P), os bicarbonatos, o pH e o cloro residual. Na Tabela 1 estão apresentados os critérios de qualidade de água para irrigação de longa ou curta duração. Na Tabela 2, por sua vez, estão apresentadas as diretrizes para interpretação da qualidade da água para irrigação.

Comparando-se a composição dos efluentes de fábricas de celulose branqueadas com os limites recomendados para água de irrigação, pode-se concluir que:

- existe grande variação na composição dos efluentes;
- as análises dos efluentes devem ser feitas considerando-se os constituintes individualmente, devido à grande variação nas concentrações destes constituintes;
- a maior parte dos constituintes dos efluentes estão em concentração dentro dos limites recomendados para água de irrigação;
- efluentes com altas concentrações de DBO, DQO, sódio, ácidos resinosos e sólidos em suspensão não devem ser usados para irrigação;
- nutrientes, metais pesados e ácidos graxos apresentam concentrações muito baixas e não devem ser fatores de limitação para o uso desses efluentes na irrigação.

Uma avaliação e classificação da qualidade da água para irrigação, em termos de risco de salinidade, normalmente mensurada pelos sólidos dissolvidos totais (SDT) ou pela condutividade elétrica, é apresentada por McNeal (1981) e resumida na Tabela 3 ⁽²⁵⁾. Devido à complexidade dos efluentes de fábricas kraft de celulose branqueada, estes são classificados como "águas de irrigação que podem ter efeitos deletérios nas plantações mais sensíveis, ou que requerem um manejo cuidadoso". Tais efluentes, por apresentarem altas concentrações de sólidos dissolvidos totais e altas condutividades elétricas, podem ser utilizados para irrigação de plantas tolerantes, cultivadas em solos permeáveis, desde que haja um manejo adequado do sistema e monitoramento ambiental.

BREVE HISTÓRICO DA APLICAÇÃO DE EFLUENTES DE INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL NO SOLO

Apesar da aplicação de águas residuárias e lodo de esgoto no solo não constituírem uma prática nova, é uma prática de gerenciamento de resíduos relativamente recente e que ainda não se encontra bem difundida ⁽⁷⁾⁽²²⁾. Nos últimos 20 anos, tem sido renovado o interesse nos métodos de disposição/tratamento de resíduos no solo, incluindo o uso de terras florestais ⁽²¹⁾.

Vários artigos sobre aplicação de efluente de indústria de celulose e papel foram publicados na década de 50, entretanto, a maioria das experiências relatada data da década de 80, sendo pequeno o número de artigos publicados recentemente.

Pesquisas nos anos 70 e 80 relatam a relação entre as características do efluente, as taxas de aplicação e a germinação de sementes e o crescimento e sobrevivência de mudas ⁽²²⁾. A maioria das pesquisas esteve concentrada no monitoramento da formação de sais solúveis em solos, na redução da absorção de potássio, cálcio e magnésio pelas plantas, devido ao excessivo acúmulo de sódio no solo. Outras pesquisas avaliaram a aplicação no solo como um processo de filtro biológico ⁽²⁶⁾, ou como tratamento de efluentes através do solo. Nas décadas seguintes, 80 e 90, passou-se a dar

maior atenção à qualidade da água subterrânea em áreas de disposição de efluentes da indústria de celulose e papel⁽²²⁾⁽²⁷⁾⁽²⁸⁾⁽²⁹⁾⁽³⁰⁾⁽³¹⁾⁽³²⁾⁽³³⁾⁽³⁴⁾⁽³⁵⁾.

EFEITOS DO EFLUENTE DE INDÚSTRIA DE CELULOSE BRANQUEADA E PAPEL NO SOLO E NA PLANTA

Dada a complexidade na constituição dos efluentes e os diferentes efeitos que poderão ser proporcionados por sua disposição no meio ambiente, características do sistema solo/água/planta deverão ser considerados para a definição das taxas hidráulicas a serem aplicadas. Para se obter sucesso em um projeto de aplicação de efluentes no solo, considerando-se sua sustentabilidade ao longo de repetidas aplicações, os efeitos na cobertura vegetativa, incluindo a tolerância da planta aos sais, o potencial de absorção pela planta de nutrientes contidos no efluente, os efeitos no solo e, o destino e a mobilidade dos constituintes do efluente através da matriz do solo, em direção ao lençol freático, devem ser melhor entendidos e analisados.

Efeitos na cobertura vegetativa

Apesar da literatura revelar alguns efeitos negativos do uso de esgoto doméstico⁽⁹⁾ para o crescimento de culturas, tais como: atraso na maturidade, deterioração na qualidade dos produtos finais e diminuição da resistência a doenças, a literatura sobre o uso de efluente de indústria de celulose na irrigação, em geral, não revela nenhuma destas restrições, embora algumas referências negativas tenham sido feitas ao uso do efluente bruto para irrigação. Reduções significativas no crescimento de arroz, grão preto (*Vigna mungo*) e tomates foram observados em irrigação com 100% de efluente⁽³⁷⁾. Entretanto, com a diluição do efluente (mistura de efluente e água de fontes naturais) melhorou o crescimento de plantas irrigadas. É sugerido que a melhoria seja devida ao decréscimo na concentração de vários constituintes químicos no efluente diluído. Em geral, plantas irrigadas com efluente sem diluição apresentaram mais altas concentrações de N, P, K no tecido vegetal do que os controles ou aquelas irrigadas com efluente diluído.

Dentre as variáveis chaves utilizadas para determinar o comportamento de espécies irrigadas com efluentes industriais estão a sobrevivência e o crescimento das plantas. A tolerância ao sal constitui um importante parâmetro desde que o maior problema relacionado com o efluente seja a presença de sais inorgânicos. Algumas espécies têm habilidade de acumular íons de Na e Cl⁻, podendo, dessa forma, ser usadas para remover íons da água residuária.

A irrigação pode proporcionar aumento significativo em todos os parâmetros de crescimento das plantas; tendo sido verificado aumento da concentração de nitrogênio e fósforo⁽¹⁾, principalmente, além de ferro e manganês, dentre outros micronutrientes. Aumento da concentração de cloreto e alumínio também foram documentados. O aumento de cloreto é provavelmente devido a alta concentração deste elemento no efluente industrial, entretanto, no caso do nitrogênio e fósforo, os resultados são surpreendentes, considerando-se a baixa concentração em que se encontram no efluente.

Culturas como arroz, grama, trigo, cebola, cana-de-açúcar, aveia, alfafa, pastagens e vegetais podem crescer com sucesso quando o efluente industrial de celulose e papel é utilizado, mesmo durante experimentos com alta taxa de aplicação (200 mm/semana)⁽¹⁾⁽¹⁹⁾⁽³²⁾⁽³⁸⁾. Espécies florestais como Kenaf (*Hibiscus cannabinus*), sesbenia (*Sesbenia grandiflora*), pinus Monterey (*Pinus radiata*) cresceram com sucesso não apresentando diferença significativa em relação às plantas controle⁽¹⁹⁾⁽³⁹⁾.

Tem sido verificado acúmulo de Na e Cl⁻ nos vasos, tronco e raiz de plantas irrigadas por períodos muito longos⁽²¹⁾⁽⁴⁰⁾. Entretanto, algumas espécies arbóreas apresentaram grande crescimento e altas taxas de sobrevivência quando irrigadas sob elevadas taxas de aplicação, por longos períodos. Acredita-se que esses resultados sejam devido ao fato dessas espécies requererem grandes quantidades de água e serem bioacumuladoras de Na e Cl⁻, além de estarem sendo cultivadas em solos de alta permeabilidade⁽²⁷⁾⁽⁴¹⁾.

Efeitos no solo

A aplicação de efluente no solo pode ocasionar efeitos indesejáveis nas suas características químicas

(42). Uma grande preocupação refere-se ao acúmulo de sais, como resultado de práticas de irrigação por períodos mais longos.

Adishesha et al. (1997) não encontraram mudanças significativas nas características do solo submetido, por pequeno período de tempo, à irrigação com efluente da indústria de celulose e papel⁽⁴³⁾. Por outro lado, vários estudos abordam efeitos químicos da aplicação de efluente de indústrias de celulose e papel no solo. Medições da concentração de íons trocáveis nos solos irrigados com esse efluente indicaram altas concentrações de Na, Cl⁻, K₂O, Ca²⁺ e K⁺, além de valores elevados de salinidade total e de razão de adsorção de sódio (RAS)⁽²¹⁾⁽²⁷⁾⁽⁴¹⁾⁽⁴³⁾⁽⁴⁴⁾, bem como baixa concentração de Mg⁺² e outros nutrientes essenciais⁽⁴⁰⁾⁽⁴¹⁾. A irrigação com efluente não diluído de indústria de celulose e papel pode, também, ocasionar aumento no pH do solo, na condutividade elétrica e no conteúdo de carbono orgânico, matéria orgânica e nutrientes disponíveis⁽¹⁾⁽³⁾⁽¹⁹⁾⁽²³⁾.

O aumento na concentração de sódio no solo, surpreendentemente, parece ser independente das taxas de aplicação do efluente, conforme reportado por Johnson e Ryder (1988)⁽¹⁾. Este aumento no conteúdo de Na pode criar um problema de dispersão da argila do solo, conduzindo a uma pobre infiltração e aeração desse meio. Isto, também, sugere que irrigação com efluentes pode constituir perigo potencial para as culturas, como resultado de alcalinidade e acúmulo de sódio.

Para se prevenir o risco de predominância de sódio no solo, deve-se compensar a aplicação do efluente com outras fontes de Ca⁺² e Mg⁺² que, aliada a altos índices pluviométricos, podem promover a lixiviação do Na⁺, e o restabelecimento do balanço de cátions. Com isso, nenhuma redução na permeabilidade do solo deve ser observada⁽¹⁾. Geralmente, efluentes com RAS igual ou menor que 8 não proporcionam nenhuma redução na permeabilidade do solo. Exceções a estas têm sido observadas para solos de alto conteúdo de argila que foram previamente irrigados com efluentes com nível médio de sais⁽²¹⁾. Solos de textura grosseira não apresentaram efeitos de deterioração severos e nenhuma perda na permeabilidade foi observada em decorrência da aplicação de efluentes detentores de alta porcentagem de sódio trocável⁽¹⁾⁽¹⁹⁾⁽²¹⁾.

A disposição de efluentes da indústria de celulose e papel no solo tem proporcionado rápida estabilização do material orgânico presente em suspensão, aumentando a razão entre ácidos húmicos e fúlvicos, e com o tempo, diminuição no conteúdo de ácidos húmicos e fúlvicos⁽³⁴⁾⁽³⁵⁾, o que é indicativo de humificação do material orgânico.

A incorporação de corretivos orgânicos, incluindo lodo de indústrias de celulose e esterco bovino, no solo das áreas de aplicação de efluentes, proporcionou a manutenção da produtividade durante irrigação com efluente sódico, devido ao fornecimento de nutrientes não disponibilizados para as culturas e por contribuir para o melhoria da estrutura do solo, aumentando taxas de infiltração e o potencial de lixiviação do sódio⁽⁶⁾⁽⁴⁷⁾.

Os microrganismos do solo têm participação vital na degradação de material orgânico incorporado, constituindo importante fonte de enzimas para o meio. Entretanto, são estes organismos os primeiros a deparar com as mudanças ambientais, causadas pela disposição dos efluentes. Enquanto que a pesquisa em química do solo exposto ao efluente de celulose e papel é, de certa forma extensa, pouco se conhece sobre os efeitos nas reações bioquímicas no solo, em particular na variação populacional nos diversos grupos de microrganismos do solo. Investigações revelaram um aumento nas populações de bactéria, actinomicetos, fungos, rhizobia, e fermentos, o qual foi mais alto após 15 anos de aplicação do efluente. A população microbiana foi diretamente proporcional ao carbono orgânico no solo e às condições da disposição de nutrientes no solo, e sua dinâmica foi afetada por uma multiplicidade de fatores durante diferentes períodos de amostragem⁽³⁾⁽²³⁾. Também foi reportado que a aplicação de efluentes de indústria de celulose e papel não inibe as atividades enzimáticas, mas sim tende a aumentá-las.

Riscos Ambientais

Os riscos ambientais na disposição de efluentes de celulose branqueada em curso d'água vêm sendo bem documentados⁽⁴⁸⁾. Poucos artigos referem-se à avaliação de risco na aplicação de efluente no solo. A maioria dos artigos aborda a disposição do lodo proveniente do tratamento de efluentes no solo⁽⁴⁷⁾⁽⁴⁹⁾. Desde que certas substâncias químicas, óleos, solventes, ou outras substâncias perigosas e tóxicas foram proibidas de uso no processo industrial, os efluentes de celulose e papel passaram a ser considerados resíduos não perigosos.

Avaliação de risco foi empregada na caracterização das várias formas de exposição múltipla para dioxina, associada com irrigação de efluente do processo kraft de celulose branqueada ⁽⁵²⁾. A potencialidade para exposição e subsequente toxicidade em gado por meio da ingestão de alfafa irrigada com esse efluente foi avaliada. Os múltiplos meios de exposição humana à dioxina foram identificados como digestão de água de poço, contato da pele com o efluente, contato da pele com solo, inalação de vapor ou particulado, ingestão de carne/leite de bovino alimentado com alfafa e inalação de dioxina gasosa liberada do solo. Concentrações de risco específico foram desenvolvidas para cada cenário de exposição, sendo concluído que estes meios não apresentam formas significativas para exposição ou risco para seres humanos ou vida selvagem.

Não há informações suficientes referentes ao movimento e ao comportamento de compostos orgânicos presentes em efluentes de fábricas de celulose, quando dispostos no solo. Kookana e Rogers (1995) apresentaram uma revisão neste assunto, mas muito dos estudos consultados referem-se mais às fontes de compostos orgânicos de outras atividades do que, propriamente, de indústrias de celulose branqueada ⁽²⁾.

Contaminação do lençol freático

Apesar efluente da indústria de celulose e papel ser considerado como de boa qualidade, no mínimo igual àquela fornecida pelo tratamento secundário, quando de sua disposição no solo, a mobilidade dos sais nesse meio constitui um problema potencial de poluição das águas subterrâneas.

A qualidade da água subterrânea foi monitorada em áreas de disposição de efluentes da celulose e papel por diversos autores ^{(1) (21)}. Nos estudos efetuados, aumentos na concentração de alguns contaminantes da água subterrânea foram observados. Inicialmente, concentrações mais altas foram encontradas nas camadas superiores do aquífero, apresentando tendência de redução com a profundidade. Aplicações por períodos prolongados (período de 3 anos), em áreas de disposição de efluentes, proporcionaram grande aumento nas concentrações de sódio e cloreto, em todas as profundidades, indicando uma mistura gradual da solução. Aumento nas concentrações de sódio, cloreto, potássio e sulfato foram observados em razão das altas concentrações desses íons no efluente e também devido à própria natureza arenosa do solo, resultando em alta taxa de lixiviação. Cálcio e magnésio também apresentaram aumentos, porém numa magnitude menor. Não foi reportada nenhuma mudança na cor da água subterrânea, bem como nenhuma expressiva alteração dos níveis do lençol freático. Nos experimentos conduzidos, ficou evidente que, com o aumento da taxa de aplicação houve aumento proporcional da quantidade de íons móveis que atingiram o lençol freático. Por outro lado, caso eventualmente, a capacidade de retenção iônica seja suplantada, mesmo os nutrientes considerados de baixa mobilidade poderão atingir as águas do lençol freático. Solos arenosos proporcionam mais altas taxa de infiltração de efluentes e mais baixa capacidade tamponamento aos íons incorporados, sendo, por estas razões, os que mais riscos proporcionam à qualidade das águas subterrâneas.

CONCLUSOES

A disposição de efluentes da indústria de celulose e papel no solo tem mostrado ser uma alternativa viável no manejo de efluentes de indústria de celulose e papel.

Os estudos indicaram que os métodos de disposição no solo estão mais adequados para uso com efluentes gerados em pequenas vazões ou em pequenas fábricas. Entretanto, a aplicação no solo pode constituir uma opção interessante, também, no caso de uma expansão planejada de uma fábrica e como tratamento complementar para os efluentes dos tratamentos primário/secundário convencionais que não estão em condições de ser lançados em corpo d'água. Entretanto, a adoção e o desenvolvimento desta tecnologia para diferentes tipos de efluentes de indústria de celulose e papel, seja em plantações florestais ou outro tipo de cultura, requer informações científicas adicionais a fim de garantir que opções bem projetadas e ambientalmente sustentáveis se encontrem disponíveis para a indústria e para as autoridades de instituições regulamentadoras.

Na literatura consultada estão apresentadas experiências indicativas que soluções e critérios operacionais do sistema de disposição de efluentes instalado, apresentados para uma área específica, não puderam ser imediatamente transferidos e utilizados em outra área. Entretanto, os processos que dominam a prática de aplicação no solo pelo método de irrigação/tratamento são similares, e existe muito a ser aprendido estudando, os sistemas de disposição no solo hoje em

operação e avaliando e monitorando, por longos períodos, os sistemas a serem implantados.

Os estudos já conduzidos podem ser utilizados para que sejam evitados erros operacionais e prejuízos ambientais, além de melhorar as concepções de projeto de sistemas de disposição de efluentes no solo, tornando-os sustentáveis no longo prazo.

Resultados decorrentes de aplicações, a longo prazo, de efluentes da indústria de celulose e papel podem ser úteis para as agências regulamentadoras e para projetistas de sistemas no desenvolvimento de critérios de projeto para outros locais.

A experiência acumulada sobre o assunto indica que é, ainda, grande a necessidade de maiores e informações e de melhor entendimento do comportamento dos principais constituintes dos efluentes de fábricas de celulose e papel no solo, em condições de laboratório e campo, e por longos períodos de tempo, para que se possa estabelecer condições seguras de operação de sistemas de disposição desses efluentes no solo, considerando todas as variáveis de caracterização do efluente, do solo, da planta e do clima.

REFERÊNCIAS

1. Johnson, B., and Ryder, I. (1988). "The disposal of pulp and paper mill effluents by spray irrigation onto farmland." *Alternative Waste Treatment Systems*, Bhamidimarri, ed., 55- 65.
2. Kookana, R. S., and Rogers, S. L. (1995). "Effects of pulp mill effluent disposal on soil." *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 142, 13- 64.
3. Kannan, K., and Oblisami, G. (1990b). "Influence of paper mill effluent irrigation on soil enzyme activities." *Soil Biol. Biochem.*, 22(7), 923-925.
4. Metcalf & Eddy. (1991). *Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse*, McGraw- Hill, Inc.
5. Sanks, R. L., and Asano, T. (1976). *Land treatment and disposal of municipal and industrial wastewater*, Ann Arbor Science Publishers Inc., Ann Arbor, Michigan.
6. U.S.EPA. (1981). "Process design manual for land treatment of municipal wastewater." *EPA 625/1-81-013*, U.S. Environmental Protection Agency, Technology Transfer, Cincinnati, OH.
7. Phung, T. (1978). "Land cultivation of industrial wastes and solid wastes: state of art ,Vol.1. Technical Summary and Literature Review." *EPA-600/2-788-140a*, U.S. Environmental Protection Agency,, Cincinnati, Ohio.
8. Rowe, D. R., and Abdel-Magid, I. M. (1995). *Handbook for Wastewater Reclamation and Reuse*, CRC Press, Inc, Boca Raton, Florida.
9. Feigin, A., Ravina, I., and Shalhevet, J. (1991). *Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection*, Springer-Verlag, Berlin, New York.
10. Deemer, D., and Presley, R. (1983). "High rate land application for treatment of pulp and paper mill wastewater." *1983 Tappi International Environmental Conference*, Atlanta, USA.
11. Allen, D. G., and Liu, H. W. (1997). "Pulp mill effluent remediation methods." *Encyclopedia of Environmental Analysis and Remediation*, submitted, ed., John Wiley & Sons.
12. Carter, D. N., and Gleadow, P. (1994). "Water use reduction in chemical pulp mills." *Water Use Reduction in the Pulp and Paper Industry - A monograph*, P. N. Williamson, ed., Vancouver, B.C.
13. Thacker, W. E. (1985b) "Silvicultural land application of wastewater and sludge from the pulp and paper industry." *The Forest Alternative for Treatment and Utilization of Municipal Wastes*, 582.
14. Blosser, R. O., and Caron, A. L. (1965). "Recent Progress in land disposal of mill effluents." *TAPPI*, 48(5), 43A.
15. Adin, A., and Sacks, M. (1991). "Dripper-clogging factors in wastewater irrigation." *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 117(6), 813-826.
16. Rav-Acha, M., Kummel, I., and Salamon, A. A. (1995). "The effects of chemical oxidants on effluent constituents for drip irrigation." *Wat. Res.*, 29(1), 119-129.
17. U.S.EPA. (1982). "Development document for effluent limitation guidelines and standards for pulp, paper and paperboard point source category." *EPA 440/1-82-025*, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C
18. McKague, A. B., and Carlberg, G. (1996). "Effluent characteristics and composition." *Pulp Bleaching - Principles and Practice*, C. W. Dence and D. W. Reeve, eds., TAPPI Press, Atlanta, Georgia, 749-765.
19. Juwarkar, A. S., and Subrahmanyam, P. V. R. (1986). "Impact of pulp and paper mill wastewater on crop and soil." *Wat. Sci. Tech.*, 19, 693-700.
20. Priha, M. (1994). "Bioavailability of pulp and paper mill effluent phosphorus." *Wat. Sci. Tech.*, 29(5-

6), 93-103.

21. Cromer, R. N., Tompkins, D., Barr, N. J., and Hopmans, P. (1984). "Irrigation of Monterey Pine with wastewater: effect on soil chemistry and groundwater composition." *Journal Environmental Quality*, 13(4), 539-542.
22. Ogden, L., and Nutter, W. "U.S. experiences with pulp mill waste water and sludge application in forests." *Pulpmill Waste Utilization in the forest*, Edmonton, Alberta, Canada, 45-50.
23. Kannan, K., and Oblisami, G. (1990a). "Influence of irrigation with pulp and paper mill effluent on soil chemical and microbiological properties". *Biology and Fertility of Soils*, 10, 197-201.
24. Bryant, C. W., and Barkley, W. A. (1991). "Biological dehalogenation of kraft mill wastewaters." *Water Sci. Technology*, 24, 287-293.
25. McNeal, B. L. (1981). "Evaluation and Classification of Water Quality for Irrigation." *Salinity in Irrigation and Water Resources*, D. Yaron, ed., Marcel Dekker, Inc., New York and Basel, 21-45.
26. Flower, W. A. (1969). "Spray irrigation for the disposal of effluents containing deinking waste." *TAPPI*, 52(7), 1267.
27. Hansen, E. A., Dawson, D. H., and Tolsted, D. N. (1980). "Irrigation of intensively cultured plantations with paper mill effluent." *Tappi*, 63(11), 139-143.
28. Crawford, S. C. (1958). "Spray irrigation of certain sulfate pulp mill wastes." *Sewage and Industrial Wastes*, 30(20), 2306.
29. Westenhouse, R. (1960). "Irrigation disposal of wastes." *TAPPI*, 46(8), 160A.
30. NCASI. (1985). "The land application of wastewater in the forest products industry." 459, National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement, INC., New York, N.Y.
31. Blosser, R. O., and Owens, E. L. (1964). "Irrigation and land disposal of pulp mill effluents." *Water and Sewage Works*, 9(11), 424.
32. Kulkarnii, U. D. (1988). "Waste water for irrigation." *Recent Researches in Ecology, Environment and Pollution*, 1, 57-60.
33. Fazeli, M. S., S. Sathyanarayan, P. N. Satish, and Muthanna, L. (1991). "Effect of paper mill effluents on accumulation of heavy metals in coconut trees near Nanjangud, Mysore District, Karnataka, India." *Environ. Geol. Water Sci.*, 17(1), 47-50.
34. Abasheyeva, N. Y., Revenskiy, V. A., and Korsunova, T. M. (1993). "Irrigation of East-Siberian soil with purified paper-mill effluents and the effect on soil properties and plants." *Eurasian Soil Sci.*, 25(10), 112-120.
35. Gellman, I. (1960). "BOD reduction of paper, paperboard and weak pulping wastes by irrigation." *Pulp and Paper Magazine of Canada*, 61(3), T-221.
36. Smith, C. T., Carmus, J.M. et al. (1997). Land application of CTMP effluent in New Zealand: from research to practice. Third International Conference on Environmental ate , New Zealand.
37. Rajannan, G., and Oblismani, G. (1979). "Effect of paper factory effluents on soil and crop plants." *Indian Journal of Environmental Health*, 21(2), 120-130.
38. Narum, Q. A. (1979). "Disposal of an integrated pulp-paper mill effluent by irrigation." *EPA-600/2-79-033*, USEPA, Cincinnati, OH.
39. Cromer, R. N., Tompkins, D., and Barr, N. J. (1982). "Intraspecific variation in the response of *Pinus radiate* to saline and wastewater." *Australian Forest Research*, 12, 203-215.
40. Aw, M., Wagner, M. R., Teclé, A., and Avery, C. "Land application system to treat pulp and paper mill wastewater in Arizona." *Pulpmill waste utilization in the forest*, Edmonton, Alberta, Canada.
41. Aw, M. (1994). "Saline pulp and paper mill wastewater reclamation using woody species," Northern Arizona University, AZ, USA.
42. Fuller, W. H., and Warrick, A. W. (1985). *Soils in waste treatment and utilization*, CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.
43. Adishesha, H. T., Purwati, S., Panggabean, P. R., and Sarief, S. E. (1997). "Utilization of small soda pulp and paper mill effluent for rice field irrigation." *Wat. Sci. Tech.*, 35(2-3), 205-212.
44. Hayman, J. P., and Smith, L. (1979). "Disposal of saline effluent by controlled-spray irrigation." *Journal Water Pollution Control Federation*, 51(3), 526
45. Abasheyeva, N. Y., Revenskiy, V. A., and Korsunova, T. M. (1995). "Influence of industrial effluence of the Selenga Pulp and Paper Mill on soil and plants." *Eurasian Soil Sci.*,
46. Howe, J., and Wagner, M. (1996). "The effect of papermill wastewater and organic amendments on sodium accumulation by potted cottonwoods." *Environ. Pollut.*, 92(2), 113-118.
47. Vasconcelos, E., and Cabral (1993). "Use and environmental implications of pulp mill sludge as an organic fertilizer". *Environmental Pollution* 80(1), 159-162
48. Dell, P., Power, F., Donald, R., McIntosh, J., Park, S., and Pang, L. (1996). "Monitoring environmental effects and regulating pulp and paper discharges: Bay of Plenty, New Zealand." *Environmental Fate and Effects of Pulp and Paper Mill Effluents*, M. R. Servos, K. R. Munkittrick, J. H. Carey, and G. J. van der Kraak, eds., St. Lucie Press, Delray Beach, FL, USA, 627-636.
49. Keenan, R. E., Knight, J. W., Rand, E. R., and Sauer, M. M. (1990). "Assessing potential risks to

wildlife and sportsmen from exposure to dioxin in pulp and paper mill sludge spread on managed woodlands." *Chemosphere*, 20(10-12), 1763-1769.

50. MOEE (1993). "Municipal/ Industrial Strategy for Abatement (MISA)- Draft development document for the pulp and paper sector effluent limits regulation". Ontario Ministry of Environment, Water Resources Branch, Ottawa, Canada.

51. Springer, A. M. (1993). *Industrial Environmental Control - Pulp and Paper Industry*, TAPPI Press, Atlanta, GA, USA.

52. Sullivan, M. J., McCaw, P. ^a, Homes, R. L., Sewall, C. H., and Surgenor, S. D. (1990). "Multiple exposure pathway risk assessment for dioxin at a bleached pulp mill". *Chemosphere*, 20 (10-12), 1771-1778.

. Tabela 1. Comparação de critérios de qualidade de água com a composição de efluentes dos processos de polpação e branqueamento

Parâmetros	Efluentes dos processos de polpação e branqueamento *	Qualidade de água para irrigação Por longos períodos **	
		agricultura	terrenos
pH (unidades)	5,7-9	-	6-9
EC (dS cm ⁻¹)	0,5-6,3	-	-
BOD ₅ (mg L ⁻¹)	250-400	100	20
COD (mg L ⁻¹)	400-1350	-	-
BOD ₅ : COD ratio	0,3-0,5	-	-
TSS (mg L ⁻¹)	20-400	-	15
TDS (mg L ⁻¹)	600-3500	500-5000	1200
AOX (mg L ⁻¹)	8-20	-	-
Nitrogênio Total (N) (mg L ⁻¹)	<0,1-3	-	-
Fósforo Total (P) (mg L ⁻¹)	1-3	-	-
Potássio (K) (mg L ⁻¹)	8-20	-	-
Enxofre Total (S) (mg L ⁻¹)	5,9-91	-	-
Cálcio (Ca) (mg L ⁻¹)	4-100	-	-
Magnésio (Mg) (mg L ⁻¹)	12-25	-	-
Sódio (Na) (mg L ⁻¹)	150-400	-	-
Cloreto (Cl -) (mg L ⁻¹)	120-350	-	100
RAS	7.6-28	26	-
Alumínio (Al) (mg L ⁻¹)	<0,20	5,0	5,0
Arsênio (As) (mg L ⁻¹)	<0,20	0,1	0,1
Boro (B) (mg L ⁻¹)	<0,10	0,75	0,75
Cádmio (Cd) (mg L ⁻¹)	<0,010	0,01	0,01
Crômio (Cr) (mg L ⁻¹)	<0,015	0,1	0,1
Cobre (Cu) (mg L ⁻¹)	0,018	0,2	0,2
Manganês (Mg) (mg L ⁻¹)	0,514	0,2	0,2
Molibdênio (Mo) (mg L ⁻¹)	<0,030	0,1	0,1
Níquel (Ni) (mg L ⁻¹)	<0,020	0,2	0,2
Chumbo (Pb) (mg L ⁻¹)	<0,050	5,0	5,0
Selênio (Se) (mg L ⁻¹)	<0,20	0,02	0,02
Zinco (Zn) (mg L ⁻¹)	0,008	2,0	2,0
Mercúrio (Hg) (µg L ⁻¹)	11-26	-	-
Ferro (Fe) (mg L ⁻¹)	0,373	5,0	5,0

Notas: kg/ton - kg/ ton métricas;

- *Valores compilados de (1), (11), (19), (23), (40), (43), (46), (50), and (51).
- ** Referência (8).
- - não reportado na referência

Tabela 2. Guia para interpretação da qualidade de água para irrigação

Problema	unidade	Grau de restrição no uso		
		nenhuma	Leve a moderada	severa
Salinidade -CE ou SDT	dS m ⁻¹ mg L ⁻¹	<0,7 <450	0,7-3,0 450-2000	>3 >2000
Efeitos na permeabilidade do solo RAS = 0-3 e CE = = 3-6 e CE= = 6-12 e CE= = 12-20 e CE= = 20-40 e CE=	dS m ⁻¹	>0,7 >1,2 >1,9 >2,9 >5,0	0,7-0,2 1,2-0,3 1,9-0,5 2,9-1,3 5,0-2,9	<0,2 <0,3 <0,5 <1,3 <2,9
Toxicidade de íon específico (efeitos em culturas sensíveis) - Na - irrigação superficial - irrigação por aspersão - Cl - irrigação superficial - irrigação por aspersão - B	RAS mg L ⁻¹ mg L ⁻¹ mg L ⁻¹ mg L ⁻¹	<3 <70 <140 <100 <0,7	3-9 >70 140-350 >100 0,7-3,0	>9 - >350 - >3
Outros (efeitos em culturas sensíveis) N total HCO ₃ (aspersão sobre a copa) pH Cloro residual (aspersão sobre a copa)	mg L ⁻¹ mg L ⁻¹ unidade mg L ⁻¹	<5 <90 6-9 <1,0	5-30 90-500 1,0-5,0	>30 >500 >5,0

Fonte: Rowe and Abdel-Magid, 1995 (8).

Tabela 3. Guia geral para salinidade na água de irrigação

Classificação	SDT (mg L ⁻¹) *	CE (mmho cm ⁻¹) **
Águas sem efeitos deletérios conhecidos	500	0,75
Águas de efeitos deletérios para culturas sensíveis	500- 1000	0,75-1,5
Águas que podem ter efeitos deletérios para muitas culturas, requerendo cuidados no manejo	1000-2000	1,5-3
Águas que podem ser usadas para culturas tolerantes em solos permeáveis, requerendo cuidadoso manejo	2000-5000	3-7,5

- * Sólidos dissolvidos totais
- ** Condutividade elétrica

Fonte: Adaptado de USEPA, 1981 (6).