

# POTENCIAL DE USO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS NA AGRICULTURA COMO SUPRIMENTO HÍDRICO E NUTRICIONAL

VELOSO, M.E.C.<sup>1</sup>; DUARTE, S.N.<sup>2</sup>; SILVA, I.J.O.<sup>2</sup>

**RESUMO:** No último século, houve um rápido crescimento da população humana, o que contribuiu para um sensível desequilíbrio ambiental, especialmente causado pelos resíduos produzidos, e que vem se agravando cada vez mais, especialmente em áreas próximas aos grandes centros urbanos. A água tornou-se um recurso natural cada vez mais escasso, em quantidade e, especialmente, em qualidade. O uso múltiplo da água e o reuso das águas residuárias tratadas, de forma integrada e sustentável com sistemas de irrigação inteligentes e eficientes, são orientações técnicas praticamente obrigatórias nos dias atuais. Assim sendo, este trabalho teve como objetivo disponibilizar informações técnicas e científicas sobre o potencial do uso racional da água residuária tratada na agricultura irrigada, no que diz respeito à disponibilidade do nitrogênio e do fósforo no solo e nas plantas. O uso de águas residuárias é uma das propostas mais viáveis teoricamente em função da aplicação prática da fertirrigação e da preservação do meio ambiente, propiciando um aporte de grande quantidade de nutrientes, um maior rendimento dos cultivos e a melhoria da qualidade dos solos.

**Palavras-chave:** águas residuárias, irrigação, nitrogênio e fósforo.

## WASTEWATER POTENTIAL USE IN AGRICULTURE AS A HYDRIC AND NUTRITIONAL SUPPLY

**SUMMARY:** In the last century there was a fast growth of the human population contributing to an environmental unbalance, especially caused by the residues produced and it is becoming worsening, especially close to areas of great urban centers. Water has become a natural more scarce resource, in amount and especially in quality. The multiple use of water and the reutilization of treated wastewater, in an integrated and maintainable way with intelligent and efficient irrigations systems, are technical orientations practically obligatory in the current days. This work had the objective of making available technical and scientific information about the rational use of treated wastewater potential in irrigated agriculture concerning to the availability of nitrogen and phosphorus in the soil and in the plants. The use of treated wastewaters is one of the theoretically viable proposals in function of the practical application of the fertirrigation and preservation of the environment, propitiating a contribution to increase the amount of nutrients and the crop yields, also improving the soil quality.

**Keywords:** wastewater, irrigation, nitrogen and phosphorus.

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, Embrapa Meio-Norte, Doutorando do Programa de Pós-graduação em Irrigação e Drenagem, ESALQ/USP, Piracicaba, SP, E-mail: meveloso@esalq.usp.br.

<sup>2</sup> Prof. Doutor ESALQ/USP, Piracicaba, SP.  
Recebido pela Comissão Editorial em: 05.08.04  
Aprovado pela Comissão Editorial em: 29.10.04

## INTRODUÇÃO

A crise ambiental é cada vez maior no planeta e cresce juntamente com o aumento desordenado da população, que ocorre em forma exponencial, especialmente nos grandes centros urbanos. Isso contribui para a redução da qualidade de vida e provoca o desequilíbrio nos recursos naturais e o aumento da poluição, situação que tende a se agravar especialmente a médio e longo prazo. A população do planeta passou de 2,5 bilhões, em 1950, para 6 bilhões, em 2000, com uma taxa de crescimento de 1,3% aa. Anualmente são

incorporados a essa população mais 78 milhões de pessoas, distribuídas entre os 230 países dos cinco continentes. Os países desenvolvidos contêm em torno de 20% da população mundial; os outros 80% estão distribuídos nos países em desenvolvimento e subdesenvolvidos. As taxas brutas de natalidade e de mortalidade no mundo estão em torno de 365.682 e 149.597 habitantes por dia, respectivamente. Esse aumento acentuado da população ocorreu após a Revolução Industrial, na segunda metade do século XIX (BRAGA et al., 2002).

Um aspecto importante a observar é que, enquanto

o crescimento da população mundial foi duplicado nos últimos 60 anos, o consumo de água foi multiplicado por sete. A água no nosso planeta é um recurso natural cada vez mais escasso, em quantidade e, especialmente, em qualidade. Segundo Santos (1998), a prática de irrigação é o principal agente consumidor de água do mundo, nela se usando cerca de 70% do recurso; as áreas irrigadas respondem por 40% da produção agrícola e ocupam 17,7% da área total cultivada. Nos países em desenvolvimento, a média de uso da água para irrigação situa-se acima de 13 mil m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, razão pela qual se fazem necessários um esforço na otimização do uso da água (CHRISTOFIDIS, 2001) e a buscar por fontes alternativas desse recurso. Um exemplo seria o uso das águas residuárias tratadas, especialmente nas regiões de clima árido e semi-árido, por abrangerem 55% da área continental do globo (DAKER, 1984), como também nas regiões próximas às grandes metrópoles, para atender à demanda do crescimento da população por alimentos e fibras.

Nas regiões de maior escassez de água, devem-se implementar pesquisas para o uso múltiplo dos corpos d'água e o reuso das águas residuárias tratadas, de forma integrada e sustentável. Outro fator que se deve considerar, quando se usa água residuária na agricultura, é a escolha do método de irrigação, devendo prevalecer aquele com melhor viabilidade técnico-econômico-ecológica. Além disso, o método escolhido deve propiciar benefícios sociais advindos do seu uso; deve buscar eficiência cada vez maior dos recursos hídricos e uma gestão adequada dos efluentes agrícolas, e deve evitar a contaminação dos irrigantes e do meio ambiente (BERNARDO, 1995, RAMOS; MANTOVANI, 1994). O volume disponível desse recurso hídrico, no mundo, é de cerca de 0,6 milhões de m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>; apresenta uma concentração de nitrogênio e de fósforo total de 35 a 70 mgN L<sup>-1</sup> e de 5 a 25 mgP L<sup>-1</sup>, respectivamente, em função dos diferentes usos e formas à qual a água foi submetida e apresenta variação em sua composição, de acordo com o clima, a situação sócio-econômica e os hábitos da população (VON SPERLING, 1996).

Levando-se em consideração tais aspectos, objetivou-se, neste trabalho de revisão, disponibilizar informações técnicas e científicas sobre o potencial do uso racional da água residuária tratada na agricultura irrigada, no que diz respeito à disponibilidade do nitrogênio e do fósforo no solo e nas plantas, contribuindo, dessa forma, para disseminar os conhecimentos sobre o tema.

## AS ÁGUAS RESIDUÁRIAS E O MEIO AMBIENTE

Nos corpos d'águas da natureza, a reciclagem da matéria ocorre naturalmente, por meio do ciclo biogeoquímico. Nas águas residuárias, geralmente,

ocorre o desequilíbrio entre o consumo e a reciclagem, o que pode causar problemas ecológicos, em função do fato de os resíduos gerados superarem a capacidade de absorção e de reciclagem dessa matéria, especialmente no que diz respeito aos produtos sintéticos não-biodegradáveis. Atualmente essas águas causam problemas no mundo inteiro e o seu volume vem aumentando, em função do crescimento da população. O consumo médio de água potável por pessoa está em torno de 200 L dia<sup>-1</sup>. Considerando-se a população mundial do ano de 2000 e o retorno de somente 50% dessas águas, estima-se um volume aproximado de 0,6 bilhões m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> de esgotos domésticos, sendo a maior parte incorporada aos recursos hídricos, o que contribui para o agravamento dos problemas de desequilíbrio ambiental no planeta (BRAGA et al., 2002).

Ao se utilizarem águas residuárias, devem-se tomar cuidados especiais, principalmente quando há contato com as pessoas, pois o seu uso inadequado pode transmitir epidemias, como febre tifóide, cólera, disenterias, hepatite infecciosa e inúmeros casos de verminoses, responsáveis por elevados índices de mortalidade em países em desenvolvimento e subdesenvolvidos. As águas residuárias podem também contaminar os mananciais, os alimentos, os utensílios domésticos, as mãos, os solos ou ser transportadas por vetores, como moscas e baratas, provocando novas infecções.

As águas residuárias contêm, ainda, inúmeros organismos vivos, liberados junto com os dejetos humanos. Alguns são de suma importância no tratamento dessas águas, pois decompõem a matéria orgânica complexa, transformando-a em compostos orgânicos mais simples e estáveis. Por isso, torna-se importante conhecer as águas residuárias sanitárias, tanto no que diz respeito à sua composição quantitativa, quanto à sua composição qualitativa, para dimensionar e medir a eficiência das estações de tratamento de esgotos, assim como para analisar o seu potencial de uso na agricultura irrigada.

Os maiores potenciais de uso dessas águas possivelmente estão nas irrigações de parques e jardins públicos, centros esportivos, campos de futebol, campos de golfe, jardins de escolas e universidades, gramados, árvores e arbustos em avenidas e rodovias. Outros usos potenciais incluem culturas, como o algodão (desde que o caroço não vá para alimentação animal), seringueira, florestas de pinheiros e eucaliptos, cana-de-açúcar (desde que seja para a produção de álcool e o bagaço não vá para alimentação animal), entre outras.

## USO DE ÁGUA RESIDUÁRIA NA AGRICULTURA IRRIGADA

O uso de esgotos na agricultura irrigada, em Atenas, remonta à era antes de Cristo, ressurgindo na

Alemanha e na Inglaterra, nos séculos XVI e XVII. O uso do esgoto tratado no solo iniciou-se há cerca de três décadas, embora fosse muito utilizado empiricamente no passado (PAGANINI, 1997).

Os esgotos são vistos, atualmente, como um insumo útil, de valor comercial e integrado ao ecossistema. O solo funciona como um depurador natural (processos físicos, químicos e biológicos), ou seja, funciona como um filtro vivo que retém, absorve e transforma em alimento e nutrientes a matéria orgânica presente nos esgotos.

A retomada dos métodos de disposição de esgotos no solo, via irrigação, faz-se, atualmente, em larga escala e com grande sucesso em todo o mundo. Geralmente não há restrições químicas quanto à qualidade dos esgotos sanitários domésticos tratados para uso na irrigação, exceto quando há metais pesados. Contudo é necessário que a disposição dos esgotos se faça sem promover o excesso de nutrientes no solo. Com a disposição dos esgotos no solo, consegue-se não só a eficiência pretendida pelos tratamentos convencionais terciários, a custo muito menores, como também a utilização dos nutrientes dos esgotos como fertilizantes e o reuso da água para vários fins (CORAUCCI FILHO et al., 1999).

O uso de irrigação com águas residuárias é um dos mais viáveis, teoricamente em função da aplicação prática, da garantia de produtividade por causa da fertirrigação e da preservação da qualidade ambiental, devido à proteção das águas superficiais, o que evita lançamentos diretos nos corpos d'água (CORAUCCI FILHO et al., 1999).

A água distribuída nas áreas irrigadas favorece o crescimento das plantas e garante que a ação de parte do tratamento se dará por processos físicos, químicos e biológicos, tendo como reatores desse sistema de tratamento o solo e as raízes das plantas. A água residuária industrial ou doméstica, se convenientemente disposta, pode ser usada em diversas culturas. O uso dessa água tem os seguintes propósitos: reduzir o uso de adubos químicos, permitir economia de custos e investimentos e propiciar a conservação de áreas verdes, de parques, de canais, de plantações de algodão, de florestas, etc.

Geralmente, os órgãos de saúde pública limitam o emprego dos esgotos domésticos na irrigação, devido às suas características qualitativas. Na Califórnia, por exemplo, exigem-se tratamento biológico e desinfecções, de forma a reduzir o grau de contaminação deste efluente para 23 coliformes 100 ml<sup>-1</sup>, para irrigar parques, jardins e pastagem; já para culturas agrícolas, o limite é de 2,2 coliformes 100 ml<sup>-1</sup>. No Estado do Missouri, a irrigação em vegetação para forragem e parques exige um efluente tratado e desinfetado, permitindo um número máximo de 200 coliformes 100 ml<sup>-1</sup>; porém esses valores estão sendo revistos (LÉON; CAVALLINI, 1999).

As principais desvantagens do uso da água

residuária na irrigação são a produção de odores, a estagnação dos despejos em charcos e o desenvolvimento de moscas. Em contrapartida, a implantação e a operação têm baixo custo e alta eficiência (CORAUCCI FILHO et al., 1999).

A expansão da área irrigada com águas residuárias vem aumentando, notadamente nos últimos anos, em virtude da ampliação da fronteira agrícola, da disponibilidade permanente de água residuária e dos benefícios que o seu uso propicia, como o aporte de grande quantidade de nutrientes, o aumento do rendimento dos cultivos e a melhoria da qualidade dos solos (estrutura).

Atualmente, a área irrigada com água residuária é bastante significativa no mundo. A Tabela 1 mostra os principais países que utilizam essas águas na agricultura irrigada e suas respectivas áreas. A China destaca-se dos demais países por possuir a maior área irrigada com essa água, 76% da área irrigada total, seguida pelo México, pela Índia e pelos Estados Unidos.

**Tabela 1** - Área irrigada com águas residuárias em diferentes países.

País	Área irrigada (ha)	Porcentagem (%)
China	1.330.000	76,0
México	250.000	14,3
Índia	73.000	4,2
Estados Unidos	13.500	0,8
Outros	78.500	4,5
Total	1.745.000	100

Fonte: Adaptado de Léon e Cavallini (1999).

Estima-se que na América Latina e no Caribe existam mais de 400.000 ha de área irrigada com esgoto de forma direta, sendo a maioria sem tratamento prévio. Nessa região, apenas 49% da população é atendida por rede de esgotos (LEON; CAVALLINI, 1999).

Coraucci Filho et al. (1999) destacam o caso de Israel, onde cerca de 70% do volume de água residuária é utilizado para a irrigação, após tratamento, principalmente no cultivo do algodão. A Austrália utiliza água residuária desde 1897; atualmente, opera um volume de 250.000 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>, que, após tratamento superficial no solo, garante a pastagem de 13.000 bovinos e 3.000 ovinos.

O emprego de águas residuárias tem como propósitos, o reuso, a recarga de aquífero e as finalidades agrícolas. A escolha da finalidade a que se destina a água residuária é função do impacto ambiental, do custo do empreendimento, dos problemas de engenharia a enfrentar, da aceitação pública e de outros fatores. A irrigação deve ser feita em função da economia, da eficiência, da manutenção e da operação do sistema.

As águas residuárias tratadas são ricas, principalmente, em nutrientes e microorganismos. A

**Tabela 2** - Necessidades hídricas e potencial de área irrigada com águas residuárias.

Cultura	Demanda de água por ciclo (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Demanda média de água por ciclo (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Área irrigável* (ha)
Citros	9000 e 12000	10500	57.143
Algodão	7000 a 13000	10000	60.000
Uva	5000 e 12000	8500	70.588
Milho	5000 e 8000	6500	92.307
Sorgo	4500 e 6500	5500	109.090
Cana-de-açúcar	15000 a 25000	20000	30.000

Fonte: Adaptado de Doorenbos e Kassam (2000).

\*Considerou-se a disponibilidade de 0,6 bilhões m<sup>3</sup> de esgotos domésticos por dia

Tabela 2 mostra o potencial da área irrigada que poderia ser incorporada por dia, utilizando-se água residuária. Observa-se que, com a água residuária disponível no mundo, daria para se irrigar uma área de 109.090 ha de sorgo e 60.000 ha de algodão ou, ainda, 30.000 ha de cana-de-açúcar por dia.

O manejo inadequado da irrigação com águas residuárias pode contribuir para a lixiviação e/ou a percolação do nitrogênio, na forma de nitrato, através do perfil de solo, e causar problemas a médio e longo prazo, poluindo os aquíferos subterrâneos ou os corpos d'água superficiais. Isso ocorre quando uma camada não saturada, altamente porosa, situa-se sobre o aquífero, permitindo a percolação de nitratos. Entretanto, quando há uma camada profunda e homogênea, capaz de reter nitratos, a possibilidade de contaminação é bastante pequena. A assimilação de nitrogênio pelas culturas reduz também a possibilidade de contaminação da zona freática por nitratos, mas isso depende das taxas de assimilação demandadas pelas plantas e das taxas de aplicação de esgotos no solo.

### EFEITO DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS SOBRE AS CULTURAS

O uso de águas residuárias na agricultura irrigada, quando manejada adequadamente, contribui para o aumento do rendimento agrícola e a melhoria na qualidade ambiental, reduzindo o consumo de fertilizantes artificiais, com conseqüentes diminuição de gastos com energia e redução da contaminação industrial, causada pela fabricação dos fertilizantes. A Tabela 3 mostra o efeito da irrigação, utilizando-se diferentes tipos de água

sobre as culturas do arroz, da batata e do algodão. Verifica-se que o uso da água residuária sem tratamento, de um modo geral, propiciou produtividade superior àquela obtida com o uso de efluentes de lagoas de estabilização e com o uso de água normal, enriquecida de NPK. Isso comprova que a existência de nutrientes nessas águas, provavelmente, contribuiu para o aumento da produtividade. Apesar da maior tendência ao aumento da produtividade com a aplicação de água residuária sem tratamento, não se deve fazer uso desta, especialmente devido ao risco à saúde pública e à contaminação do meio ambiente. Desse modo, pode-se inferir que o uso de água residuária na agricultura deve ser realizado com adequados tratamento e monitoramento ao longo do ciclo das culturas.

Os esgotos domésticos tratados, quando utilizados na agricultura irrigada, também contribuem para o aumento da produtividade. A Tabela 4 mostra o potencial de cultivo com hortaliças, forrageiras e culturas anuais, utilizando-se águas residuárias tratadas e águas superficiais. O cultivo do tomateiro irrigado com água de esgoto tratado apresentou maior produtividade, quando comparada com a água de superfície, com um incremento de 192%, destacando-se o potencial do uso da água residuária nessa hortaliça. No cultivo com milho, aveia forrageira e batata também se observaram incrementos de produtividade de 150%, 83% e 150%, respectivamente, ou seja, valores bastante significativos.

O aumento da produção obtida, no caso do uso de águas residuárias tratadas, pode ser atribuído aos nutrientes encontrados nessas águas, na forma de solutos, facilmente assimilados pelas plantas e aplicados a cada evento de irrigação. A presença de grande

**Tabela 3** - Rendimento médio de algumas culturas irrigadas com águas de diferentes qualidades.

Tipo de água	Arroz (Mg.ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	Batata (Mg.ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	Algodão (Mg.ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )
Normal com NPK	2,03	17,16	1,70
Residuária sem tratamento	2,97	23,11	2,56
Efluente de lagoas de estabilização	2,94	20,78	2,56

Fonte: Adaptado de Shende (1985 apud LÉON; CAVALLINI, 1999).

**Tabela 4** - Rendimento médio de algumas culturas irrigadas com esgoto tratado e água de superfície, em Tacna, Peru.

Cultivo	Esgotos tratados (Mg ha <sup>-1</sup> )	Águas superficiais (Mg ha <sup>-1</sup> )	Incremento de Produtividade (%)
Milho	5	2	150
Aveia forrageira	22	12	83
Tomate	35	12	192
Batata	30	12	150

Fonte: León e Cavallini(1999).

quantidade de nutrientes é uma das principais razões para se preferir a irrigação com águas de esgoto doméstico tratado, mesmo quando se conta com outras fontes de água. A economia advinda da redução do uso de fertilizantes tradicionais e de adubos químicos pode contribuir com a redução de até 50% dos custos totais de produção.

As possibilidades e as maneiras de reuso das águas residuárias dependem, evidentemente, de características, condições e fatores locais, tais como decisão política, esquemas institucionais, disponibilidade técnica e fatores econômicos, sociais e culturais, inerentes a cada região.

Os critérios para se avaliar o impacto de um sistema integrado de tratamento e uso de águas residuárias na agricultura irrigada são múltiplos e complexos (sociais, econômicos, legais, baseados na aceitação pela comunidade, ambientais, dentre outros). Devido a tal complexidade, atualmente, há carência de tecnologias sustentáveis para o uso dessas águas na irrigação.

No que diz respeito à nutrição das plantas, são 16 os elementos fundamentais à sua manutenção, encontrados principalmente nas formas minerais ou mineralizadas, na solução no solo. Os macronutrientes principais são o nitrogênio, o fósforo e o potássio. Em seguida, estão os macronutrientes secundários, quais sejam, o cálcio, o magnésio e o enxofre. Por último, os micronutrientes: ferro, manganês, cobre, zinco, boro, mobilidênio e cloro.

Depois do carbono, do oxigênio e do hidrogênio, o nitrogênio é, quantitativamente, o elemento mais exigido pelas plantas e pelos microorganismos, para os respectivos crescimento e desenvolvimento na água e no solo. O nitrogênio faz parte da constituição das moléculas de proteínas, ácidos nucleicos, vitaminas, enzimas e hormônios, que são elementos vitais aos seres vivos. A forma de amônio é a preferida pelas plantas, mas o nitrato é o tipo mais comum em ambientes bem arejados. Este elemento encontra-se na maioria dos solos, principalmente nos cultiváveis, onde 95%, ou mais, do nitrogênio permanece na forma orgânica e somente uma pequena parcela fica na forma inorgânica. As formas minerais do nitrogênio, ou seja, o nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), o nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) e o amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), embora sendo as mais prontamente assimiláveis pelas plantas, representam

uma pequena parte do N total do solo. O amônio, por ser um cátion, encontra-se na forma trocável nas micelas das argilas do solo, enquanto o nitrato (ânion) é repelido pela superfície das partículas do solo, permanecendo em solução, estando, pois, mais susceptível às perdas por lixiviação. Geralmente, nos esgotos frescos, o N está presente na forma de proteína e uréia (BAIRD, 2002; VANLOON; DUFFY, 2000).

O fósforo é um dos nutrientes mais importantes para os organismos vivos, sendo considerado um dos principais fatores limitantes da produtividade, depois da água; ele é encontrado, quase sempre, em quantidade insuficientes no solo. Esse elemento participa da elaboração da fotossíntese, dos mecanismos de transporte e da acumulação de energia, uma vez que é parte integrante do ADP e do ATP (HAVLIN et al., 1998).

## TRATAMENTO DO NITROGÊNIO E DO FÓSFORO NOS ESGOTOS SANITÁRIOS

O termo esgoto é usado para caracterizar os despejos provenientes dos diversos usos da água, como o doméstico, o comercial, o industrial e o agrícola, em estabelecimentos públicos e outros locais. Esgotos sanitários são despejos líquidos constituídos de esgotos domésticos e industriais, lançados na rede pública e em águas de infiltração. Os esgotos domésticos constituem a parcela mais significativa dos esgotos sanitários; provêm, principalmente, de residências e de edificações públicas e comerciais que concentram aparelhos sanitários, lavanderias e cozinhas. Os esgotos compõem-se basicamente das águas de banho, urina, fezes, restos de comida, sabões, detergentes e águas de lavagem.

A Tabela 5 mostra uma classificação do esgoto, em função da concentração de sua carga orgânica. Verifica-se que as águas de esgotos domésticos são ricas em nutrientes, principalmente em nitrogênio e fósforo. O excesso de N e P nos corpos d'água contribuem para o desequilíbrio do meio ambiente, destacando-se o fenômeno da eutrofização. Por isso, a remoção de N e P das águas residuárias é um dos aspectos mais estudados na disposição desse tipo de efluente; entretanto, são necessárias ainda novas pesquisas que visem a diminuir os efeitos negativos ao meio ambiente, quando esses dois nutrientes se encontram em altas concentrações.

**Tabela 5** - Concentração de carga orgânica (mg L<sup>-1</sup>) no esgoto.

Condição do esgoto	Forte	Médio	Fraco
*DBO, 5 d, 20°C	350	190	110
**O.D.	0	0	0
Nitrogênio total	70	40	20
Fósforo total	12	7	4

FONTE: Tchobanoglous; Burton e Stencil (2003).

\*DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio.

\*\*OD – Oxigênio Dissolvido.

O nitrogênio e o fósforo podem ser removidos do esgoto por via biológica. A remoção de N faz-se pela nitrificação/desnitrificação, ocorrendo a desnitrificação em reator com oxigênio dissolvido nulo e com consumo de matéria orgânica. A remoção biológica do fósforo dá-se pela sua incorporação na massa de lodo (em sistema biológico contendo reator anaeróbio, seguido de reator aeróbio). O fato indica a necessidade de matéria orgânica no esgoto afluente, para uma boa produção de lodo, e, conseqüentemente, uma boa remoção de fósforo, mesmo havendo, nesse tipo de sistema biológico, uma incorporação de fósforo ao lodo, bem superior àquela observada em sistemas biológicos totalmente aeróbios (porcentagem de fósforo no lodo volátil superior a 4% e 6%, em sistema com câmaras anaeróbias e aeróbias, contra 2,5%, em sistemas totalmente aeróbios), Além Sobrinho e Kato, (1999).

Quando uma remoção elevada de nitrogênio é requerida, o sistema é composto de reator UASB, seguido de tratamento biológico aeróbio complementar. Nesse caso, cerca de 50% do esgoto deve ser enviado diretamente para o tratamento aeróbio complementar, sendo todo o lodo estabilizado no reator UASB.

Para conseguir elevado nível de remoção biológica de fósforo, não é recomendado o uso de reator UASB a montante do sistema biológico com remoção de fósforo. O uso de reator anaeróbio em ETEs (estação de tratamento de esgoto), com elevado nível de remoção de fósforo, implica a adição de produtos químicos em tratamento complementar, que poderá ser biológico aeróbio, flotação por ar dissolvido ou mesmo coagulação-floculação, decantação e filtração. O lodo gerado no tratamento complementar, com o uso de produtos químicos, poderá ser estabilizado no reator anaeróbio (ALÉM SOBRINHO e KATO, 1999).

## POTENCIAL DE USO DO N E DO P ORIUNDOS DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS TRATADAS

As águas residuárias tratadas possuem diferentes qualidades físicas, químicas e biológicas e, geralmente, são ricas em nitrogênio e fósforo. A Tabela 6 mostra os valores das concentrações desses nutrientes existentes nos esgotos domésticos.

**Tabela 6** - Valores das concentrações de nitrogênio e fósforo existentes nos esgotos domésticos.

Elemento	Unidade	Intervalo de valores
N-NH <sub>3</sub>	mg L <sup>-1</sup>	15,0 – 30,0
P	mg L <sup>-1</sup>	3,7 – 14,5

Fonte: Adaptado de Coraucci Filho et al. (1999).

Considerando-se o volume de 0,6 bilhões de m<sup>3</sup> de água residuária disponível diariamente no mundo, estimado em função da população de 2000, e uma concentração média de nitrogênio e fósforo de 22,5 e 9,1 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente, haverá uma disposição diária de 27.000 Mg de N e 10.920 Mg de P (25.006 Mg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Esses elementos, disponíveis nas águas residuárias tratadas, podem contribuir para a redução dos custos de produção da agricultura irrigada ou para a elevação do nível de poluição, se aplicados diretamente nos recursos hídricos superficiais.

As plantas necessitam de nutrientes para os seus crescimento e desenvolvimento, sendo o N e o P os macronutrientes estratégicos para a melhoria de produção da maioria das culturas. As Tabelas 7 e 8 mostram a recomendação para a cultura do milho de N e P, no Estado de São Paulo.

**Tabela 7** - Recomendação de adubação mineral de plantio, para nitrogênio e fósforo, na cultura do milho no Estado de São Paulo.

Produtividade Esperada	Nitrogênio	P resina, mg dm <sup>-3</sup>			
		0 – 6	7 – 15	16- 40	> 40
Mg ha <sup>-1</sup>	N, kg ha <sup>-1</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , kg ha <sup>-1</sup>			
2 - 4	10	60	40	30	20
4 - 6	20	80	60	40	30
6 - 8	<b>30</b>	90	<b>70</b>	50	30
8 - 10	30	-	90	60	40
10 - 12	30	-	100	70	50

Fonte: Adaptado de Raji et al. (1996).

**Tabela 8** - Recomendação de adubação de cobertura de nitrogênio, na cultura do milho no Estado de São Paulo.

Produtividade esperada Mg.ha <sup>-1</sup>	Classe de resposta a nitrogênio		
	1. Alta	2. Média	3. Baixa
	----- N, kg.ha <sup>-1</sup> -----		
2 – 4	40	20	10
4 – 6	60	40	20
6 – 8	<b>90</b>	60	40
8 – 10	120	90	50
10 – 12	140	110	70

Fonte: Adaptado de Raij et al. (1996).

De acordo com os resultados da Tabela 7 e 8, para uma produtividade almejada de 6 a 8 Mg ha<sup>-1</sup> para a cultura do milho, recomenda-se a utilização de 30 kg ha<sup>-1</sup> N e 70 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, para serem aplicados no plantio e 90 kg ha<sup>-1</sup> N, em cobertura. O nitrogênio (N) e o fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) existentes nas águas residuárias produzidas em um dia no mundo, seriam suficientes para atender à demanda de uma área cultivada de 112.500 e 178.614 ha, respectivamente.

A América Latina descarregava cerca de 405 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> de águas residuárias brutas nos rios e mares, no final da década de 1990, segundo Bartone (1990 apud LEON; CAVALLINI, 1999). Estima-se que, após tratamento em lagoa de estabilização e logo utilizadas na agricultura, essas águas poderiam transportar diariamente 483.000 Mg de nitrogênio, 168.000 Mg de fósforo e 9.400 Mg de potássio, segundo Moscoso e Egocheaga (1991 apud LEON; CAVALLINI, 1999).

Efluentes de sistemas convencionais de tratamento, tais como os de lodos ativados, têm uma concentração típica de 15 mg L<sup>-1</sup> de N total e 3 mg L<sup>-1</sup> de P total, proporcionando, portanto, às taxas usuais de irrigação em zonas semi-áridas (aproximadamente 2.000 mm por ano) uma aplicação de N e P de 300 e 60 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente (BRAGA et al., 2002). Essa aplicação de nutrientes reduz substancialmente, ou mesmo elimina, a necessidade do emprego de fertilizantes comerciais. Além dos nutrientes, a aplicação de esgotos proporciona a adição de matéria orgânica, que age como um condicionador do solo, aumentando sua capacidade de reter água.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O solo e as plantas, como depuradores naturais, podem funcionar como um reator renovável de águas residuárias, sendo os esgotos utilizados como fonte de energia, complementando o seu tratamento, ao ser aplicado via irrigação.

Devido à carência de pesquisas relacionadas ao aproveitamento do N e P no solo e nas plantas, oriundos da aplicação de águas residuárias tratadas, o seu uso tem sido restrito em diversos países do mundo, causando vários problemas ambientais como, por exemplo, a

poluição nos corpos de água.

A falta de garantia da qualidade dos produtos, exigida pelos consumidores, bem como a aceitação cultural por parte dos irrigantes quanto ao uso de águas residuárias, têm reduzido o potencial de utilização dos mesmos em áreas irrigadas.

O volume de água residuária, em função do aumento da população, é cada vez maior em nosso planeta. Embora de manejo complexo, ela é rica em nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo. A superação da carência de pesquisa e a transferência de tecnologia podem contribuir para um aproveitamento mais racional desse recurso pela agricultura irrigada, economicamente correta, ecologicamente viável e socialmente justa, melhorando a oferta de alimentos saudáveis para a população, de forma sustentável, influenciando positivamente na redução da fome no mundo.

O mundo vive atualmente grandes graves problemas de poluição ambiental, falta de água, desemprego e fome. A agricultura irrigada, apesar de consumir bastante água, gera muito emprego, alimentos em quantidade e qualidade, e, com o reuso da água residuária, pode amenizar esses problemas e contribuir para uma melhoria da qualidade de vida do homem e para a preservação do nosso planeta.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALÉM SOBRINHO, P.; KATO, M.T. Análise crítica do uso do processo anaeróbio para o tratamento de esgotos sanitários. In: CAMPOS, J.R., (Coord). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. p.302-320.
- BAIRD, C. **Química ambiental**. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 622p.
- BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.G.L.; BARROS, M.T.L.; VERAS JR., M.S.; PORTO, M.F.A.; NUCCI, N.L.R.; JULIANO, N.M.A.; EIGER, S. **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2002. 305p.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6.ed. Viçosa: UFV, Impr. Univ., 1995. 657p.

CHRISTOFIDIS, D. Os recursos hídricos e a prática da irrigação no Brasil e no mundo. **Revista Item**, Brasília, n.49, p.8-13, 2001.

CORAUCCI FILHO, B.; CHERNICHARO, C.A.L.; ANDRADE NETO, C.O.; NOUR, E.A.; ANDREOLI, F.N.; SOUZA, H.N.; MONTEGGIA, L.O.; SPERLING, M.V.; LUCAS FILHO, M.; AISSE, M.M.; FIQUEREDO, R.F.; STEFANUTTI, R. Tecnologia do tratamento de águas residuárias no solo: infiltração rápida, irrigação e escoamento superficial. In: CAMPOS, J.R. (Coord). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. p.357-403.

DAKER, A. **A água na agricultura: irrigação e drenagem**. 6.ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1984. v.3, 543p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento da culturas**. 2.ed. Campina Grande: UFPB, 2000. 306p. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 33).

HAVLIN, J.L.; BEATON, J.D., TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. **Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management**. London: Prentice Hall, 1998. 688p.

LÉON S. G.; CAVALLINI, J.M. **Tratamento e uso de águas residuárias**. Campina Grande: UFPB, 1999. 110p.

PAGANINI, W.S. **Disposição de esgotos no solo: escoamento à superfície**. São Paulo: Fundo Editorial da AESABESP, 1997. 231p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônômico; Fundação IAC, 1996. 285p. (IAC. Boletim Técnico, 100).

RAMOS, M.M.; MANTOVANI, E.C. Sistema de irrigação e seus componentes. In: COSTA, E.F. da; VIEIRA, R.F.; VIANA, P.A. **Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação**. Brasília: Embrapa, SPI; Sete Lagoas: Embrapa, CNPMS, 1994. p.41-48.

SANTOS, J.R.M. Irrigar é preciso. **Agroanalysis**, Rio de Janeiro, v.18, n.3, p.29-34, 1998.

TCHOBANOGLOUS, G.; BURTON, F.L.; STENCEL, H.D. (Ed.) **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4th.ed. Boston: Mcgraw-Hill, 2003. 1819p.

VANLOON, G.W.; DUFFY S.J. Microbiological processes. In: \_\_\_\_\_. **Environmental chemistry: a global perspective**. Oxford: Oxford University Press, 2000. p.319-347.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2.ed. Belo Horizonte: UFMG, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1996. 243p. (Princípios de Tratamento Biológico de Águas Residuárias, 1).