

## **II-202 - REÚSO AGRÍCOLA, ASSOCIADO A UM SISTEMA DE TRATAMENTO SIMPLIFICADO, COMO ESTRATÉGIA DE TRATAMENTO DOS EFLUENTES DOMÉSTICOS URBANOS DE CIDADES LOCALIZADAS EM REGIÕES SEMIÁRIDAS: ESTUDO DE CASO DA CIDADE DE STO. ANTÔNIO - BA**

**Rogério de Medeiros Netto<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil, mestre em Engenharia Ambiental Urbana pela Universidade Federal da Bahia (MEAU/UFBA). Engenheiro da Empresa Baiana de Águas e Saneamento (EMBASA).

**Yvonilde Dantas Pinto Medeiros<sup>(2)</sup>**

Engenheira Civil, PhD em Hidrologia pela University of Newcastle Upon Tyne, Inglaterra, Professora Adjunta da Escola Politécnica UFBA.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Vicente Batalha, 367, apt. 602 – Costa Azul - Salvador - BA - CEP: 41760-030 - Brasil - Tel: +55 (71) 3342 – 1419 - e-mail: [rogerio.netto@embasa.ba.gov.br](mailto:rogerio.netto@embasa.ba.gov.br)

### **RESUMO**

Os crescentes problemas de escassez dos recursos hídricos, provocados pelo aumento da demanda em virtude do crescimento populacional e o comprometimento dos mananciais devido ao lançamento de esgotos, levaram a que o reúso da água voltasse a ser considerado. Outro fator que contribuiu para o desenvolvimento das práticas de reúso foi o maior rigor das legislações ambientais em relação ao padrão de qualidade dos efluentes. O estado da Bahia tem cerca de 70% de sua área incluída na região semiárida, onde vive, aproximadamente, a metade da população, sendo que desta, pouco mais da metade vivem em áreas urbanas. As condições climáticas e geológicas do semiárido fazem com que a maioria dos rios seja intermitente, os quais se caracterizam por não ter vazão nos períodos de estiagem, o que requer um nível alto de tratamento para que não haja poluição dos rios. Quanto maior o nível do tratamento, maiores são os custos, o que inviabiliza a adoção em grande escala. Os estudos tiveram por objetivo avaliar a eficiência do reúso agrícola, associado a um sistema de tratamento simplificado e de baixo custo de implantação e operação, como estratégia de tratamento dos efluentes domésticos urbanos de cidades localizadas em regiões semiáridas. Para tanto, implantou-se um sistema de tratamento simplificado, composto por um conjunto fossa-filtro, na cidade de Sto. Antônio, situada na região nordeste do estado da Bahia a 250 Km de Salvador e sede de um dos distritos do município de São Domingos. O efluente do sistema de tratamento foi aplicado num sistema de irrigação, composto de 3sulcos com 30m de extensão. Embaixo da linha de plantio foram instalados drenos, a 0,6m e a 1,2m de profundidade para captar o efluente infiltrado no solo e submetê-lo a análise laboratorial. Como não houve retenção de efluente nos drenos, procedeu-se a análise do solo para verificar eventuais alterações devido ao lançamento de efluentes. Os parâmetros analisados foram matéria orgânica e nutrientes. Os resultados indicam que o sistema solo-planta foi capaz de remover a matéria orgânica, bem como o Nitrogênio Amoniacal e o Fósforo. A remoção dos parâmetros analisados indica que o reúso agrícola pode viabilizar a adoção de sistemas de tratamento mais simples, e baratos, sobretudo em regiões semiáridas.

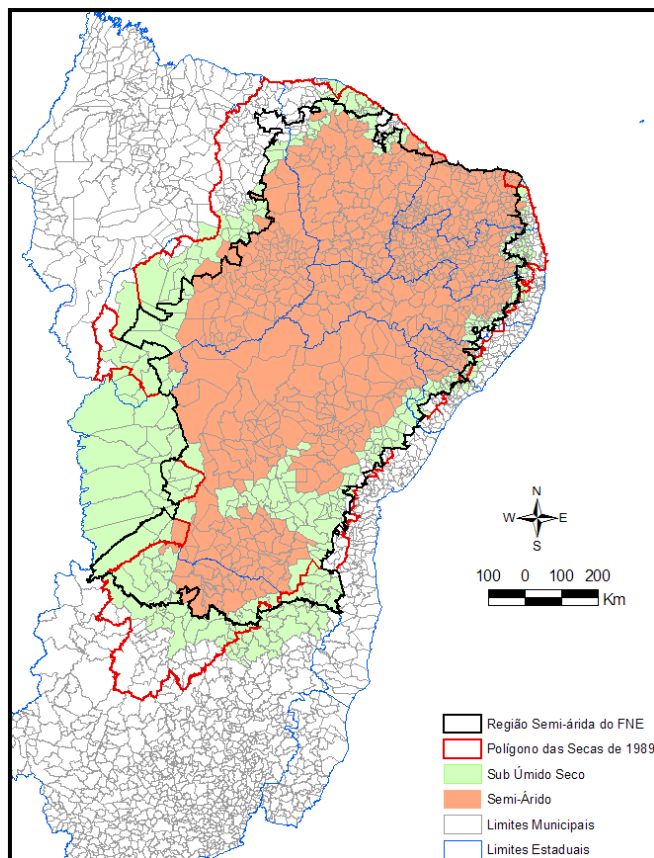
**PALAVRAS-CHAVE:** Tratamento de Esgoto, Reúso Agrícola, Semiárido, Poluição Hídrica.

### **INTRODUÇÃO**

No Brasil, a região semiárida ocupa uma área equivalente a 11,54% do país, abrangendo todos os estados do nordeste, a exceção do Maranhão, e uma parte do norte de Minas Gerais. Nesta região, vivem cerca de 45% da população do nordeste e 12% da população do Brasil. Na Bahia o semiárido ocupa uma área de 393.056Km<sup>2</sup>, cerca de 70% da área do estado, na qual vivem 6.453.283 pessoas, aproximadamente metade da população do estado, das quais 53% em áreas urbanas. Em relação a toda a região semiárida, a área pertencente ao estado da Bahia corresponde a 40% e a população a 30,9%. A figura 1 apresenta a nova delimitação do semiárido de acordo com revisão feita pelo Ministério da Integração regional em 2005 (BRASIL, 2005b). As tabelas 1 e 2 apresentam, respectivamente, a distribuição da área e da população do semiárido pelos estados que pertencem a esta região, relacionando com o total dos estados, do nordeste e do Brasil.

Os rios que nascem e correm dentro do semiárido apresentam dois tipos de regimes hidrológicos: o temporário, ou intermitente, e o efêmero. Enquanto que os rios temporários estão marcados pela presença de

um fluxo de água superficial maior ao longo do seu ciclo hidrológico, e um período de seca estacional, os rios efêmeros apresentam fluxo de água superficial somente após uma precipitação não previsível. Esta marcha estacional pode variar anualmente, dependendo do modelo de precipitação (frequência, intensidade e duração). Um rio de características temporárias em um ano úmido, pode se tornar um rio efêmero em um ano excessivamente seco. No semiárido baiano, todos os rios são intermitentes, temporários, a exceção do São Francisco, do Paraguaçu e o de Contas (CIRILO et al., 2007; MALTCHIK, 1999; MELO FILHO; SOUZA, 2006).



**Figura 1 - Nova delimitação do Semiárido**

Fonte: Adaptado de BRASIL, 2005b.

**Tabela 1 – Distribuição da Área da Região Semiárida pelos Estados.**

Estado/Região	Área (Km <sup>2</sup> )		%	
	Total (a)	Semiárido (b)	Semiárido no Estado/Região (b/a)	% Total Semiárido (b/c)
Piauí	251.529	150.454	59,8%	15,3%
Ceará	148.826	126.515	85,0%	12,9%
R G do Norte	52.797	49.590	93,9%	5,0%
Paraíba	56.440	48.785	86,4%	5,0%
Pernambuco	98.312	86.710	88,2%	8,8%
Alagoas	27.768	12.687	45,7%	1,3%
Sergipe	21.910	11.176	51,0%	1,1%
Bahia	564.693	393.056	69,6%	40,0%
Minas Gerais	586.528	103.590	17,7%	10,5%
Nordeste	1.554.258	982.563 <sup>c</sup>	63,22%	100%
Brasil	8.514.877	982.563	11,54%	

Fonte: BRASIL, 2005a; IBGE, 2002.

**Tabela 2 – Distribuição da População da Região Semiárida pelos Estados.**

Estado/ Região	População (hab.)						
	Total (a)	Urbana Semiárido (b)	% (b/d)	Rural Semiárido (c)	% (c/d)	Total Semiárido (d)	% (d/a)
Piauí	2.843.278	437.508	45	531.891	55	969.399	34
Ceará	7.430.661	2.451.214	58	1.760.078	42	4.211.292	57
R. G. Norte	2.776.782	1.061.296	66	539.874	34	1.601.170	58
Paraíba	3.443.825	1.232.095	63	734.618	37	1.966.713	57
Pernambuco	7.918.344	1.896.092	59	1.340.659	41	3.236.751	41
Alagoas	2.822.621	424.132	52	391.172	48	815.304	29
Sergipe	1.784.475	208.908	53	185.310	47	394.218	22
Bahia	13.070.250	3.398.156	53	3.055.127	47	6.453.283	49
M. Gerais	17.891.494	637.990	54	546.537	46	1.184.527	7
Total	59.981.730	11.747.391	56	9.085.266	44	20.832.657	35
Nordeste	47.741.711	11.747.381	56	9.085.266	44	20.832.647	44
Brasil	169.799.170	11.747.381	56	9.085.266	44	20.832.647	12

Fonte: BRASIL, 2005a; IBGE, 2002.

As características de fluxo dos rios do semiárido são causadas pela dificuldade de infiltração da água no solo, o que faz com que o escoamento de base, fenômeno pelo qual as águas infiltradas no solo alimentam o escoamento superficial, somente ocorra nos períodos imediatamente posteriores aos das precipitações. Assim, o escoamento superficial depende das precipitações, sendo interrompido, ou diminuído em muito, nos longos períodos de estiagem (AB'SABER, 1999; MALTCHIK, 1999; MELO FILHO; SOUZA, 2006; REBOUÇAS, 1999). Sobre isto, Rebouças (1966 *apud* COSTA, 1994, pág. 34) diz que: "... no final das estações chuvosas os rios continuam a correr por restituição das águas acumuladas no subsolo, durante 33 dias nas zonas de rochas cristalinas, contra 85 dias nas zonas de terrenos sedimentares, ocorrendo frequentemente nesses últimos uma restituição perene..."

Nos rios intermitentes, nos períodos seco, o lançamento de efluentes domésticos urbanos em suas poucas águas representa uma certeza de poluição, pois, a vazão é insuficiente para promover a depuração das cargas poluidoras. Souza e Mota (1994) consideram que para evitar a poluição, a razão entre a carga poluente e o volume de água teria que ser de 1 para 40, já que abaixo desta relação os níveis de oxigênio dissolvido podem cair a valores insustentáveis para manter a vida aquática no corpo receptor. Para evitar que isso ocorra, o nível do tratamento tem de ser de tal ordem, que os custos associados tornam-o inviável (SOUZA; MOTA, 1994; SOUZA et al., 2003).

O reúso de águas residuárias na agricultura nestas regiões, como técnica de pós-tratamento, possibilita a adoção de técnicas de tratamento de baixo custo, a nível secundário, pois o efluente final, após percolar subsuperficialmente no solo, tem sua carga poluente reduzida. Isto se dá pelo fato do solo atuar como camada filtrante, possibilitando que ações de adsorção e atividades dos microrganismos tratem o efluente. Os microrganismos usam a matéria orgânica contida no efluente como alimento, convertendo-a em matéria mineralizada, nutriente, a qual fica à disposição da vegetação.

Assim, a aplicação de águas residuárias na agricultura do semiárido pode assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas e diminuir os custos de combate à poluição das águas, além de propiciar uma fonte permanente de água para a agricultura, possibilitando o desenvolvimento de uma agricultura comercial.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado no distrito de Santo Antônio (11°30' de latitude Sul e 39°37' de longitude Oeste) pertencente ao município de São Domingos, situado na Região Sisaleira, no nordeste do estado da Bahia. A cidade de Santo Antônio, que dista cerca de 250Km de Salvador, conta com sistema de abastecimento de água operado pela Embasa. Além da água fornecida pela EMBASA, a população local também utiliza água das chuvas, armazenada em cisternas. A cidade conta com rede coletora de esgoto, o qual é lançado, sem tratamento, no rio Jacuípe em diversos pontos. Em um desses pontos, situado à margem da BA-416, que liga a

BR-324 à cidade de Valente, implantou-se o experimento. As figuras 2 e 3 apresentam, respectivamente, a localização da cidade de São Domingos no estado da Bahia e a do experimento no município de São Domingos.



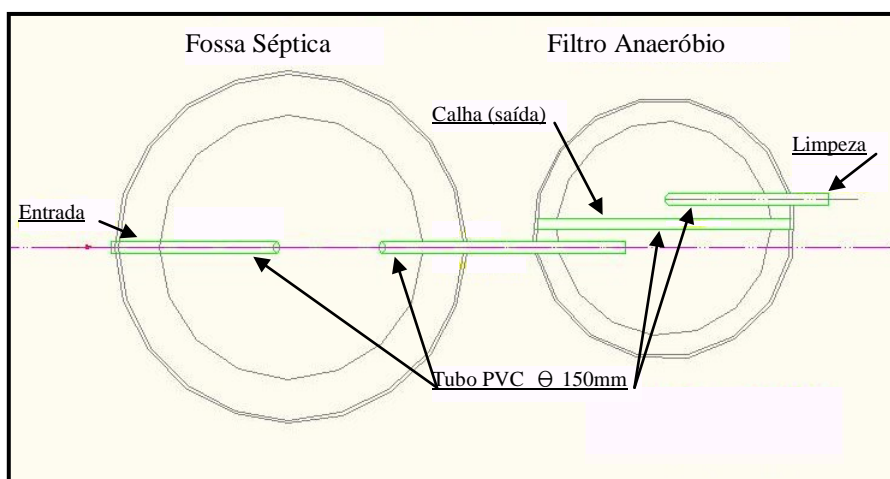
**Figura 2 – Localização do Município de São Domingos**  
Fonte: Adaptado de Google Maps.



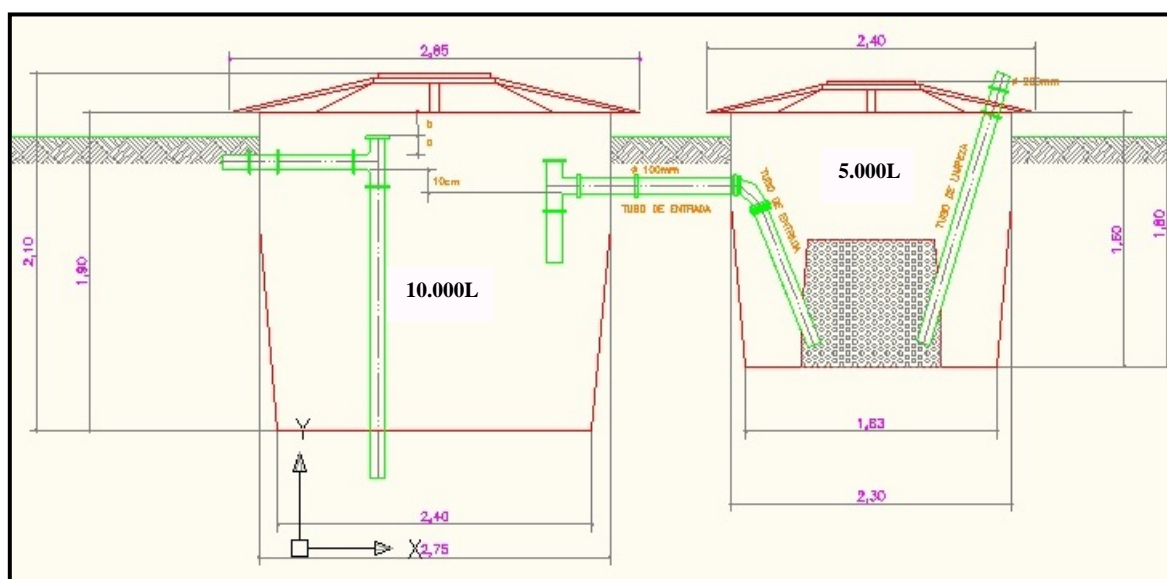
**Figura 3 – Localização do experimento em São Domingos**  
Fonte: Adaptado de Google Maps.

Tendo em vista que o esgoto corre por uma vala, paralela à BA-416, situada em um nível mais baixo que o local onde foram implantados os módulos de tratamento, foi necessário instalar uma bomba, DS-9 da DANCOR, de 0,5CV; para captar o esgoto e lançá-lo até o módulo de tratamento. Para evitar problemas de entupimento na bomba, foi implantada uma estrutura de pré-tratamento composta por um gradeamento, constituído de barras de aço de 12,5mm, com espaçamento de 2cm, na qual foi sobreposta uma tela para pinteiro, fio 23, ambos embutidos em uma caixa de alvenaria; e por uma caixa de areia.

O módulo de tratamento, com capacidade para tratar uma vazão entre 4.500L/dia e 6.000L/dia, foi composto de dois tanques de fibra de vidro conectados entre si, sendo o primeiro a Fossa Séptica, com volume de 10.000L, e o segundo o Filtro Biológico Anaeróbico de Fluxo Ascendente, com volume de 5.000L, representado nas figuras 4 e 5. O meio de suporte do filtro biológico foi composto por seixos com dimensões variando de 1,5x11,0x6,0cm a 4,5x4x2,5cm. As dimensões dos tanques estão apresentadas na tabela 3.



**Figura 4 – Planta baixa do Módulo de Tratamento**



**Figura 5 – Seção Transversal do Módulo de Tratamento.**

**Tabela 3 – Dimensões dos tanques do módulo de tratamento**

Capacidade (Litros)	Dimensões (cm)				
	D1	D2	D3	H1	H2
310	80	89	-	54	-
5.000	185	220	230	165	185
10.000	239	270	280	202	232

Devido à distância entre a área irrigada e o módulo de tratamento, cerca de 140 metros, foi necessário recalcar o efluente. Assim, após o tratamento, o efluente foi direcionado para um poço de sucção, de seção retangular e 1m³ de volume, escavado no solo e revestido com bloco cerâmico. Deste poço, o efluente foi recalcado para um tanque de 5.000L, de polietileno, por meio de bomba centrífuga de eixo horizontal, autoescorvante, modelo 706S da Dancor, com 0,5CV, instalada em um outro poço lateral ao anterior, também escavado no solo e revestido com bloco.

O tanque de 5.000L foi instalado junto à área irrigada com a finalidade de armazenar o efluente tratado de modo que a distribuição de água durante o processo de irrigação fosse constante. Este tanque foi assentado em uma base circular feita de tijolo maciço, com 2,20m diâmetro e 40cm de altura.



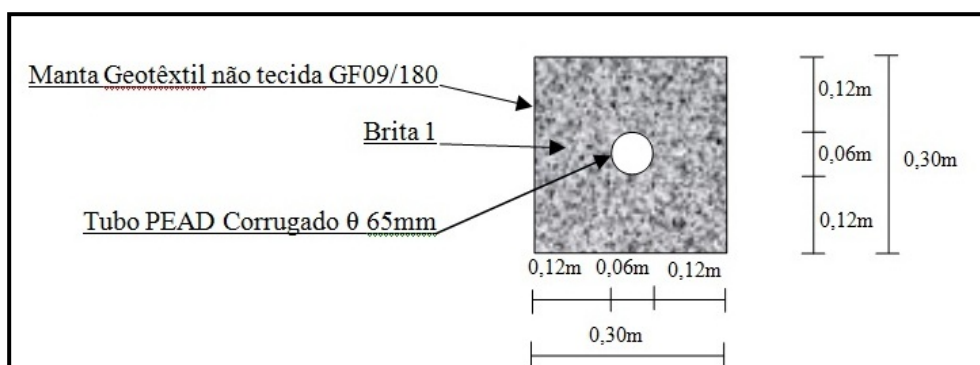
O controle do volume de esgoto aplicado no sistema de irrigação foi feito por meio de régua instalada dentro do tanque de 5.000L. A lâmina média de irrigação calculada para as quatro fases do cultivo, 14,5mm aplicada a cada dois dias, foi transformada em volume e este volume transposto para o tanque de 5.000L. Considerando-se este volume aplicado na borda superior do tanque, calculou-se a altura correspondente ao volume. Esta altura foi marcada em uma régua assentada dentro do tanque, passando a ser o indicador da necessidade de água, esgoto, a ser aplicada na área plantada.

Na saída do tanque, foi instalada uma tubulação primária, a qual alimentava as tubulações secundárias que introduziam o efluente nos três sulcos fechados e nivelados, com 30m de comprimento, que compunham o sistema de irrigação. A escolha deste método deu-se por ser este um método barato, de baixo custo de implantação e operação, além de ter baixo risco de contaminação já que o esgoto não tem contato direto com a cultura (BERNARDO, 1987; PESCOD, 1992). Além disso, este trabalho foi voltado para o tratamento do esgoto, que objetiva aplicar o máximo de esgoto sobre a menor área possível. Portanto, foram descartados outros métodos que gastam pouca água. Também não foi foco deste trabalho avaliar a produtividade agrícola, já que para este trabalho, esta foi vista como um benefício advindo da aplicação de esgotos no solo.

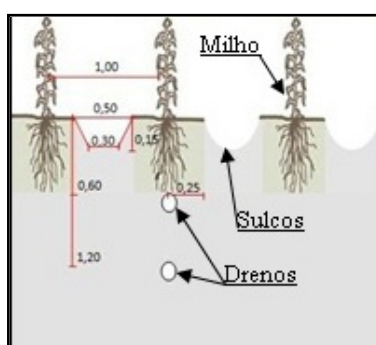
O controle do fluxo no sistema de irrigação foi feito por registros instalados na tubulação primária e nas tubulações secundárias. Na tubulação primária que sai do tanque, antes do registro que controla o fluxo para o sistema de irrigação, foi feita uma derivação para o rio Jacuípe de modo a poder drenar o tanque em caso de necessidade.

Entre os sulcos, embaixo da linha de plantio, foram assentados drenos subterrâneos em duas profundidades, 60cm e 1,20m, com o propósito de captar o efluente que infiltrasse no solo. A primeira profundidade foi adotada de modo que o dreno ficasse abaixo de 50cm, profundidade efetiva máxima da raiz do milho (ANDRADE et al, 2006). A segunda altura foi adotada por ser o dobro da primeira, permitindo avaliar eventuais mudanças nas características do efluente infiltrado em função da profundidade.

Os drenos, que se estendem por toda a extensão dos sulcos, foram envoltos em uma camada de brita 1, a qual, por sua vez, foi envolta por uma manta geotêxtil não tecida GF09/180 com resistência a tração de 9KN/m e gramatura de 180g/m. As figuras 6 e 7 apresentam, respectivamente, a seção típica dos drenos e um corte no início dos sulcos.



**Figura 6 – Seção típica do dreno.**



**Figura 7 – Seção transversal dos sulcos**

As pontas finais dos tubos de PEAD foram introduzidas em tubos lisos, conectados entre si, de modo que o efluente captado nos drenos fosse conduzido até uma encosta, a beira do rio, onde o terreno permitiria a coleta, como mostra a figura 8.



**Figura 8 – Pontos de coleta do efluente infiltrado.**

Junto à área de plantio, foi implantado um pluviômetro, do tipo Ville de Paris, de modo a se obter dados de eventuais precipitações para serem abatidos da lâmina de irrigação necessária. Nos espaços entre os sulcos, foi plantado milho híbrido, variedade AL Bandeirante, que tem por característica ser mais produtivo e mais resistente do que as espécies primitivas. A opção pelo milho se deveu ao fato de que o cultivo que viesse a ser plantado tinha que ser tradicional na região, de agrado do proprietário da terra onde se faria o cultivo, já que pelo acordo feito, este cederia gratuitamente a terra e, em troca, receberia o resultado da colheita. Segundo Araújo (2001), o milho é a espécie forrageira anual mais tradicionalmente cultivada no semiárido. Foram feitas 31 covas, espaçadas de 1,0m, em cada uma das 3 linhas de plantio entre os sulcos, nas quais se plantou 2 sementes por cova, para diminuir os riscos de insucesso no plantio devido a não germinação de alguma semente.

Durante o período da pesquisa, os drenos instalados não foram capazes de reter o efluente infiltrado, impossibilitando assim a coleta do efluente infiltrado no solo e, conseqüentemente. Diante disso, optou-se por realizar análises no solo, em um ponto fora da área irrigada (S) e em outros dois situados dentro da área irrigada (I1 e I2), nos sulcos, de modo a verificar eventuais alterações que pudessem ser atribuídas à ação do esgoto infiltrado no solo. Em todos os três pontos, foram coletadas amostras contendo no mínimo 1Kg de solo nas profundidades de 0 a 10cm e de 40 a 50cm. Na tabela 4 estão indicados os espaçamentos entre os pontos de coleta de solo na área da pesquisa, tendo como origem o ponto situado fora da área irrigada e considerando dois eixos perpendiculares entre si.

**Tabela 4 – Distância entre os pontos de coleta de solo**

Ponto	Distância (m)	
	Eixo 1	Eixo 2
Fora da área irrigada (S)	0,00	0,00
Dentro da área irrigada (I1)	1,80	4,00
Dentro da área irrigada (I2)	8,00	1,00

## RESULTADOS

Entre maio de 2010 e junho de 2011, foram coletadas doze amostras. O espaçamento entre a primeira coleta, em maio de 2010 e a segunda coleta, em fevereiro de 2011, deu-se por problemas no sistema de tratamento e também pelo fato de que somente em fevereiro de 2011 o sistema de irrigação ficou em condições de operar. Os pontos de coleta foram os poços de sucção das bombas que recalcam o esgoto bruto e o esgoto tratado para o reservatório de irrigação. As análises foram feitas no Laboratório Central da EMBASA, compreendendo os seguintes parâmetros:

- a) Demanda Química de Oxigênio (DQO)
- b) Potencial Hidrogeniônico (pH);
- c) Fósforo Total;
- d) Nitrato;
- e) Nitrito;
- f) Nitrogênio Amoniacal;

A tabela 5 apresenta de forma reduzida a média dos resultados das análises feitas nos efluentes bruto e tratado, com as respectivas eficiências obtidas.

**Tabela 5 – Média<sup>1</sup> dos resultados das análises feitas nos efluentes bruto e tratado.**

Parâmetro	Efluente		Eficiência
	Bruto	Tratado	
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	1.510	721	64%
Potencial Hidrogeniônico (pH)	7,11	7,44	
Fósforo Total	13,3	7,38	24%
Nitrogênio Amoniacal	52	108	-131%
Nitrato <sup>2</sup>		-	
Nitrito <sup>2</sup>		-	

Notas: 1 – Média aritmética dos resultados.

2 – Nitrito e Nitrato somente foram analisados no efluente tratado.

Em relação ao cultivo propriamente dito, a figura 9 mostra que germinação foi desigual nas duas metades da linha de plantio, tendo havido maior densidade na primeira metade do que na segunda. Isto pode ter ocorrido por ineficiência na aplicação do efluente, que foi feita separadamente para as duas metades, comprovando que sem a aplicação do efluente nas condições climáticas ocorridas durante o período de plantio, pouca chuva, típico da região semiárida; não teria havido crescimento do plantio.



**Figura 9 – Vista da área plantada com milho.**

Devido ao pouco crescimento ocorrido na segunda metade dos sulcos, apenas foram selecionados pontos situados na primeira metade para análise do solo na área irrigada. A figura 10 mostra o resultado da irrigação, a espiga do milho, cujo tamanho foi da ordem de 23cm. Embora houvesse recomendação do Laboratório de Análises de Solo e Água da Empresa de Assessoria e Planejamento Agropecuário (EMAPA) para aplicação de Fósforo ( $P_2O_5$ ) e Nitrogênio (N), não foi aplicado ao cultivo nenhum tipo de adubo.

Considerando que a média ponderada da taxa de aplicação de esgoto durante o plantio foi de 14,4mm por turno de rega, o que equivale a 14,4L/m<sup>2</sup> e que foram utilizados três sulcos de 0,30x30m, perfazendo um área molhada de 27m<sup>2</sup> e ainda que durante o período do cultivo, cerca de 4 meses, houve 62 aplicações, têm-se que foram aplicados no experimento 23.436L de esgoto. Para uma concentração média de Nitrogênio Amoniacal no efluente tratado de 108mg/L, têm-se que foram aplicados ao solo, e deixado de lançar ao rio, 2,5Kg de



Nitrogênio Amoniacal. Para uma concentração média de Fósforo no efluente tratado de 7,38mg/L, têm-se que foram aplicados ao solo, e deixado de lançar ao rio, 172g de Fósforo.

De acordo com dados da EMBASA relativos ao período de out/10 a set/11 a cidade de Sto. Antônio têm um consumo médio mensal de 4.336m<sup>3</sup>, o que, considerando um coeficiente de retorno de 0,8, resulta em uma geração de esgoto de 3.469m<sup>3</sup>, suficiente para irrigar uma área de 24ha de milho a taxa de 14,4L/m<sup>2</sup>. Desta forma, caso todo o esgoto gerado na cidade fosse reutilizado para irrigar milho, nas mesmas condições da pesquisa, deixariam de ser lançados ao rio, mensalmente, cerca de 375Kg de Nitrogênio Amoniacal e 26Kg de Fósforo.

As análises de solo foram feitas no laboratório da CETREL, compreendendo os seguintes parâmetros:

- a) Demanda Química de Oxigênio (DQO);
- b) Potencial Hidrogeniônico (pH);
- c) Fósforo Total;
- d) Nitrogênio Amoniacal;
- e) Nitrato;
- f) Nitrito.

Os resultados das análises realizadas entre 0 e 10cm estão apresentados na tabela 6 e os resultados das análises realizadas entre 40 e 50cm na tabela 7.



**Figura 10 – Espiga de milho**

**Tabela 6 – Resultado das análises de solo entre 0 e 10cm.**

Parâmetro	Unidade	Método de Análise	Ponto de Coleta		
			S0	I1 0	I2 0
DQO <sup>1</sup>	mg/Kg	-	248	257	225
Fósforo Total <sup>2</sup>	mg/Kg	SMEWW, 21ªed. Part. 4500 - NO3 E	<40	<40	<40
Nit. Amoniacal <sup>1</sup>	mg/Kg	SMEWW, 21ªed. Part. 4500NH3 F	<0,5	21	20
Nitrato <sup>1</sup>	mg/Kg	SMEWW, 21ªed. Part. 4500 - NO3 E	<0,5	18	40
Nitrito <sup>1</sup>	mg/Kg	SMEWW, 21ªed. Part. 4500 - N org	<0,1	<0,1	<0,1

Nota: 1 – Ensaio realizado no extrato aquoso de uma solução 1:10.

2 – Abertura da amostra em bomba Parr.

**Tabela 7 – Resultado das análises de solo entre 40 e 50cm.**

Parâmetro	Unidade	Método de Análise	Ponto de Coleta		
			S 40	I1 40	I2 40
DQO <sup>1</sup>	mg/Kg	-	237	254	95
Fósforo Total <sup>2</sup>	mg/Kg	SMEWW, 21ªed. Part. 4500 - NO3 E	<40	<40	<40
Nit. Amoniacal <sup>1</sup>	mg/Kg	SMEWW, 21ªed. Part. 4500NH3 F	<0,5	<0,5	0,9
Nitrato <sup>1</sup>	mg/Kg	SMEWW, 21ªed. Part. 4500 - NO3 E	<0,5	17	2,6
Nitrito <sup>1</sup>	mg/Kg	SMEWW, 21ªed. Part. 4500 - N org	<0,1	<0,1	<0,1

Nota: 1 – Ensaio realizado no extrato aquoso de uma solução 1:10.

1 – Abertura da amostra em bomba Parr.

Os resultados apresentados na tabela 6 mostram que não houve um aumento significativo dos teores de matéria orgânica no solo em função da aplicação do esgoto. Em um dos pontos analisados, I1, o aumento da DQO foi de apenas 3,6% e no outro ponto analisado, I2, houve redução de 9,3%. Comparando-se os resultados para profundidade entre 40 e 50cm, apresentados na tabela 4, o aumento da DQO no ponto I1 em relação ao ponto de referência, S, foi de 6,8%, enquanto que no ponto I2 houve uma redução de 57,2%.

Analisando-se os resultados em relação à diferença de profundidade, os resultados relativos ao ponto tomado como referência, S, indicam uma diminuição do teor de matéria orgânica de 4,4%, superior a que ocorreu no ponto I1, 1,2%. No outro ponto, I2, a diminuição do teor foi de muito superior a ocorrida nos demais pontos, 57,8%.

De acordo com Feigin e outros (1991 *apud* DUARTE et al., 2008), muitas vezes os efluentes secundários contêm altas concentrações de nitrogênio orgânico, o qual é susceptível a decomposição microbiana do solo, que o transforma em compostos inorgânicos simples disponíveis às plantas, como a amônia e o nitrato. Os microrganismos heterotróficos do solo utilizam os compostos orgânicos que contêm nitrogênio como fonte de energia, mineralizando assim a matéria orgânica. Segundo Artiola e Pepper (1992 *apud* FONSECA, 2001) a umidade constante do solo provocada pela irrigação, em associação com altas temperaturas, promove uma rápida mineralização do material orgânico adicionado ao solo.

Além da concentração de nitrogênio, as concentrações de carbono nos efluentes secundários também favorecem a proliferação da biota do solo que, por sua vez, transforma o nitrogênio orgânico em nitrogênio assimilável às plantas. Fonseca (2001), estudando a disponibilidade de Nitrogênio, alterações nas características químicas do solo e do milho irrigado com efluente tratado, constatou a rápida mineralização da matéria orgânica nos solos irrigados com esgoto tratado.

Em relação aos teores de Fósforo Total, os resultados da tabela 6 não mostraram diferença entre o ponto de referência, S, e os demais, I1 e I2. Os resultados da tabela 7 também indicaram que em nenhum dos pontos houve variação do teor de Fósforo Total em função da profundidade.

Estes resultados indicam que o Fósforo foi todo absorvido pelas plantas ou lixiviado a profundidades superiores a da coleta. Ambas as situações são atípicas, pois a mobilidade do Fósforo no solo é muito restrita em razão de sua forte retenção por óxidos do solo (principalmente de Fe, Al e Mn) e minerais de argila (MARQUES et al., 2003). A possibilidade de lixiviação é mais remota, pois solos do tipo do franco-argiloso, como o do local do plantio, caracterizam-se por terem baixa capacidade de infiltração (FONSECA, 2005).

Segundo Fonseca (2001), a quantidade de Fósforo adicionada ao solo pela irrigação com efluentes domésticos normalmente não tem sido excessiva. Entretanto, aumentos nos teores deste elemento têm sido comuns em sistemas agrícolas, bem como em pastagens e florestas, principalmente na camada superficial do solo.

No que toca a Nitrogênio Amoniacal, os resultados da tabela 6 mostram um aumento significativo, e semelhante, dos teores nos pontos que foram submetidos à irrigação, em relação ao ponto de referência, onde o limite de detecção do método de análise utilizado não foi ultrapassado.

Analisando os resultados apresentados na tabela 7, observa-se que os teores do ponto de referência, S, não sofrem alteração com a profundidade. Nos pontos que foram submetidos à irrigação o teor ou foi inferior ao limite de detecção, ponto I1, tal como no ponto de referência ou foi pouco superior a este, I2, indicando em ambas as situações que a ação do efluente na profundidade entre 40 e 50cm já não é significativa. A

diminuição no teor de Nitrogênio Amoniacal pode ter sido devida à volatilização ou a absorção pelo cultivo ou ainda por adsorção pelas partículas de argila do solo (USEPA, 2006).

Os resultados das análises de Nitrato da tabela 6 mostram um aumento significativo dos teores nos pontos que foram submetidos à irrigação, tal como os de Nitrogênio Amoniacal, em relação ao ponto de referência, onde o limite de detecção do método de análise utilizado não foi ultrapassado. Entretanto, o teor no ponto I2 foi mais do que o dobro do verificado no ponto I1. O aumento do teor de Nitrato indica que houve nitrificação do Nitrogênio Amoniacal contido no efluente aplicado, já que não foram detectadas concentrações significativas de Nitrato no efluente.

Os resultados da tabela 7 também mostram aumento no teor de Nitrato nos pontos que foram submetidos à irrigação em relação ao ponto de referência, onde o limite de detecção do método de análise utilizado não foi ultrapassado. Comparando-se os resultados das tabelas 6 e 7, observa-se que no ponto I1 os teores nas duas profundidades analisadas são semelhantes, indicando que não teria acontecido absorção pelo cultivo, sendo todo o Nitrato lixiviado. Segundo Schlascha e outros (1979 *apud* FONSECA, 2001) e Smith e Bond (1999 *apud* FONSECA, 2001) a lixiviação é devida ao excesso de nutrientes aportado pelo efluente em relação à quantidade requerida pelas plantas. Entretanto, os resultados do ponto I2 mostram que houve uma redução da ordem de 94%, o que poderia ser indicativo de absorção pelas plantas ou denitrificação (USEPA, 2006).

Comparando-se os resultados relativos à Nitrogênio Amoniacal com os relativos a Nitrato observa-se que nos pontos que foram submetidos à irrigação, os resultados não indicam transformação do Nitrogênio Amoniacal do solo em Nitrato com o aumento da profundidade, fenômeno conhecido como nitrificação (MELO et al., 2000; USEPA, 2006). Em relação aos teores de Nitrito, em nenhum dos pontos analisados foram detectados teores acima do limite de detecção dos métodos utilizados para realizar as análises.

## CONCLUSÃO

A alta taxa de evaporação, característica das regiões semiáridas, aliada ao fato do dreno ter sido assentado embaixo da linha de plantio e não dos sulcos, pode ter sido a causa da não retenção pelo dreno do efluente infiltrado, o que impossibilitou a análise direta do efluente e posterior comparação com os resultados das análises do efluente tratado para verificar o efeito do solo em uma eventual melhoria da qualidade do efluente. No que tange a eficiência do reúso agrícola na retenção de matéria orgânica, os resultados não mostraram aumento significativo da DQO na área irrigada, indicando que esta pode ter sido mineralizada e, portanto, sido retida pelo solo.

Os resultados mostraram aumento significativo dos teores de Nitrogênio Amoniacal na superfície da área irrigada, os quais, na profundidade de 50cm, ou não foram detectados ou o foram em teor muito baixo, próximo do limite de detecção das análises. Isto indica que o sistema solo planta foi capaz de remover todo o Nitrogênio Amoniacal contido no esgoto.

Em relação à eficiência do reúso agrícola na remoção Fósforo, os resultados não mostraram aumento deste elemento na área irrigada, indicando que a quantidade aplicada foi absorvida pelo cultivo, sendo portanto retida no sistema solo-planta.

Na região semiárida onde os rios ou são intermitentes ou têm seu volume de água bastante reduzido nas épocas de seca, muito frequentes nesta região, a adoção do reúso agrícola, associado a sistemas de tratamento simplificado de baixo custo, como o sistema Fossa-Filtro, pode ser uma estratégia a ser adotada para solucionar o problema de falta de tratamento do efluente oriundo das cidades, a maioria de pequeno porte, as quais, de outra maneira, dificilmente terão seus esgotos tratados, tendo em vista que quanto menor for o volume disponível para diluição dos esgotos, maior a exigência de eficiência no tratamento e quanto maior for esta eficiência, maiores serão os custos de implantação e operação dos sistemas de tratamento.

Um risco evidenciado pelos resultados, foi o de formação de Nitratos, decorrente da nitrificação do Nitrogênio Amoniacal contido no efluente aplicado. Um dos resultados das análises mostrou que o teor de Nitrato permaneceu constante com o aumento da profundidade, indicando que pode haver transporte deste elemento para as águas do rio quando houver uma chuva de grande intensidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AB'SABER, Aziz Nacib. Sertões e sertanejos: uma geografia humana sofrida. In: Dossiê Nordeste Seco. Revista Estudos Avançados, São Paulo, v. 13, n. 36, p. 7-59, mai./ago. 1999.
2. ANDRADE, Camilo de Lelis T. de et al. Viabilidade e manejo da irrigação da cultura do milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 12 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 85).
3. ARAÚJO, Gherman Garcia Leal de. Cultivo estratégico de forrageiras anuais e perenes, visando a suplementação de caprinos e ovinos, no semi-árido do nordeste. Petrolina: EMBRAPA Semi-Árido. 2001. 2p. (Instruções Técnicas da Embrapa Semi-Árido 48).
4. BERNARDO, Salassier. Manual de Irrigação. 4ª ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1987. 448p.
5. BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional. Nova Delimitação do Semi-Árido Brasileiro (cartilha). Brasília: Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional, 2005a. 35f
6. \_\_\_\_\_. Ministério da Integração Nacional. Relatório Final do Grupo de Trabalho Interministerial para Redelimitação do Semi-Árido Nordestino e do Polígono das Secas. Brasília: Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional, 2005b. 118p.
7. CIRILO, José Almir et al. Manejo Integrado de Água no Semi-Árido Brasileiro. Caracterização do Semi-Árido Brasileiro. In: CIRILO, José Almir et al.(organizadores). O Uso Sustentável dos Recursos Hídricos em Regiões Semi-Áridas. Recife: ABRH - Editora Universitária UFPE, 2007. p. 33-63.
8. COSTA, Waldir Duarte. Água Subterrânea e o Desenvolvimento Sustentável do Semi-Árido Nordestino. In: Projeto Áridas. Brasília: SEPLAN/PR, 1994. 60p.
9. DUARTE, Anamaria S. et al. Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, Campina Grande, v.12, n.3, p.302-310, mai./jun. 2008.
10. FONSECA, Adriel Ferreira da. Disponibilidade de Nitrogênio, Alterações nas Características Químicas do Solo e do Milho pela Aplicação de Efluente de Esgoto Tratado. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura "Luís de Queiros", Universidade Estadual de São Paulo, Piracicaba, 2001.
11. FONSECA, Sandra Parreiras Pereira. Tratamento de Esgoto por Disposição no Solo. Belo Horizonte, 2005 (apostila). 40f.
12. IBGE. Área territorial oficial, Resolução da Presidência do IBGE de nº 5 (R.PR-5/02) de 10 de outubro de 2002.
13. MALTCHIK, L.. Ecologia de rios intermitentes tropicais. In: POMPÊO, M.L.M (Org.). Perspectivas da limnologia no Brasil. São Luís: Gráfica e Editora União, 1999. p. 77-89.
14. MARQUES, Marcos Omir et al. Uso de Esgotos Tratados em Irrigação: Aspectos Agrônomicos e Ambientais. In: BASTOS, Rafael Kopschitz Xavier (Coordenador). Utilização de Esgotos Tratados em Fertirrigação, Hidroponia e Piscicultura. Rio de Janeiro, ABES, 2003. p. 61-118.
15. MELO, Josette L. de Sousa; SILVA, Fabíola Dias da; LIMA, Anita Maria de. Avaliação da Remoção de Nitrogênio Orgânico e Amônia em Amostras de Esgoto Doméstico em Tabuleiros Irrigados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 13., 2000, Águas de São Pedro. Anais... São Paulo: ABEQ, 2000.
16. MELO FILHO, José Fernandes de; SOUZA, André Leonardo Vasconcelos. O manejo e a conservação do solo no Semi-árido baiano: desafios para a sustentabilidade. Revista Bahia Agrícola, v.7, n.3, nov. 2006.
17. PESCOD, M. B. Wastewater treatment and use in agriculture. Rome: FAO, 1992. 125 p. Tab. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 47).
18. REBOUÇAS, Aldo da Cunha. O Potencial de Água do Semi-Árido Brasileiro: Perspectivas do Uso Eficiente. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA, 9., 1999, Petrolina. Anais...Petrolina: EMBRAPA (CPATSA), 1999.
19. SOUZA, Francisco Gláucio Cavalcante de et al. Padrão de emissão para rios intermitentes – enfoque ao semi-árido do Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., Joinville, 2003. Anais... Joinville: ABES, 2003.
20. SOUZA, Raimundo Oliveria de; MOTA, Francisco Suetônio. Qualidade e Conservação da Água com Vistas ao Desenvolvimento Sustentável no Semi-Árido Nordestino. Projeto Áridas. Brasília: SEPLAN/PR, 1994. 52p.
21. USEPA. Process Design Manual: Land Treatment of Municipal Wastewater Effluents. Cincinnati: EPA, 2006. 179p.