

## **EVOLUÇÃO DO PROCESSO DE DISPOSIÇÃO DE ESGOTO TRATADO ATRAVÉS DO ESCOAMENTO SUB-SUPERFICIAL EM SOLO PREPARADO COM COBERTURA VEGETAL**

**Manoel Lucas Filho<sup>(1)</sup>, Cícero Onofre de Andrade Neto, Dinarte Aéda da Silva, Henio Normando de Souza Melo e Maria Gorete Pereira**

*<sup>(1)</sup> LARHISA - Laboratório de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Centro de Tecnologia-UFRN, Campus Universitário 59072-970 Natal/RN*

### **RESUMO**

Devido a escassez de água na região semi-árida do Nordeste brasileiro, a disposição controlada de água residuária no solo como técnica de pós-tratamento pode ser caracterizada como um método apropriado de disposição final, pois aporta uma série de vantagens como o benefício agrícola, o baixo investimento, o pequeno custo de operação, o baixo consumo de energia e, principalmente, o impedimento de descargas de substâncias poluentes nos corpos d'água que, no caso da região semi-árida nordestina, constituem-se de reservas hídricas de aluviões de rios secos que significam praticamente os únicos aquíferos disponíveis para as populações rurais e pequenas cidades. No presente trabalho apresenta-se o desenvolvimento de uma técnica de disposição controlada de água residuária no solo que seja adequada às condições geológicas, edafológicas e geomorfológicas dessa região e que permite o aproveitamento econômico dessa água. Assim foram experimentados vários módulos conhecidos como "Tabuleiros Inclinações" com fundo impermeável e solo preparado com areia franca média e areia grossa, num primeiro momento, uma situação comparada aos solos rasos do cristalino às margens dos aluviões dos rios secos. Os experimentos constataram que os tabuleiros apresentaram uma eficiência muito boa ao longo dos dois últimos anos, com uma remoção de DQOt (média de 53%), DQOf (média de 52%), COT (média de 64%) e sólidos suspensos superior a 70%, com concentrações médias no efluente de 53mgDQOt/L, 35mgDQOf/L, 4,6mgCOT/L e 7,5mgSS/L. A remoção de nutrientes como nitrogênio amoniacal superior a 96% e fósforo (média de 93%) num afluente com baixa concentração em matéria orgânica, significa uma eficiência bastante considerável.

### **PALAVRAS CHAVE**

Disposição no Solo, Pós-tratamento, Remoção de Nutrientes.

### **INTRODUÇÃO**

A região nordestina padece de escassez de água e, nesse contexto, a disposição controlada no solo de água residuária, como técnica de pós-tratamento, pode se caracterizar como um método apropriado de disposição final para essas regiões semi-áridas, pois aporta uma série de vantagens, a saber: o benefício agrícola em casos específicos, o baixo investimento, o pequeno custo de operação, o baixo consumo de energia e, principalmente, o impedimento de descargas de substâncias poluentes nos corpos d'água que, no caso da região semi-árida nordestina, constituem-se de reservas hídricas de aluviões de rios secos que significam praticamente os únicos aquíferos disponíveis para as populações rurais e pequenas cidades.

O projeto piloto de reuso de água residuária desenvolvido no PROSAB-RN nos últimos três anos, cujos resultado aqui apresentamos, teve como objetivo principal desenvolver uma metodologia segura que garantisse a aplicação, em escala real, de esgotos sanitários das pequenas e médias cidades do semi-árido nordestino, visando, principalmente, determinar a eficiência de remoção de matéria orgânica, sólidos, nutrientes eutrofizantes e patogênicos, bem como estudar a produção da biomassa vegetal, proteína bruta e fertilidade do solo, avaliando experimentalmente uma planta (tabuleiros confinados) para a disposição no solo de efluentes de reatores anaeróbios.

Nesse sentido, buscou-se as alternativas de irrigação de culturas forrageiras bem aceitas pelos agricultores da região, como forma de proporcionar o polimento final de efluentes tratados de esgotos domésticos. O efluente resultante desse polimento em tabuleiros confinados, ou seja, rampas de solo preparado em leito impermeável, foi classificado como sendo de padrão “sem restrição para irrigação” e de balneabilidade, podendo ser aproveitado para a irrigação de fruticulturas, grandes culturas (algodão, milho, trigo, soja, etc), olericultura (legumes, verduras, etc), etc., bem como, poderá ser despejado em corpos d’água balneáveis, não só pelo baixo nível de patogênicos, mas, principalmente, pelo reduzido teor de nutrientes eutrofizantes, principalmente o fósforo.

Essa técnica de disposição controlada no solo tem se mostrado eficiente na remoção de patogênicos e nutrientes e se constitui numa atividade essencialmente de reciclagem, inclusive para a água. No caso dos nutrientes presentes nos efluentes líquidos o sistema solo-plantas propicia, através da agricultura e da agropecuária, reflexos nas condições sócio-econômicas regionais, sendo assim muito adequadas à realidade nordestina., principalmente devido sua alta relação benefício/custo. Ao percolar subsuperficialmente no terreno o efluente sofre tratamento no interior do solo, com este último se comportando como camada “filtrante”. Isso possibilita as ações de adsorção e as atividades dos microrganismos, os quais usam a matéria orgânica contida nos despejos como alimento, convertendo-a em matéria mineralizada (nutrientes) que fica à disposição da vegetação.

O sistema de aplicação de esgotos no solo constitui o método mais simples e um dos mais eficientes de disposição final e de tratamento de efluentes líquidos através de processos naturais. Entretanto, mesmo com seu grande potencial e elenco de vantagens, tal processo tem sido pouco utilizado em nosso país. É de grande importância que se aumente e se dissemine o nível de conhecimento sobre esses sistemas, como forma de viabilização da sua maior utilização.

De forma geral a aplicação de esgoto no solo pode ser definida como um método de depuração natural no qual estão envolvidos os processos físicos, químicos e biológicos comuns da matriz solo-planta-esgoto (Nucci et al, 1978). Dessa forma a disposição no solo funcionando como pós-tratamento de reatores anaeróbios deve preconizar, portanto, o estudo da remoção dos vários agentes poluidores presentes no efluente desses reatores.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Módulo experimental**

O módulo experimental (Figura 1) é constituído por duas rampas inclinadas (tabuleiros 3 e 4 da 1ª Etapa), confinados com lona de PVC de 200 microns em dupla camada, com capacidade para experiências com “solos suporte” nas profundidades abaixo de 60cm e dotadas de dois drenos de fundo, estando os mesmos localizados, respectivamente, a 5,00m e 10,00m da cabeceira, ambos com a finalidade de promover a saída do efluente e tomada de amostras para a coleta dos

efluentes para a determinação do balanço completo de nutrientes e demais parâmetros a serem analisados. Cada unidade mede 3,50m de largura por 10,00m de comprimento, totalizando uma área de 35,00m<sup>2</sup>. A pesquisa desenvolveu-se em duas etapas, sendo na 1ª Etapa utilizado solo do tipo areia franca, com uma composição na qual 88% dos componentes são de areia quartzosa, 12% de argila, granulometria muito uniforme ( $C_u=3$ ), com 15% de areia fina, 77,19% de areia média, 6,32% de areia grossa, 0,49% de pedregulho, profundidade de 0,30m e a cobertura vegetal é constituída de capim elefante (*Pennisetum purpureum*) cv Roxo Botucatu. Na 2ª Etapa foi utilizado uma areia quartzosa com granulometria muito uniforme ( $C_u=3,03$ ), com 7% de areia fina, 45,08% de areia média, 33,32% de areia grossa e 14,60% de pedregulho, profundidade de 0,20m, com cobertura vegetal de milho AG-405 na fase 1 (Jun-jul/2000) e fase 2 (Ago-set/2000), milho AG-1051 na fase 3 (Out-nov/2000), fase 4 (Dez/2000-Jan/2001) e fase 5 (Fev-mai/2001), e finalmente GIRASSOL na fase 6 (Mar-mai/2001).

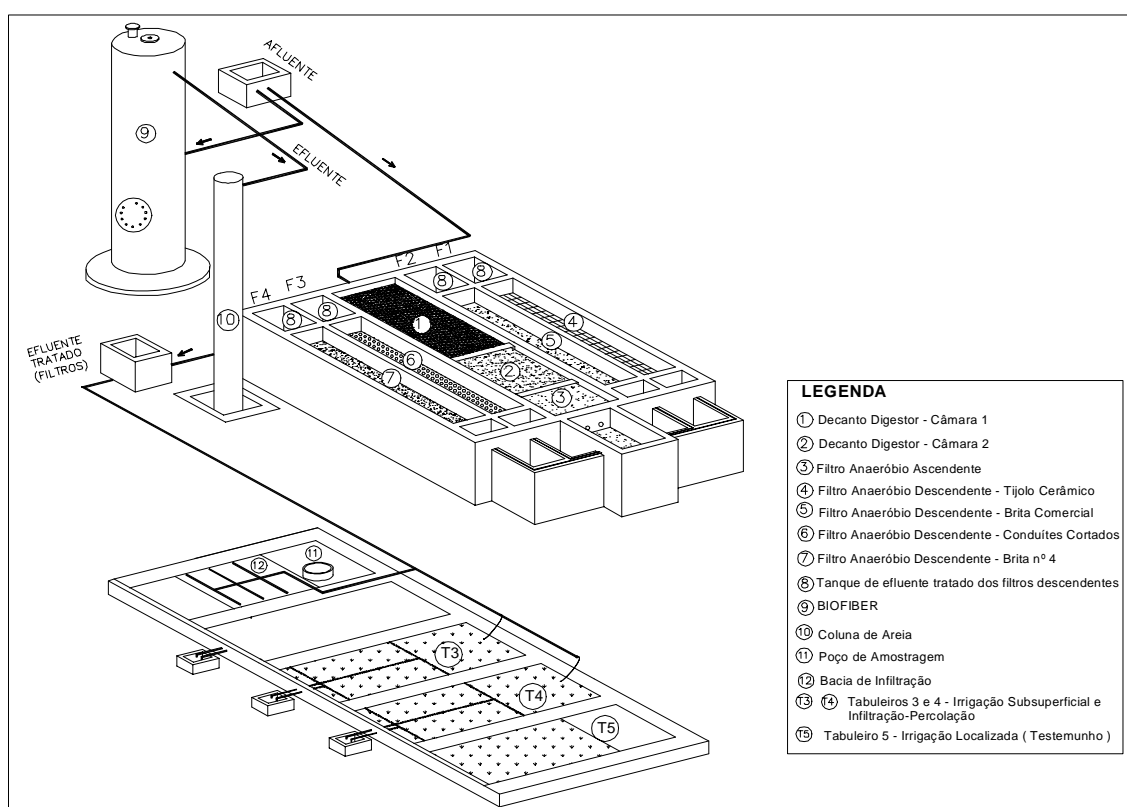


Figura 1 – Desenho esquemático do sistema experimental

Com a finalidade de beneficiar o processo de nitrificação, adotou-se, de abril a outubro/99, 1ª Etapa, fase 1, um ciclo operacional de três dias consecutivos de aplicação de esgoto, seguidos de igual período de descanso, recebendo uma carga hidráulica contínua, por turno de rega, da ordem de 20mm/dia (20 litros/m<sup>2</sup>.dia), alimentados a partir de microtubo de PVC rígido de 5mm de diâmetro.

Na fase 2 da 1ª Etapa (Nov/99 a março/2000) fez-se um ajuste para uma melhor racionalização e o ciclo operacional foi reduzido para dois dias de aplicação contínua seguidos de cinco dias de descanso, recebendo, em média, uma carga hidráulica da ordem de 57mm/dia (57 litros/m<sup>2</sup>.dia).

Na fase 3, 1ª Etapa (Abril-jul/2000) foi dado um incremento à carga hidráulica aplicada, passando para 86mm/dia (86 litros/m<sup>2</sup>.dia) e mantido o ciclo operacional de dois dias de aplicação contínua seguidos de cinco dias de descanso. Durante esta fase um dos módulos foi desativado (tabuleiro 3), continuando a pesquisa em apenas um módulo (tabuleiro 4).

Na fase 4, 1ª Etapa (Ago-nov/2000) foram efetuadas mudanças no ciclo operacional com o intuito de beneficiar os processos de nitrificação/desnitrificação. Nesta fase houve uma redução na carga hidráulica para 50mm/dia. Adotou-se um ciclo de 16 horas de aplicação contínua em cinco dias consecutivos e dois dias de descanso.

Na fase 5, 1ª Etapa (Nov/2000 a Jan/2001) efetuaram-se novas mudanças no ciclo operacional, com 4 dias de aplicação (14h por dia) e três dias de descanso, com nova redução na carga hidráulica para 20mm/dia.

Na segunda etapa foram realizados três experimentos com a cultura do milho. O primeiro experimento envolveu duas diferentes disponibilidades de água durante o ciclo da cultura (fases 1 e 2), que teve início no final de maio/2000, com a semeadura da cultivar de milho AG-405, um híbrido duplo, precoce, de grãos laranja semiduro. Neste primeiro experimento ocorreram falhas que impediram a correta avaliação da produtividade de grãos secos. O segundo experimento envolveu, também, duas disponibilidades de água durante o ciclo da cultura (fases 3 e 4), e teve início no final de setembro/2000 com o plantio da cultivar AG-1051. O arranjo foi aleatório e a densidade média adotada bastante elevada - 9,66 covas/m<sup>2</sup> - equivalente a 193.000 plantas/ha, com o objetivo de maximizar, através da cultura, a remoção dos nutrientes contidos nas águas de irrigação. No terceiro experimento (fase 5) foi repetido o plantio da cultivar AG-1051, sendo adotados espaçamentos de 75cm entre linhas e 35cm entre covas, com uma população equivalente a 66.857 plantas/ha (6,68 plantas/m<sup>2</sup>). Para efeito comparativo de produtividade, o módulo T6 foi dividido em três parcelas (A,B e C), sendo duas delas (A e B no segundo experimento e A e C no terceiro) com áreas equivalentes à do módulo testemunha T7 (12,25 m<sup>2</sup>). Todas as espigas contidas em cada parcela foram colhidas e debulhadas manualmente, e os grãos deixados a secar ao sol para uniformização dos teores de umidade. Os pesos dos grãos de cada parcela, obtidos após a secagem, serviram como base para a estimativa de produtividade

Em junho de 2000 iniciou-se a 1ª Fase da 2ª Etapa, utilizando-se o tabuleiro 6 (3,50 x 10,00 x 0,20) em substituição ao Tabuleiro 3, com uma taxa de aplicação de 29mm/dia, um turno de rega variável e cobertura vegetal de milho AG-405. Na fase 2, 2ª Etapa (Ago-set/2001) manteve-se a mesma taxa e aplicação da fase 1, modificando-se apenas o ciclo operacional para 16 horas de aplicação diária em cinco dias consecutivos e dois dias de descanso.

Na fase 3, 2ª Etapa (Out-nov/2000) foi introduzida uma nova cobertura vegetal, o milho AG-1051 e mantida a mesma taxa de aplicação da fase anterior, bem como o mesmo ciclo. Na fase 4 dessa mesma 2ª Etapa (Dez/2000 a Jan/2001) foi mantida as mesmas condições de taxa de aplicação da fase anterior, mas o ciclo operacional foi alterado para quatro dias (14h/dia) e dois dias de descanso ininterruptos. Na fase 5, 2ª Etapa (Fev-mai/2001), a exemplo da anterior, apenas o ciclo operacional foi alterado para quatro dias (15h/dia:Seg-Ter-Qui-Sex) e três dias de descanso intermitentes, Quarta, Sábado e Domingo.

A avaliação da produção da biomassa vegetal e determinação das características físico-hídricas (umidade) e de fertilidade do solo na 1ª Etapa foi feita a cada nove (9) semanas, quando se

procedia o corte do capim, sendo a produtividade medida através dessa biomassa verde e matéria seca em amostras contidas em  $1,0 \text{ m}^3$ , colhidas ao acaso, dentro da área útil do tabuleiro, convertidas em t/ha.corte. Para se obter um termo comparativo da produção vegetal, um módulo testemunho (tabuleiro 5) com 3,50m de largura por 6,00m de comprimento é alimentado com água potável, sem adição de nutrientes, pelo sistema “xique-xique” de irrigação localizada, sendo submetido ao mesmo turno de rega adotado para os tabuleiros confinados.

A fim de avaliar as respostas do sistema às condições operacionais que lhes foram impostas, bem como acompanhar os principais parâmetros de controle dos processos de tratamento, foram realizadas semanalmente coletas de amostras no afluente e no efluente dos tabuleiros (dreno final), sendo a eficiência de cada unidade avaliada através de parâmetros inferenciais de monitoramento tais como DQO, COT, sólidos suspensos,  $N_{\text{total}}$ ,  $P_{\text{total}}$  e coliformes fecais. Os métodos de análises utilizados estão descritos no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater - 19ª edição (1995). Para a detecção dos agentes patogênicos dos chamados organismos indicadores de contaminação fecal. Os organismos, usualmente bactérias, utilizados como indicadores fecais devem ser selecionados entre aquelas espécies comensais que habitam exclusivamente o trato intestinal humano e outros animais de sangue quente, sem causarem doenças. Porque estas bactérias estão sempre em grandes números (até  $10^9$  ou  $10^{10}$  células por grama de fezes) a sua presença na água é um indicador de contaminação por material fecal e possivelmente por patogênicos. Entretanto, nenhum dos grupos ou espécies de bactérias preenche todos os requisitos necessários para ser utilizado como indicadores, apesar de alguns se aproximarem. Dos três os principais grupos de bactérias utilizados como indicadores: os coliformes, os estreptococos fecais e a bactéria anaeróbia *Clostridium perfringens*, adotou-se o grupo dos coliformes como o indicador de contaminação fecal.

Até junho/99 o sistema foi alimentado com o efluente de dois reatores anaeróbios: um sistema compacto composto por tanque séptico de câmaras em série seguido de pequeno filtro anaeróbio de fluxo ascendente e dois filtros anaeróbios descendentes, em paralelo; o outro, um reator anaeróbio de manta de lodo seguido de dois filtros anaeróbios descendentes, em paralelo. A partir daí os quatros filtros anaeróbios passaram a constituir com o tanque séptico um único sistema, sendo o efluente unificado destes aplicado aos módulos de disposição no solo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados aqui apresentados referem-se a duas etapas da pesquisa, sendo a 1ª Etapa desenvolvida em cinco fases nos tabuleiros 3 e 4 no período de abril/99 a agosto/2000 e mais a 6ª fase desenvolvida de Março a Maio de 2001 (tab. 8), além de cinco fases desenvolvidas no Tabuleiro 6 no período de junho de 2000 a maio de 2001. As medidas foram todas semanais, sendo divididas conforme as etapas e fases acima descritas.

### Remoção de matéria orgânica

Nas tabelas 1 e 2 estão apresentadas as concentrações médias dos principais parâmetros de controle de matéria orgânica utilizados nas duas etapas da pesquisa.

Mesmo com o efluente contendo baixa carga orgânica, os módulos de escoamento subsuperficial, também denominados “tabuleiros” apresentaram boa eficiência, com remoção complementar média de DQOt apresentando um mínimo de 46%, fase 3, 1ª Etapa do tabuleiro 4 a valores superiores a 50% nas fases 1, 2 e 4, com um máximo de 72% na fase 6 do tabuleiro 8. Na 2ª Etapa, toda desenvolvida no tabuleiro 6, tivemos um mínimo de 36%, fase 2, e um máximo de 69,4% na fase 5. Para DQOf foi observada a remoção mínima de 42,6% na fase 2 e um

máximo de 69,5% na fase 5. A remoção de COT teve um crescimento ao longo do tempo com as mudanças de fase na 1ª Etapa, o que significa que o ajuste do período de aplicação versus descanso e carga hidráulica foi uma operação de calibração bastante acertada. Na 2ª Etapa, os resultados continuaram melhorando, com remoção da ordem de 87,6% na fase 2. No caso de Sólidos Suspensos o comportamento foi semelhante ao do COT, porém com resultados ainda mais significativos, com remoções superiores a 71% na 1ª Etapa, fases 1, 2 e 4 com máximo de 87,5% na fase 4. Na 2ª Etapa, descartando-se a 1ª fase, manteve-se o mesmo nível da primeira etapa, apesar do solo ter uma textura mais grossa.

Vale salientar que nos meses de menor precipitação pluviométrica houve uma redução significativa na remoção de matéria orgânica o que era esperado. Basta verificarmos as precipitações médias dos meses de outubro (8,7mm), novembro (12,1mm) e dezembro (23,0mm) de 2000, e janeiro de 2001 (30,1mm) e compararmos com os resultados de matéria orgânica removida no período, nas mesmas condições.

Tabela 1 – Concentrações médias e eficiências de remoção de matéria orgânica – 1ª etapa

Parâmetro	Fase	Afluente		Efluente		Remoção (%)	
		Tab. 3	Tab.4/Tab.8	Tab. 3	Tab.4/Tab.8	Tab. 3	Tab.4/Tab.8
DQOt (mg/L)	1	104,6	104,6	49,9	51,0	52,3	51,3
	2	118,3	117,3	59,6	52,7	49,6	55,1
	3	127,3	105,7	54,8	56,7	57,0	46,4
	4	-	115,4	-	45,1	-	60,9
	5	-	104,3	-	55,0	-	47,2
	6	-	117,8	-	33,0	-	72,0
COT (mg/L)	1	21,4	21,4	10,3	10,9	51,7	49,0
	2	16,7	16,7	10,3	9,4	38,4	43,6
	3	16,0	11,8	5,7	5,1	64,3	56,5
	4	-	12,7	-	3,1	-	75,6
	5	-	10,1	-	2,4	-	76,2
	6	-	17,5	-	5,0	-	71,4
SS (mg/L)	1	24,4	25,7	13,7	15,0	44,0	41,5
	2	24,2	22,8	8,9	6,7	63,1	70,5
	3	20,8	16,8	4,4	2,1	78,7	87,5
	4	-	19,6	-	8,0	-	59,2
	5	-	23,3	-	6,2	-	73,6
	6	-	26,0	-	2,9	-	88,8

Tabela 2 – Concentrações médias e eficiências de remoção de matéria orgânica – 2ª etapa

Parâmetro	Fase	Afluente	Efluente	Remoção (%)
		Tab.6	Tab.6	(%)
DQOt (mg/L)	1	106,8	50,5	52,7
	2	114,7	73,5	35,9
	3	100,3	50,4	49,7
	4	100,0	52,0	48
	5	121,1	37,1	69,4
COT (mg/L)	1	12,0	2,5	78,9
	2	14,6	1,8	87,6
	3	10,4	3,5	66,5
	4	9,9	4,4	55,2
	5	16,9	4,5	73,6
SS (mg/L)	1	16,5	14,1	14,7
	2	21,4	10,9	49,1
	3	15,1	2,9	80,5
	4	22,3	5,2	76,6
	5	27,6	5,5	79,9

**Remoção de nutrientes**

Na tabelas 3 e 4, apresentamos as concentrações médias de nutrientes e os respectivos percentuais de remoção obtidos nos tabuleiros, nas duas etapas.

Tabela 3 – Concentrações médias e eficiências de remoção de nutrientes – 1ª etapa

Parâmetro	Fase	Afluente		Efluente		Remoção (%)	
		Tab. 3	Tab.4/Tab.8	Tab. 3	Tab.4/Tab.8	Tab. 3	Tab.4/Tab.8
N.Amoniacal (mg/L)	1	34,0	34,0	4,5	4,0	86,8	88,3
	2	27,2	27,2	0,7	0,7	97,3	97,4
	3	35,6	27,1	1,7	1,0	95,2	96,2
	4	-	43,2	-	0,5	-	98,9
	5	-	35,9	-	0,2	-	99,4
Nitrato (mg/L)	1	3,5	3,5	4,4	7,3	-25,6	-109,9
	2	1,5	1,5	2,2	3,0	-48,0	-96,9
	3	1,5	1,0	3,0	2,8	-101,2	-170,8
	4	-	1,3	-	4,0	-	-216,5
	5	-	1,35	-	1,77	-	-30,7
	6	-	0,555	-	2,137	-	-284,8
Fósforo (mg/L)	1	1,81	1,81	0,029	0,37	83,9	79,3
	2	1,69	1,69	0,12	0,09	93,0	94,8
	3	2,18	1,9	0,19	0,04	91,5	98,1
	4	-	2,17	-	0,21	-	90,3
	5	-	1,99	-	0,14	-	92,9
	6	-	2,13	-	0,09	-	95,7

Tabela 4 – Concentrações médias e eficiências de remoção de nutrientes – 2ª etapa

Parâmetro	Fase	Afluente	Efluente	Remoção (%)
		Tab.6	Tab.6	
N.Amoniacal (mg/L)	1	22,9	0,26	98,8
	2	36,1	0,16	99,5
	3	45,0	0,5	98,9
	4	33,2	0,16	99,5
	5	37,4	0,9	97,6
Nitrato (mg/L)	1	1,0	2,9	-203,8
	2	1,0	1,7	-61,8
	3	1,4	3,9	-174,5
	4	1,4	3,1	-131,9
	5	2,113	5,836	-176,2
Fósforo (mg/L)	1	1,83	0,09	95,1
	2	2,31	0,03	98,9
	3	1,88	0,07	96,2
	4	1,92	0,10	94,7
	5	2,07	0,13	93,5

Os resultados de remoção de nitrogênio amoniacal e nitrato, mostram que houve decréscimo de nitrogênio amoniacal, com remoção média 95% na 1ª Etapa e de 99% na 2ª Etapa, enquanto os valores de nitrato apresentaram acréscimos em todas as fases de 22%. O acentuado aumento dos nitritos e nitratos é natural devido a amônia ser convertida a nitritos e estes a nitratos.

A remoção do fósforo, acima de 90% na 1ª Etapa e acima de 95% na 2ª Etapa, foi significativamente superior à de nitrogênio, muito acima dos valores indicados pela literatura o que representa uma eficiência muito boa do sistema empregado. Vale lembrar que os compostos

de fósforo são transformados a fosfatos, ocorrendo, portanto, uma fertilização do meio pela produção de sais minerais (nitratos e fosfatos) os quais são nutrientes para as plantas.

### Contaminantes biológicos

Na primeira etapa da pesquisa utilizou-se dois tabuleiros com declividades de 1% e 6% respectivamente e os resultados na 1ª fase (Abr-out/99), com baixa taxa de aplicação (20 mm/dia) e turno de rega de três em três dias não foram muito satisfatórios. Na 2ª fase (nov/99 a mar/2000), com aumento da taxa de aplicação para 57mm/dia e variação no turno de rega os resultados foram muito bons, com  $7,03 \times 10^1$  CF(UFC/100ml) no efluente do Tab. 3 e  $1,73 \times 10^2$  CF(UFC/100ml) no efluente do Tab. 4, mostrando uma evolução bastante significativa. Nas fases seguintes os resultados medidos mantiveram-se sempre abaixo dos 1000 CF(UFC/100ml).

Na Segunda Etapa da pesquisa, mudou-se o solo suporte, utilizando-se uma areia mais grossa, bem como fez-se a substituição da cobertura vegetal e os resultados medidos nos efluentes continuaram muito bons, sempre no entorno dos limites dos padrões de água “sem restrição para irrigação” e níveis aceitáveis de balneabilidade.

Nas tabelas 5 e 6 apresentamos os resultados médios obtidos nas diversas fases da pesquisa com os correspondentes índices de remoção alcançados.

Tabela 5 – Concentrações médias e eficiências de remoção de Coliformes Fecais – 1ª etapa

Parâmetro	Fase	Afluente		Efluente		Remoção (%)	
		Tab. 3	Tab.4/Tab.8	Tab. 3	Tab.4/Tab.8	Tab. 3	Tab.4/Tab.
C.Fecais (UFC/100ml)	1	$2,18 \times 10^5$	$2,18 \times 10^5$	$6,21 \times 10^2$	$1,37 \times 10^4$	99,71	93,69
	2	$5,86 \times 10^5$	$5,86 \times 10^5$	$7,03 \times 10^1$	$1,73 \times 10^2$	99,99	99,97
	3	$1,32 \times 10^7$	$3,48 \times 10^6$	$1,25 \times 10^4$	$2,14 \times 10^2$	99,91	99,994
	4	-	$3,91 \times 10^6$	-	$1,36 \times 10^2$	-	99,997
	5	-	$1,71 \times 10^6$	-	$7,69 \times 10^2$	-	99,955
	6	-	$2,26 \times 10^6$	-	$4,29 \times 10^1$	-	99,998

Tabela 6 – Concentrações médias e eficiências de remoção de coliformes fecais – 2ª etapa

Parâmetro	Fase	Afluente Tab.6	Efluente Tab.6	Remoção (%)
C.Fecais (UFC/100ml)	1	$2,10 \times 10^6$	$7,83 \times 10^2$	99,963
	2	$3,09 \times 10^6$	$7,27 \times 10^3$	99,764
	3	$1,09 \times 10^6$	$1,09 \times 10^3$	99,901
	4	$2,63 \times 10^6$	$1,61 \times 10^4$	99,389
	5	$2,10 \times 10^6$	$1,44 \times 10^3$	99,932

O processo mostrou bastante eficiente na remoção de Coliformes Fecais, sendo excelente na maioria das medições, apenas apresentando alguns valores pontuais menos significativos quando ocorreram alguns fenômenos como intensidade de precipitação etc. Ao longo de dois anos de observação, descartados três resultados anômalos entre as quatorze séries, a média na saída dos efluentes manteve-se em 1070 CF(UFC/100ml).

### Fatores de produção

Como o tabuleiro 3 sofreu um corte a menos que os demais (tabuleiros 4 e 5), discutiremos apenas os resultados apresentados pelos dois últimos, que nos permite fazer uma análise comparativa de produtividade. Os tabuleiros 4 e 5 apresentaram uma produção média de matéria verde de 51,35 e 43,91 t/ha.corte e de matéria seca 7,60 e 5,81 t/ha.corte, respectivamente,



representando um aumento na produtividade do tabuleiro irrigado com água residuária tratada (tabuleiro 4), da ordem de 17% para a matéria verde e 24% para a matéria seca. Convém salientar que em abril/99, quando iniciou-se essa etapa de acompanhamento de produtividade, os tabuleiros 3 e 4 foram replantados com mudas antigas (plantadas originalmente em julho/97) e que já haviam sido submetidas a diversos cortes, o que provocou uma redução em sua capacidade de perfilhamento, enquanto o tabuleiro 5, foi replantado com cepas novas.

Amostras do produto final do primeiro experimento da 2ª etapa (milho AG-405), foram colhidas nos dois Tabuleiros, para uma avaliação visual, que permitiu identificar através das espigas (Figura 2) os principais sintomas de deficiência de nutrientes, tais como: a carência de nitrogênio provoca o surgimento de espigas pequenas, com grãos mal formados em suas pontas; espigas tortas, pequenas e com grãos mal formados, são causadas pela falta de fósforo, enquanto que a deficiência de potássio é responsável por espigas mal granadas nas pontas, com grãos pequenos e mal formados.



Figura 2 – Espigas produzidas com águas residuárias (e) e no módulo testemunha (d)

Na Tabela 7 apresentamos os resultados de produção de grãos e uma estimativa de produtividade, em cada parcela avaliada, nos dois experimentos realizados com o milho AG-1051 na 2ª etapa da pesquisa.

Tabela 7 – Produção de grãos (Kg) e estimativa de produtividade (t/ha)

Parâmetro	2º Experimento			3º Experimento		
	Tab.6-A	Tab.6-B	Tab.7	Tab.6-A	Tab.6-C	Tab.7
Produção de grãos (Kg)	8,100	2,450	0,020	8,735	1,300	0,080
Produtividade (t/ha)	6,61	2,0	0,016	7,13	1,06	0,065

## CONCLUSÕES

O módulo experimental apresentou boa eficiência na remoção de DQOt(média de 53%), DQOf (média de 52%), COT (média de 64%) e sólidos suspensos superior a 70%, com concentrações médias no efluente de 53mgDQOt/L, 35mgDQOf, 8,0mgCOT/L e 7,5mgSS/L, constituindo-se numa solução muito boa para a região do semi-árido nordestino, tanto do ponto de vista ambiental como econômico.

A remoção de nutrientes como nitrogênio amoniacal superior a 98% e fósforo acima de 90% na 1ª Etapa e de 95% na 2ª Etapa num afluente com baixa concentração em matéria orgânica, significa uma eficiência bastante considerável, sendo devida, principalmente, ao contato da água residuária com a matriz solo e à sua capacidade-limite de adsorção, contando ainda com a participação ativa da cobertura vegetal;

O processo se mostrou bastante eficiente na remoção de Coliformes Fecais, sendo excelente na maioria das medições, com valores médios de 1070 UFC/100ml ao longo de dois anos, apenas apresentando alguns valores pontuais menos significativos quando ocorreram alguns fenômenos como intensidade de precipitação etc.

A produção de biomassa no tabuleiro 4 irrigado com água residuária tratada com relação ao tabuleiro 5 (testemunho), foi da ordem de 17% a mais para a matéria verde e 24% para a matéria seca, mostrando que o reuso planejado de efluentes, além do controle de poluição, implica em economia de água e fertilizantes, reciclagem de nutrientes e aumento da produção agrícola, representando um atrativo, principalmente para regiões áridas e semi-áridas, com limitados recursos hídricos, onde há necessidade de se conservar as águas naturais de boa qualidade para usos mais restritivos.

O efeito benéfico da água residuária foi verificado para todos os fatores de produção analisados, o que nos leva a concluir que o aporte de nutrientes, juntamente com a água de irrigação (reuso), foi positivo e significativo. Ressalte-se entretanto, o fato dos experimentos terem sido realizados em solos de baixa fertilidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAUJO, G. C.; CHERNICHARO, C. A. L.; VON SPERLING, M. Avaliação do pós-tratamento de efluentes de reatores UASB através de um sistema de aplicação superficial de esgotos no solo. Anais do VIII Simpósio Luso-brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa. 1998.
- AWWA/APHA/WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19<sup>th</sup> edition. Washington. 1995.
- CAMPOS, J. R. et al. Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro: ABES, 1999 - 464 p.: il. Projeto PROSAB.
- HELER, L.; CHERNICHARO, C.A.L. O tratamento de esgotos sanitários e a legislação brasileira sobre o uso e a classificação das águas. Anais do 1º Simpósio Italo-brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro-RJ. 1992. Vol.2 – Tomo III.
- MELLO, F. A. F. et al. Fertilidade do solo. São Paulo: Nobel, 1983. 400p.
- LUCAS FILHO, M.; PEREIRA, M.G.; MELO, H.N.S.; ANDRADE NETO, C.O. Estudo da remoção de matéria orgânica e nutrientes em bacias confinadas com escoamento subsuperficial. Anais do IX Simpósio Luso-brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, Abes, 2000, p.823 a 829.
- LUCAS FILHO, M.; PEREIRA, M.G.; MELO, H.N.S.; ANDRADE NETO, C.O.; SILVA, D.A. Disposição controlada de esgotos em solo preparado com cobertura vegetal através de escoamento subsuperficial. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios: Coletânea de trabalhos técnicos. Projeto PROSAB, ISBN: 85-901640-1-2.
- PAGANINI, W.S. Disposição de Esgotos no Solo: (escoamento a superfície). São Paulo: Fundo Editorial da AESABESP, 1997. 232p.