



II-033 – EXPERIÊNCIAS OPERACIONAIS EM UMA UNIDADE DE TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO PELO MÉTODO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Sandra Parreiras Pereira Fonseca

Eng. Civil, MS em Engenharia Agrícola - Irrigação e Drenagem pela Universidade Federal de Viçosa - UFV. Engenheira de Projetos e Obras de Saneamento da Superintendência Operacional Sudeste - SPSD da COPASA.



Endereço: Rua Gomes Barbosa, 79 apto.200 - Centro - Viçosa - MG - CEP: 36.570-000, Brasil - Telefones: (0xx) (31) 3891.1044 – (0xx) (32) 3539.6034 – Fax: (0xx) (31) 3539.6045 E-mail: fonseca@mail.ufv.br.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo quantificar os parâmetros operacionais da unidade de tratamento de esgoto pelo método de escoamento superficial, de um condomínio residencial. O esgoto doméstico, após ser submetido ao tratamento preliminar, foi aplicado em faixas de irrigação cultivadas com capim - coastcross (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.). Foram estudadas as taxas de aplicação de 0,24 e 0,36 m³.h⁻¹.m⁻¹, em quatro repetições. Monitorou-se as taxas de aplicação e o percentual percolado de esgoto, por meio da Velocidade de Infiltração Básica - VIB. A eficiência do tratamento do esgoto foi avaliada pelas características físico-químicas e biológicas dos efluentes gerados no final das faixas. O uso de águas residuárias para fertirrigação de forrageira foi avaliado pela concentração de sais e o pH. Foram detectadas as alterações físicas e químicas ocorridas no solo, submetido à contínua aplicação de esgoto bruto. E ainda, a biomassa gerada na unidade de tratamento foi avaliada pela sua composição químico-bromatológica, a digestibilidade “*in vitro*” e os aspectos sanitários do capim, para possível alimentação de ruminantes. A qualidade d’água do lençol freático próximo à unidade de tratamento do esgoto foi avaliada pela suas características físico-químicas e biológicas.

PALAVRAS-CHAVE: esgoto, disposição no solo, escoamento superficial, lençol freático, fertirrigação.

INTRODUÇÃO

Estima-se que os 260 milhões de hectares irrigados no planeta, corresponde a 70% do consumo total de água superficial do mundo. Enquanto, cerca de 10 bilhões de litros de esgoto por dia, são jogados diretamente nos cursos d’água, causando problemas ao meio ambiente. Portanto, projetos no sentido de melhorar a eficiência dos sistemas de irrigação existentes e conservar água são vistos com grande interesse pelos especialistas e órgãos de fomento à pesquisa.

A disposição de esgoto no solo é uma alternativa de tratamento de resíduos líquidos de baixo custo de implantação e operacionalização. Além de disposição final de efluentes gerados, o aproveitamento planejado de águas residuárias, na agricultura é uma alternativa para controle da poluição de corpos d’água, disponibilização de água e fertilizantes para as culturas, reciclagem de nutrientes e aumento de produção agrícola.

A eficiência de unidades de tratamento de esgoto doméstico pelo método do escoamento superficial está relacionada com as características e manejo do sistema solo-planta, clima e condições de operação, tais como: taxa de aplicação, período e frequência da aplicação do esgoto, forrageira utilizada, frequência de corte da forrageira, tipo de solo (EPA, 1981). Para esse método de tratamento, não existe nenhuma recomendação da Organização Mundial Saúde quanto aos limites bacteriológicos da água residuária de irrigação para forrageiras, porém, os agricultores e a população vizinha à área de tratamento, não devam ser expostos aos riscos sanitários (OMS, 1989).

O objetivo do trabalho consiste em quantificar os parâmetros operacionais do tratamento do esgoto bruto de origem doméstica, pelo método do Escoamento Superficial.



MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na área experimental da Universidade Federal de Viçosa - UFV, em Viçosa-MG. O esgoto doméstico foi proveniente do Condomínio Bosque do Acamari, constituído por 136 residências unifamiliares. O sistema de tratamento implantado, Figura 1, foi constituído de tratamento preliminar e tratamento por escoamento superficial em uma área dividida em 6 planos de sistematização, cada um com duas faixas, de 2,0 m de largura, 20 m de comprimento e declividade de 2%, cultivadas com capim-coastcross (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.). Das doze faixas, duas foram descartadas (Faixa 1 e 10), duas foram irrigadas com água (Faixas 11 e 12) e as outras oito (Faixas 6, 7, 8 e 9) e (Faixas 2, 3, 4 e 5) fertirrigadas com esgoto doméstico bruto, correspondentes as taxas de aplicação de 0,24 e 0,36 m³.h⁻¹.m⁻¹, respectivamente, operadas durante o período de 8 h.d⁻¹ e frequência de cinco dias, com descanso aos sábados e domingos.

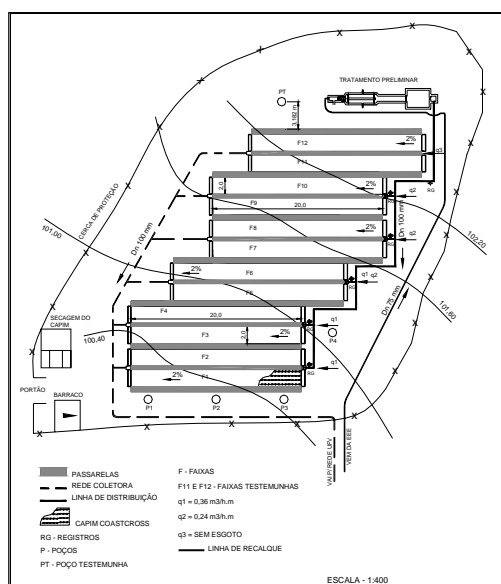


Figura 1 - Croqui da Estação de Tratamento de Esgoto Experimental (ETEE).

Para avaliação dos parâmetros operacionais durante o período de monitoramento da área de tratamento, foi determinado por faixa, semanalmente, o tempo de avanço, o percentual do volume escoado, e a Velocidade de Infiltração Básica - VIB (Método de “Entrada-Saída” d’água), segundo BERNARDO (1995) e SOARES (1998). A taxa de escoamento superficial e o tempo de detenção foram determinados conforme recomendações de EPA (1981). As vazões de entrada e saída foram medida pelo “método direto” e o esgoto foi coletado pelo o “método de amostragem proporcional às vazões”, recomendado por SILVA (1977).

As amostras do esgoto para análises físicas e químicas foram coletadas às terças-feiras ou às quartas-feiras, nos dias e horários de maior concentração da carga orgânica, no intervalo das 8 às 16 horas, de hora em hora, constituindo amostras compostas por faixa. Nas amostras coletadas foram realizadas análises de pH (método eletrométrico, medidor de pH portátil – Orion 250 A), temperatura (termômetro de mercúrio, precisão $\pm 1^\circ\text{C}$), sólidos sedimentáveis (cone de sedimentação tipo Inhoff), sólidos totais (método gravimétrico), condutividade elétrica (Condutivímetro Orion 115), alcalinidade (método titulométrico), DBO₅ (processo Winkler, ou método Iodométrico) e DQO (método oxidimétrico com refluxo). Todas as análises foram realizadas em triplicata e executadas em, no máximo, 24 horas, sendo as análises da DQO realizadas em, no máximo, três dias. Para a contagem de coliformes totais e fecais - *Escherichia coli* foram realizadas pelo método enzimático (teste comercial, Auto-análise Colilert – AC). A análise de microbiologia foi realizada no máximo em 6 horas e em triplicata, e os resultados expressos em Número Mais Provável (NMP) por 100 mL de esgoto, conforme recomendações da APHA (1998).

Na fase de projeto e operação da ETE (antes e após 10 meses de aplicação do esgoto nas faixas), as amostras de solo foram retiradas em pontos escolhidos, aleatoriamente, às profundidades de 0-10, 20-30 e 50-60 cm. Nas amostras coletadas foram realizadas análises textural (método da proveta) e de carbono orgânico (método Walkely-Black); pH em água (potenciômetro); fósforo e potássio (extração com Mehlich 1 e determinação por colorimetria e fotometria de chama, respectivamente); cálcio e magnésio (extração com KCl - 1 mol.L⁻¹ e determinado por espectrometria de absorção atômica). As análises físicas e químicas do solo



foram realizadas de acordo com as recomendações estabelecidas pela EMPRESA...– EMBRAPA (1997), e a sua classificação foi obtida conforme OLIVEIRA et al. (1992).

A determinação da curva de retenção de água no solo foi na fase operação da ETE, antes e após 10 meses de aplicação do esgoto nas faixas. Parte das amostras de solo coletadas para as análises físicas e químicas foram submetidas às tensões de 0,01; 0,03; 0,1; 0,5; 1,0; e 1,5 MPa, determinado-se as umidades correspondentes. Assim sendo, na curva de retenção de água no solo, foram determinados o ponto de murchamento (Pm) considerado a tensão de 1,5 MPa e a capacidade de campo (Cc), a tensão de 0,03 MPa, conforme recomendado por BERNARDO (1995).

Na fase de projeto e operação da ETE (antes e após 10 meses de aplicação do esgoto nas faixas), as amostras de solo foram retiradas em pontos escolhidos, aleatoriamente, às profundidades de 0-10, 20-30 e 50-60 cm. Nas amostras coletadas foram realizadas análises textural (método da proveta) e de carbono orgânico (método Walkely-Black); pH em água (potenciômetro); fósforo e potássio (extração com Mehlich 1 e determinação por colorimetria e fotometria de chama, respectivamente); cálcio e magnésio (extração com KCl – 1 mol.L⁻¹ e determinado por espectrometria de absorção atômica). As análises físicas e químicas do solo foram realizadas de acordo com as recomendações estabelecidas pela EMPRESA...– EMBRAPA (1997), e a sua classificação foi obtida conforme OLIVEIRA et al. (1992).

A cada corte da forragem irrigada com e sem esgoto, foram coletadas amostras de matéria verde para cada um dos tratamentos (forragem tratada com e sem esgoto).

O último corte do capim-coastcross foi fenado no próprio campo. As amostras coletadas da forragem verde e do feno a serem utilizadas para análises química e bromatológica foram submetidas à pré-secagem a 65°C, por 72 horas, moídas e condicionadas em vidros de polietileno, segundo recomendações de SILVA (1990).

Nas amostras do material verde, foram realizadas análises de teores de matéria seca (método gravimétrico), proteína bruta (processo microKjeldahl), fósforo (espectrofotômetro), potássio e sódio (fotômetro de chama), cálcio e magnésio (espectrofotômetro de absorção atômica) e digestibilidade “*in vitro*” (Tilley e Terry, 1963, primeiro estágio), segundo recomendações de SILVA (1990), em triplicata. A contaminação da biomassa verde do capim foi avaliado com o sistema em operação e após 7 dias de paralisação, e após 3, 12, 17 e 24 dias do capim fenado, para ambas as condições as análises foram determinada pelo método enzimático, em triplicata e a contagem de coliformes fecais - *E.coli* por grama de forragem, expressa em NMP, segundo recomendações da APHA, 1998.

Para monitorar a qualidade da água do lençol, como mostra no Quadro 1, foram instalados quatro poços de observação a jusante das faixas de tratamento e para comparação com dados obtidos nesses poços, foi locado a 15 m a montante da área experimental um poço de observação, denominado testemunha, conforme recomendações de FERREIRA (1998).

Quadro 1 - Condições de implantação dos poços de observação

Poço	Perfuração		Após o revestimento			
	Prof. (m)	NA (m)	Prof. poço (m)	Filtro		
				Areia fundo (m)	Comprimento dreno (m)	Filtro de areia (m)
P1	7,50	1,00	7,30	0,20	1,50	1,65
P2	7,80	1,05	7,20	0,50	1,10	1,30
P3	8,70	0,85	8,30	0,40	1,50	1,50
P4	8,70	0,45	8,40	0,30	1,35	1,65
PT	10,00	0,65	9,55	0,45	1,50	1,70

Nota: Os poços foram perfurados com trado de diâmetro de 200 mm e encamisados com tubo de PVC no diâmetro nominal de 100 mm.

Diariamente, foram medidos os níveis d'água dos poços de observação. A medição foi por meio de uma tubulação em PVC rígido de 2,0 m acoplada em um marinete de náilon, que era introduzido no poço para medição do nível d'água. Após cada medição, a tubulação foi flambada para evitar a contaminação microbiológica entre os poços. Semanalmente foram coletadas amostras d'água do lençol freático para as análises dos parâmetros físicos e químicos: pH (método eletrométrico, medidor de pH portátil – Orion 250 A), temperatura (termômetro de mercúrio, precisão ± 1°C), oxigênio dissolvido-OD (método do permanganato de potássio) e condutividade elétrica (condutivímetro Orion 115); e as análises bacteriológicas de coliformes



fecais – *E. coli* (método enzimático – Colilert). Todas as análises foram realizadas no máximo de 6 horas e em triplicata, conforme recomendado por APHA (1998).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Quadro 2 são apresentados os valores médios diários de operação do sistema de tratamento do esgoto pelo método do escoamento superficial no solo, para uma frequência de aplicação do esgoto de cinco dias e período de aplicação de oito horas diárias, avaliados de março/99 a setembro/99.

Quadro 2 - Valores médios diários dos parâmetros analisados das condições operacionais referentes a 6 meses de coleta de dados da ETEe, pelo método do escoamento superficial

Parâmetros avaliados	Unidade	Taxa de aplicação	
		0,36 m ³ .h ⁻¹ .m ⁻¹	0,24 m ³ .h ⁻¹ .m ⁻¹
Vazão aplicada	L.s ⁻¹	0,20 ± 0,00 ^A	0,13 ± 0,01 ^B
Vazão de saída	L.s ⁻¹	0,08 ± 0,00 ^A	0,04 ± 0,02 ^A
Taxa de escoamento superficial	cm.dia ⁻¹	14,1 ± 0,16 ^A	9,12 ± 1,03 ^B
Tempo de detenção	min	24 ± 2,32 ^A	43 ± 8,88 ^B
Tempo de avanço	min	62 ± 7,55 ^A	118 ± 27,51 ^B
Velocidade de infiltração básica - VIB	cm.h ⁻¹	1,05 ± 0,42 ^A	0,85 ± 0,40 ^A
Lâmina d'água Superficial (mm)	mm	84 ± 16,99 ^A	57 ± 16,17 ^A
Volume percolado (*)	%	59 ± 0,12 ^A	72 ± 0,15 ^A
Volume escoado	%	41 ± 0,12 ^A	28 ± 0,15 ^A

Nota: Letras maiúsculas sobrescritas diferentes indicam variação significativa entre tratamentos, (5% de probabilidade pelo teste de Tukey).

* Para o cálculo do volume percolado foi desprezado o valor da Evapotranspiração da cultura.

Adaptado de FONSECA (2000).

Os tempos de detenção e avanço do esgoto nas faixas com menor taxa de aplicação foram maiores que nas faixas de maior taxa, devido à menor velocidade de escoamento, proporcionando, conseqüentemente, menor lâmina d'água na superfície do solo e maior tempo de oportunidade na percolação.

Observa-se no Quadro 2 que, no período de operação do sistema com taxas de aplicação de 0,24 e 0,36 m³.h⁻¹.m⁻¹, os valores da velocidade de infiltração básica, determinada pelo método de entrada e saída, não variaram (P>0,05) entre tratamentos, atingindo valores médios de 0,82 e 1,05 cm.h⁻¹, respectivamente.

Para cálculo do volume percolado, foi desconsiderada a evapotranspiração do capim-coastcross, considerando que o valor da evapotranspiração média diária da cultura foi de 2,54 mm, (FONSECA, 2000), o que correspondia de 2 a 3% do volume percolado, considerado insignificante. O percentual de volume percolado calculado não variou (P>0,05) entre tratamentos, tendo sido obtidos valores médios de 59 e 72%, nas taxas de aplicação de 0,36 e 0,24 m³.h⁻¹.m⁻¹, respectivamente.

No Quadro 3 são apresentados os valores médios diários características físicas e químicas do afluente e efluente do sistema de tratamento do esgoto pelo método do escoamento superficial.

Observou-se que a temperatura e não variou entre tratamentos, em razão do sobremento proporcionado pela vegetação. Entretanto, o pH variou, sendo maior para a menor taxa de aplicação, provavelmente devido ao tempo de detenção maior, conseqüentemente, maior precipitação de sais.

Quadro 3 - Características físicas e químicas do afluente e efluente do sistema de tratamento do esgoto pelo método do escoamento superficial (médias das análises efetuadas de Março a setembro de 1999)

Parâmetros avaliados	Unidades	Efluente do tratamento por escoamento superficial			
		Tratamento preliminar		Taxa de aplicação	
		Afluente	Efluente	0,36 m ³ .h ⁻¹ .m ⁻¹	0,24 m ³ .h ⁻¹ .m ⁻¹



Temperatura	°C	24	24	23	23
PH	pH	6,8 a 7,3 ^A	7,0 a 7,3	7,3 a 7,6 ^A	7,6 a 7,7 ^B
Varição	%	-1,6 a +3,2		-4,3 a -5,8	-5,8 a -6,3
Sólidos sedimentáveis	mL.L ⁻¹	10	9	< 0,1	< 0,1
Eficiência	%	10,0		98,8	98,8
Sólidos Totais	mg.L ⁻¹	690 ± 70,01 ^C	683 ± 68,79 ^C	442 ± 7,14 ^A	402 ± 15,80 ^B
Eficiência	%	1,0		35,3	41,2
Alcalinidade	mg.L ⁻¹ CaCO ₃	196 ± 16,07 ^C	198 ± 16,44 ^C	185 ± 5,18 ^A	172 ± 5,31 ^B
Varição	%	+ 0,9		-6,5	-13,1
CE	dS.m ⁻¹	0,552 ± 0,032 ^C	0,557 ± 0,034 ^C	0,525 ± 0,013 ^A	0,496 ± 0,009 ^B
Varição	%	+ 0,9		-5,7	-10,9
DQO	mg.L ⁻¹	709 ± 81,83 ^C	715 ± 84,10 ^C	310 ± 27,54 ^A	263 ± 27,69 ^A
Eficiência	%	-0,8		56,7	63,2
DBO ₅ ^{20c}	mg.L ⁻¹	360 ± 64,42 ^C	340 ± 58,95 ^C	157 ± 5,80 ^A	137 ± 18,94 ^A
Eficiência	%	0,3		53,9	61,2
Coliforme total	NMP/100mL	9x10 ⁷ ± 70,01 ^C	1x10 ⁸ ± 70,01 ^C	6x10 ⁷ ± 4x10 ⁶ ^A	5x10 ⁷ ± 6x10 ⁶ ^B
Coliformes fecais- <i>E.coli</i>	NMP/100mL	9x10 ⁶ ± 70,01 ^C	1x10 ⁷ ± 70,01 ^C	9x10 ⁶ ± 4x10 ⁵ ^A	8x10 ⁶ ± 2x10 ⁶ ^A

Nota: Letras minúsculas sobrescritas diferentes indicam variação significativa entre tratamentos, (5% de probabilidade pelo teste de Tukey).

Adaptado de FONSECA (2000).

A eficiência de remoção de sólidos sedimentáveis no efluente das faixas de tratamento foi superior a 98,8%, para ambas as taxas de aplicação, proporcionando a formação do filme biológico e o aumento do conteúdo de matéria orgânica.

A remoção de sólidos totais variou de 35,3 e 41,2%, correspondentes as concentrações médias de 442 e 402 mg.L⁻¹, para as taxas de aplicação de 0,36 e 0,24 m³.h⁻¹.m⁻¹, respectivamente. Como era esperado, na menor vazão de aplicação, a eficiência de remoção foi maior, devido à menor velocidade de escoamento na faixa.

A alcalinidade nos efluentes decresceram de 6,5 e 13,1% para a maior e menor taxa de aplicação respectivamente; e a condutividade elétrica decresceu atingindo valores médios de 0,525 e 0,496 dS.m⁻¹, para a maior e menor taxa de aplicação, respectivamente. Maior decréscimo na alcalinidade ocorreu nas faixas de menor taxa de aplicação, devido ao maior tempo de detenção, e, com isso houve oportunidade para ocorrência da precipitação de ions contidos nas concentrações de bicarbonato e carbonato.

A remoção da Demanda Química de Oxigênio variou de 48,0 a 75,0% e valor médio de 63,2 %, correspondente as concentrações de 362 a 205 mg.L⁻¹ e 263 mg.L⁻¹, respectivamente, para a taxa de aplicação de 0,24 m³.h⁻¹.m⁻¹. Já para a taxa de aplicação de 0,36 m³.h⁻¹.m⁻¹ a DQO variou de 49 a 67 % e valor médio de 56,7 %, o que confere as concentrações de 313 a 278 mg.L⁻¹ e 310 mg.L⁻¹, respectivamente.

A remoção da Demanda Bioquímica de Oxigênio variou de 54 a 75 %, e valor médio de 61,2 %, correspondente as concentrações de 207 a 95 mg.L⁻¹ e 137 mg.L⁻¹, respectivamente, para a taxa de aplicação de 0,24 m³.h⁻¹.m⁻¹. Já para a taxa de aplicação de 0,36 m³.h⁻¹.m⁻¹ a DBO variou de 47 a 75 % e valor médio de 53,9 %, o que confere as concentrações de 213 a 80 mg.L⁻¹ e 157 mg.L⁻¹, respectivamente.

Os resultados não satisfatórios, em termos de matéria orgânica do efluente final no sistema, devem-se, provavelmente, a dois fatores principais: i) o tempo de operação (coleta de dados) de seis meses, provavelmente, insuficiente para a completa formação do filme biológico; e ii) o tamanho das faixas de escoamento superficial de 20 metros, considerando-se que não houve variação significativa na remoção do material orgânico no efluente das faixas em ambas as taxas de aplicação estudadas; possivelmente, na taxa de 0,36 m³.h⁻¹.m⁻¹, o comprimento da faixa poderia ser superior a 20 metros.

O decréscimo na contagem de coliformes totais e fecais - *E.coli*, Quadro 3, foi menor que uma unidade logarítmica na contagem de coliformes. Tal fato deveu-se, provavelmente, às condições favoráveis do meio à sobrevivência das bactérias, ou seja, o pH alcalino, manutenção de elevada umidade no solo, freqüente adição de material orgânico ao solo e, principalmente, baixa insolação na superfície do solo (BILTON e GERBA, 1984).



Observa-se, no Quadro 4, que a alteração ocorrido na composição química do solo da fase do projeto no período de operação antes da aplicação do esgoto se deveu ao movimento de terra ocorrido na sistematização da área e, provavelmente, ao uso dos fertilizantes superfosfato simples e nitrocálcio (FONSECA, 2000) no estabelecimento da gramínea.

Quadro 4 - Características químicas das amostras do solo da classe Podzólico Vermelho-Amarelo câmbico, na fase de projeto e de operação da ETE experimental (antes e após 10 meses de aplicação do esgoto no solo)

Características	Profundidades (cm)	Fase de projeto antes da sistematização	Fase de operação da ETE após a sistematização			
			Taxa de aplicação $q = 0,36 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$		Taxa de aplicação $q = 0,24 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$	
			Antes da aplicação do esgoto nas faixas	Após aplicação do esgoto nas faixas	Antes da aplicação do esgoto nas faixas	Após aplicação do esgoto nas faixas
Carbono orgânico ($\text{dag} \cdot \text{kg}^{-1}$)	0-10	2,38		2,35		2,42
	20-30	0,86		2,28		2,42
	50-60	0,82		1,41		1,14
pH em água (1:2,5)	0-10	5,2	5,7	5,7	5,6	6,6
	20-30	5,3	5,7	5,6	5,8	5,5
	50-60	5,5	5,5	5,3	5,6	5,3
P total ($\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$)	0-10	2,4	4,6	22,6	3,2	14,4
	20-30	0,7	4,6	18,5	4,4	12,9
	50-60	0,8	1,8	9,3	1,3	6,6
K trocável ($\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$)	0-10	91	126	49	97	36
	20-30	20	126	71	196	58
	50-60	9	64	66	88	64
Ca^{2+} trocável ($\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$)	0-10	1,60	2,28	3,02	2,28	2,66
	20-30	0,30	2,28	2,57	2,68	2,35
	50-60	0,30	1,27	1,55	1,60	1,41
Mg^{2+} trocável ($\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$)	0-10	0,70	0,75	0,74	0,82	0,71
	20-30	0,70	0,75	0,69	1,03	0,64
	50-60	0,50	0,57	0,47	0,60	0,47

Adaptado de FONSECA (2000).

Observa-se no quadro 4 que não houve alterações dos teores de carbono orgânico nos primeiros 10 cm do solo, entretanto esses teores aumentaram ao longo do perfil do solo, sendo ligeiramente maiores nas profundidades de 20-30 e 50-60 cm na taxa de aplicação de $0,36 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, possivelmente devido à maior concentração de matéria orgânica aplicada nas faixas.

Os valores de pH indicaram acidez média, na profundidade de 0 a 60 cm, antes e depois da operação, em geral; entretanto, nos primeiros 10 cm do solo, na taxa de $0,24 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ depois da aplicação do esgoto no solo, ocorreu acréscimo do pH, classificado como acidez fraca.

Os teores de fósforo (Quadro 4) aumentou, nas profundidades de 0-10, 20-30 e 40-60 cm, após a aplicação do esgoto nas duas taxas de aplicação. O acréscimo de fósforo foi maior nas camadas de 0-10 e 20-30 cm das faixas em que foi utilizada a taxa de $0,36 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$. O maior volume de esgoto aplicado fez com que maiores quantidades de P ficassem sujeitas à adsorção na fase sólida do solo. Na camada de 50-60 cm, a concentração de P aumentou mais que nas faixas que receberam a taxa de $0,24 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$. Acredita-se que esses resultados estejam associados ao maior tempo de detenção (Quadro 2) que proporcionou a penetração de P em maiores profundidades no solo. Considerando que os solos brasileiros são pobres e apresentam grande capacidade de adsorver fósforo, o tratamento do esgoto por disposição no solo torna-se excelente opção para adição desse nutriente ao solo.

A concentração de potássio disponível (Quadro 4) diminuiu após a aplicação do esgoto no solo em ambas as taxas e tendeu a aumentar com a profundidade na menor taxa de aplicação.



Por ser o K um cátion de grande mobilidade no solo, o esgoto aplicado possivelmente promoveu a lixiviação desse cátion. Além disso, por ser o K fortemente absorvido pelas plantas, pode ter havido grande retirada do cátion disponível no solo, o que proporcionou diminuição de sua concentração nas camadas superficiais do solo.

Houve concentração de cálcio trocável na profundidade de 0-10 cm do solo que aumentou em ambas as taxas de aplicação, embora isso não tenha ocorrido ao longo do perfil. Como o cálcio é de mobilidade mediana, não se poderia esperar seu acúmulo em maiores profundidades.

O magnésio trocável diminuiu com a profundidade do solo, após a aplicação do esgoto em ambas as taxas de aplicação. Acredita-se que a formação de sais de baixa solubilidade, como carbonatos e sulfatos, que indisponibilizaram esses cátions no solo, e a sua absorção pelas plantas tenham sido os principais responsáveis pela diminuição da concentração de Mg nas camadas superficiais do solo.

O teor de carbono orgânico e o pH do solo não foram influenciados pela aplicação de esgoto, enquanto os teores de P e Ca aumentaram e os de K e Mg, diminuíram.

Na Figura 2 estão apresentadas as curvas de retenção de água no solo após a implantação da ETE antes (após a área sistematizada) e depois de 10 meses de aplicação do esgoto no solo, correspondentes à profundidade de 50-60 cm. Observou-se que a capacidade de retenção de água diminuiu após a aplicação do esgoto, tal comportamento pode estar associado ao teor de gordura presente no esgoto, que, entupindo os poros do solo, poderia estar impedindo a retenção da água pelas partículas desse solo.

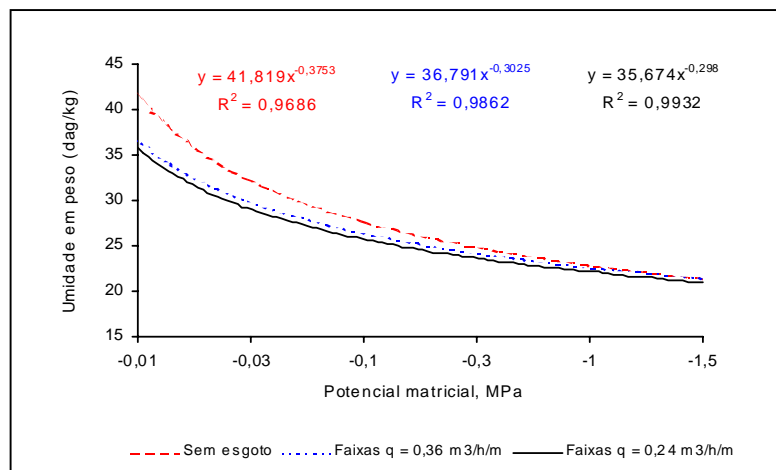


Figura 2 – Curva de retenção de água no solo à profundidade de 50-60 cm após a implantação da ETE, antes e depois da aplicação do esgoto no solo.

O teor de matéria seca do capim-coastcross fertirrigado com esgoto, Quadro 5, em todos os cortes, foi menor ($P < 0,05$) que a do capim que não recebeu esgoto. O crescimento luxuriante da vegetação, fertirrigada com esgoto, observado no campo, devido à disponibilidade de água e nutrientes, fez com que houvesse a produção de uma massa verde mais volumosa, embora menos concentrada.

Observou-se, (Quadro 5), maiores ($P < 0,05$) teores de proteína bruta no capim tratado com esgoto, que por sua vez não diferiram entre as taxas de aplicação usadas, enquanto no tratamento sem esgoto se registrou valor inferiores. Os teores protéicos obtidos nos cortes 1º, 2º e 3º cortes, os quais encontravam-se com a idade avançada, o teor protéico tende a decrescer com a maturidade da planta.

Quadro 5 - Composição químico-bromatológica e digestibilidade “in vitro” da matéria seca do capim-coastcross tratado com e sem esgoto doméstico bruto, nos quatro cortes avaliados

Tratamentos	MS (%)	PB (%)	P (%)	DIVMS (%)
1º Corte – 53 dias				
Sem esgoto	31,30 ± 0,00 ^a	8,10 ± 0,00 ^b	0,20 ± 0,01 ^b	56,71 ± 0,00 ^a
Q = 0,24 m ³ .h ⁻¹ .m ⁻¹	24,75 ± 0,77 ^b	16,63 ± 0,77 ^a	0,30 ± 0,03 ^a	61,42 ± 5,94 ^a
Q = 0,36 m ³ .h ⁻¹ .m ⁻¹	24,16 ± 1,80 ^b	17,47 ± 0,99 ^a	0,28 ± 0,03 ^a	63,86 ± 0,62 ^a



2º Corte – 46 dias				
Sem esgoto	20,30 ± 0,00 ^a	14,27 ± 0,00 ^b	0,27 ± 0,04 ^b	51,96 ± 0,00 ^a
Q = 0,24 m ³ .h ⁻¹ .m ⁻¹	17,30 ± 0,62 ^b	21,58 ± 1,39 ^a	0,48 ± 0,03 ^a	49,83 ± 0,43 ^a
Q = 0,36 m ³ .h ⁻¹ .m ⁻¹	17,69 ± 0,63 ^b	20,71 ± 0,68 ^a	0,46 ± 0,01 ^a	50,80 ± 3,16 ^a
3º Corte – 28 dias				
Sem esgoto	32,27 ± 0,00 ^a	11,81 ± 0,00 ^b	0,26 ± 0,01 ^b	65,71 ± 0,00 ^a
Q = 0,24 m ³ .h ⁻¹ .m ⁻¹	21,63 ± 3,17 ^b	18,60 ± 2,33 ^a	0,39 ± 0,04 ^a	64,26 ± 3,64 ^a
Q = 0,36 m ³ .h ⁻¹ .m ⁻¹	20,91 ± 0,52 ^b	21,05 ± 1,49 ^a	0,35 ± 0,05 ^{ab}	61,66 ± 7,65 ^a
4º Corte – 48 dias				
Sem esgoto	37,55 ± 0,00 ^a	9,82 ± 0,00 ^b	0,15 ± 0,04 ^b	60,89 ± 0,00 ^b
Q = 0,24 m ³ .h ⁻¹ .m ⁻¹	22,51 ± 1,47 ^b	17,81 ± 2,32 ^a	0,32 ± 0,05 ^a	72,21 ± 0,86 ^a
Q = 0,36 m ³ .h ⁻¹ .m ⁻¹	22,66 ± 1,47 ^b	19,22 ± 0,37 ^a	0,32 ± 0,03 ^a	70,96 ± 3,67 ^a

Nota: Letras minúsculas sobrescritas diferentes indicam variação significativa entre tratamentos, (5% de probabilidade pelo teste de Tukey).

Adaptado de FONSECA (2000).

O teor de fósforo na matéria seca na forragem tratada com esgoto, em ambas as taxas de aplicação, variou significativamente em relação à não-tratada com esgoto nos quatro cortes. Houve a tendência de decréscimo do teor de fósforo com o envelhecimento da planta, sendo maior para a forragem que não foi tratada com esgoto, possivelmente devido ao fato de a sua atividade metabólica reduzir com a idade. No que se refere ao conteúdo de fósforo nas plantas, destacou-se o quarto corte, no qual o teor na forragem tratada com esgoto foi mais que o dobro da tratada com água, caracterizando o esgoto como fonte de fósforo para as plantas, o que se pôde confirmar pela disponibilidade de fósforo no solo após à aplicação do esgoto, conforme já observado no Quadro . Observa-se, nesse quadro, que a absorção de fósforo pelo capim-coastcross foi maior nas faixas que receberam a menor taxa de aplicação de esgoto. Esses resultados estão coerentes com os apresentados no Quadro 4, que indicam maior disponibilidade de P nessas faixas.

A digestibilidade “in vitro” do capim-coastcross (Quadro 5) não variou ($P > 0,05$) quando aplicadas as taxas de aplicação de 0,24 e 0,36 m³.h⁻¹.m⁻¹ e não variou na forragem cultivada sem esgoto no primeiro, segundo e terceiro cortes; entretanto, variou ($P < 0,05$) no quarto corte. Analisando os resultados obtidos em geral, observou-se que os valores obtidos para a digestibilidade estão muito próximos. De fato, a literatura registra resultados com efeitos pouco consistentes da adubação nitrogenada sobre a DIVMS, de plantas forrageiras fertirrigadas com esgoto. O percentual de forragem digerido pelo animal foi igual em ambos os tratamentos, com ou sem esgoto, sendo, ao que tudo indica, recomendável a alimentação do animal com forragem adubada com esgoto doméstico bruto.

Observa-se, no Quadro 6, que os teores de cálcio e magnésio na forragem não variaram significativamente quando tratados ou não com esgoto em todos os cortes. O teor de cálcio tendeu a aumentar com a idade do capim-coastcross, devido ao acúmulo desse elemento nas partes mais velhas da planta, sendo esse aumento menor no quarto corte do capim tratado com esgoto. Os maiores teores de cálcio na forragem tratada com esgoto deveram-se à disponibilidade desse nutriente no solo quando se aplicou esgoto nele, conforme já observado no Quadro 4.

O teor de magnésio não variou ($P > 0,05$) com a idade da planta, contrariando os resultados de HERRERA e HERNANDEZ (1987) e PALHANO (1990) que observaram decréscimo nos teores desse elemento com o avanço da idade. Os autores atribuíram essa queda ao aumento da senescência foliar ou ao efeito de diluição com o avanço da idade.

O teor de potássio não variou ($P > 0,05$) no capim tratado com esgoto, com taxas de aplicação de 0,36 e 0,24 m³.h⁻¹.m⁻¹ e sem esgoto, em todos os cortes avaliados (Quadro 6). Verificou-se tendência de decréscimo do teor de potássio na forragem com o seu envelhecimento, o que era de se esperar, devido ao fato de a sua atividade metabólica se reduzir com o tempo.

É interessante ressaltar que o teor de potássio trocável no solo (Quadro 4) reduziu em mais de 300% na profundidade de 0-10 e 20-30 cm após a aplicação do esgoto, indicando que grande parte desse nutriente foi utilizada pela forrageira.

Quadro 6 - Composição química da matéria seca do capim-coastcross tratado com e sem esgoto doméstico bruto, nos quatro cortes avaliados



Tratamentos	Ca (%)	Mg (%)	K (%)
1º Corte – 53 dias			
Sem esgoto	0,27 ± 0,02 ^a	0,13 ± 0,01 ^a	1,86 ± 0,13 ^b
Q = 0,24 m ³ .h ⁻¹ .m ⁻¹	0,32 ± 0,05 ^a	0,15 ± 0,01 ^a	2,21 ± 0,16 ^a
Q = 0,36 m ³ .h ⁻¹ .m ⁻¹	0,29 ± 0,08 ^a	0,14 ± 0,02 ^a	2,11 ± 0,15 ^a
2º Corte – 46 dias			
Sem esgoto	0,38 ± 0,04 ^a	0,18 ± 0,00 ^a	3,62 ± 0,16 ^a
Q = 0,24 m ³ .h ⁻¹ .m ⁻¹	0,38 ± 0,07 ^a	0,16 ± 0,03 ^a	3,27 ± 0,48 ^a
Q = 0,36 m ³ .h ⁻¹ .m ⁻¹	0,48 ± 0,02 ^a	0,19 ± 0,01 ^a	3,57 ± 0,23 ^a
3º Corte – 28 dias			
Sem esgoto	0,38 ± 0,02 ^b	0,19 ± 0,01 ^a	1,93 ± 0,06 ^a
Q = 0,24 m ³ .h ⁻¹ .m ⁻¹	0,47 ± 0,05 ^a	0,20 ± 0,02 ^a	2,22 ± 0,14 ^a
Q = 0,36 m ³ .h ⁻¹ .m ⁻¹	0,46 ± 0,01 ^a	0,19 ± 0,01 ^a	1,92 ± 0,24 ^a
4º Corte – 48 dias			
Sem esgoto	0,62 ± 0,02 ^a	0,18 ± 0,01 ^a	1,84 ± 0,20 ^a
Q = 0,24 m ³ .h ⁻¹ .m ⁻¹	0,50 ± 0,05 ^a	0,18 ± 0,02 ^a	2,08 ± 0,47 ^a
Q = 0,36 m ³ .h ⁻¹ .m ⁻¹	0,56 ± 0,06 ^a	0,18 ± 0,01 ^a	1,92 ± 0,34 ^a

Nota: Letras minúsculas sobrescritas diferentes indicam variação significativa entre tratamentos, (5% de probabilidade pelo teste de Tukey).

Adaptado de FONSECA (2000).

Quanto os aspectos sanitários do capim fertirrigado com esgoto doméstico, observa-se que a contagem em NMP de coliformes fecais-*E.coli* por grama de forragem, Figura 3, na forragem verde do capim foi menor que 1, após o sistema ser paralisado por sete dias e após doze dias de fenação do capim, em ambas as taxas de aplicação, enquanto na parcela irrigada com água foi sempre menor que 1.

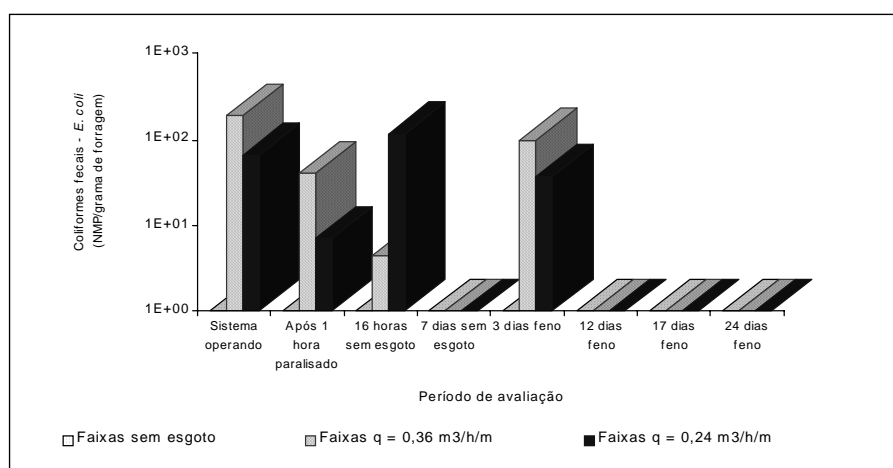


Figura 3 – Contagem de coliformes fecais – *E. Coli* na forragem verde e fenada do capim-coastcross, com e sem esgoto doméstico bruto, durante e após a operação do sistema.

Os resultados obtidos conferem com as citações da OMS (1989), ou sejam: i) em culturas fertirrigadas com esgoto doméstico, o período de sobrevivência de coliforme fecal na folha do vegetal, em temperatura ambiente de 20 a 30°C, é usualmente menor que 15 dias, podendo atingir até 30 dias; valores esses dependentes das condições climáticas, do tipo de solo e da qualidade da água residuária. ii) a OMS sugeriu que fosse respeitado o prazo de duas semanas entre o término da irrigação da forrageira com águas residuárias para alimentação de animais.

Observa-se na Figura 4 que o nível d'água, no poço-testemunha foi menor que nos poços localizados a jusante da área de tratamento, não havendo contaminação da água do lençol freático por coliformes totais fecais-*E.coli*, Quadro 7.

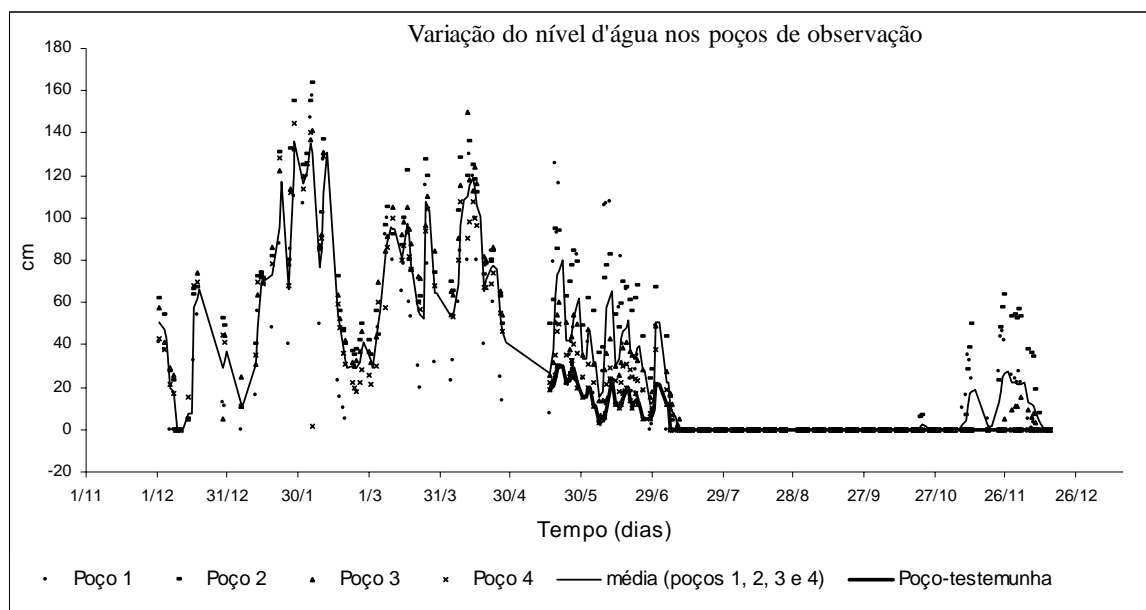


Figura 4 - Variação diária do nível d'água dos poços de observação no período de um ano de operação do sistema de tratamento de esgoto doméstico por escoamento superficial

Observou-se que, em determinados períodos o nível do lençol freático decresceu, chegando até a zero, períodos correspondentes de interrupção da aplicação do esgoto para secagem do solo e corte da forrageira, ou devido a problemas na EEE do Condomínio Acamari, ou o sistema foi paralisado para manutenção no final das faixas

Verificou-se que o nível d'água nos poços observação atingiram valores superiores de 100 atingindo até 160 cm, possivelmente devido à recarga do lençol freático pelas águas de precipitação pluviométrica e ou mesmo a percolação do esgoto no solo.

Após a locação do poço testemunha a montante das faixas de tratamento, observou-se que, no período de 17/05 a 05/07/99 o seu nível manteve-se inferior aos poços 1, 2, 3 e 4, localizados a jusante da unidade de tratamento do esgoto.

No período de 12/07 a 07/11/99 o nível do lençol dos poços de observação decresceram a zero, em decorrência do período da seca. Neste período observou-se que os poços a jusante do tratamento mantiveram-se molhados, enquanto o testemunha, totalmente seco. Tão logo retornaram as chuvas, meados de novembro, os poços 1, 2 e 3 voltaram a elevar o nível d'água, e os poços 1 e testemunha mantiveram-se secos.

A precipitação pluviométrica acumulada em 1 ano e 55 dias foi de aproximadamente 1550 mm, (FONSECA, 2000), muito inferior que à da lâmina de esgoto aplicada, que variou de 57 a 84 mm diários, (Quadro 2), para oito horas de operação do sistema com frequência de cinco dias.

Há uma possível recarga do lençol freático, seja ela pela infiltração do esgoto no solo ou mesmo a contribuição dos furos de coleta de solo efetuados nas faixas de tratamento no início do experimento; o que confere os resultados: a velocidade de infiltração básica, tendeu a aumentar inicialmente e depois em meados de junho a reduzir (FONSECA, 2000); após aplicação do esgoto as partículas do solo diminuiu sua capacidade de retenção de água no solo; em média foram percolados 24,34 m³/dia de água no solo e o nível de água no poço testemunha foi inferior aos poços a jusante do tratamento.

A ausência de coliformes fecais na água dos poços, Quadro 7, pode estar associada tanto a percolação do esgoto no solo bem como devido à capacidade de remoção do meio poroso. A filtração, competição e predação por outros microorganismos, adsorção nas partículas carregadas e acidez do solo. BITTON et. al. (1984) citam que, a partir de 3 m no perfil do solo os coliformes fecais não conseguem sobreviver, provavelmente em razão da ausência de material orgânico, fundamental à sua sobrevivência.

Quadro 7 - Contagem do número de coliformes totais e fecais (*E.coli*) nos poços de observação do lençol freático localizados na área de tratamento de esgoto por escoamento superficial



Data	Coliformes totais (NMP/100 ml)					Coliformes fecais - <i>E.coli</i> (NMP/100ml)				
	Poço teste	Poço 01	Poço 02	Poço 03	Poço 04	Poço teste	Poço 01	Poço 02	Poço 03	Poço 04
15/01		10 ⁴	10 ²	10 ³	10 ⁴		< 1	10 ²	< 1	10 ²
03/02		10 ³	10 ³	10	10 ³		< 1	8	< 1	< 1
10/02		10 ⁴	10 ²	10	100		< 1	10	< 1	8
17/03		10 ³	10 ²	100	100		< 1	< 1	< 1	< 1
24/03		10 ³	10	10	10		2	1	< 1	1
Média		4x10 ³	2x10 ²	2x10 ³	3x10 ³		< 1	20	< 1	30
Desvio padrão		± 5 x10 ³	± 4x10 ²	± 4x10 ²	± 4x10 ³		± 0,90	± 4,00	± 0,00	± 4,00
19/05	10 ³	10 ⁴	3	< 1	10 ²	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
25/05	10 ⁴	10 ³	< 1	< 1	10 ³	< 1	2	< 1	< 1	< 1
01/06	10 ⁴	10 ⁴	< 1	< 1	< 1	< 1	1	< 1	< 1	< 1
30/06	10 ²	< 1	< 1	< 1	6	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Média	5x10 ³	4x10 ³	2	10	2x10 ²	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Desvio padrão	± 6x10 ³	± 5x10 ³	± 2,00	± 40,0	± 4x10 ²	± 0,00	± 0,80	± 0,07	± 0,00	± 1,00

Nota: Na última semana de março os poços foram limpos.

A concentração média de oxigênio dissolvido (Figura 5) nos poços 1, 2, 3 e 4 variou de 1,0 a 2,0 mg.L⁻¹, enquanto no poço testemunha variou de 3,0 a 4,0 mg.L⁻¹. Os valores de concentração de oxigênio dissolvido da água do poço testemunha, estiveram mais de 100 % acima, dos obtidos nos poços localizados a jusante da unidade de tratamento do esgoto.

Os resultados atenderam o decreto nº 52.504, anexo 2.1, de 28/07/1970 (São Paulo), da padronização das condições de potabilidade das águas para consumo particular, o qual estabelece para águas de poços sem tratamento, o valor da concentração de Oxigênio Dissolvido de até 3,5 mg.L⁻¹ em oxigênio.

O valor médio do pH da água do poço testemunha, Figura 6, foi superior aos obtidos nos demais poços localizados a jusante do tratamento do esgoto., provavelmente devido a recarga do lençol freático. Entretanto, suspeita-se que o valor de pH encontrado para as águas do poço testemunha é que esteja muito alto, haja vista os baixos valores de pH encontrados neste solo.

Os valores de pH da água do poço localizado a montante (testemunha) e dos poços de observação 1, 2, 3 e 4, localizados a jusante das faixas de tratamento, enquadraram-se dentro do limite padrão de potabilidade da água, recomendada pela OMS (1972) e pelo decreto nº 52.504, de 28/07/1970 (São Paulo), os quais estabelecem o valor do pH entre 5 e 10.

Os resultados da condutividade elétrica, da água dos poços de observação localizados a jusante e montante das faixas de tratamento estão apresentados na Figura 7.

Observou-se uma tendência de acréscimo da condutividade elétrica ao longo do tempo nos poços localizados a jusante do tratamento. O aumento da condutividade elétrica da água do poço 2 pode ser um forte indicativo de estar a água desse poço sendo contaminada. Como a mesma tendência não foi verificada na água dos outros poços, pode-se suspeitar que possa ter havido problemas de instalação dos tubos nesse poço proporcionando a formação de canais preferenciais de escoamento de esgoto, vindo a contaminar diretamente a água freática.

Os resultados obtidos para a condutividade elétrica indicam baixa recarga das águas freáticas com o esgoto percolado, haja vista que o carregamento de íons de alta mobilidade, tais como Na⁺, K⁺ e outros sabidamente presentes em grande quantidade no esgoto, deveriam proporcionar elevação da condutividade elétrica da água do poço.

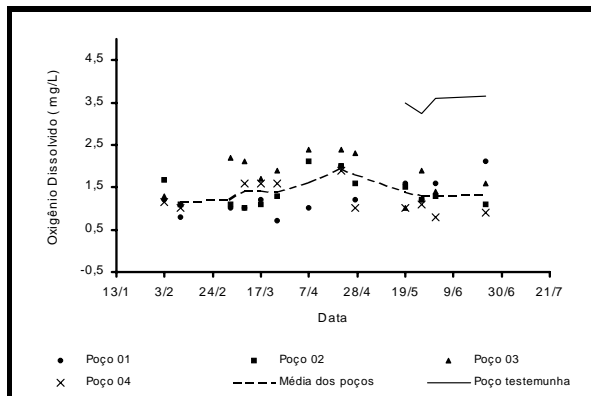


Figura 5 - Variação temporal da concentração de Oxigênio Dissolvido nos poços de observação localizados junto as faixas de tratamento de esgoto por escoamento superficial.

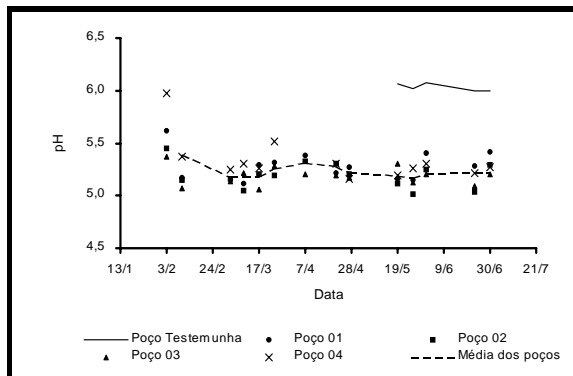


Figura 6 - Variação temporal do pH nos poços de observação localizados junto as faixas de tratamento de esgoto por escoamento superficial.

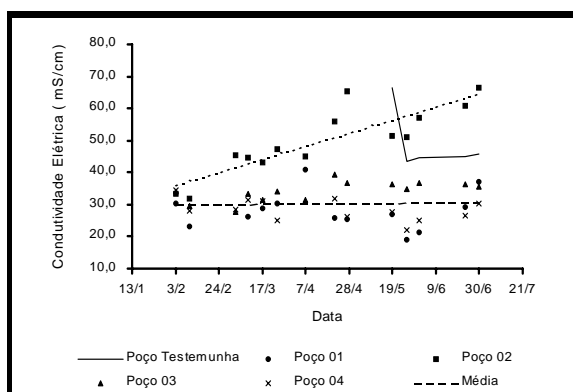


Figura 7 - Variação temporal da condutividade elétrica nos poços de observação localizados junto as faixas de tratamento de esgoto por escoamento superficial.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, o tratamento do esgoto bruto de origem doméstica pelo método do escoamento superficial, mostrou-se de maneira geral, eficiente, quando monitorado a inter-relação solo-planta-água-clima. Pode-se concluir que:



- 1) Quanto as características físicas e químicas do esgoto e o uso de águas residuárias para fertirrigação de forrageira:
 - a remoção de sólidos sedimentáveis, atendeu o estabelecido pela Deliberação Normativa COPAM.
 - os valores de pH encontrados, situaram-se dentro dos limites recomendados por AYERS et. al. (1991) e da deliberação do COPAM. O esgoto manteve a classificação de salinidade média-C2 (AYERS et. al., 1991) após ser submetido ao tratamento, podendo ser utilizado na fertirrigação do capim-coastcross, sem as práticas especiais de controle da salinidade.
 - a remoção de matéria orgânica, medida pelos parâmetros DQO e DBO, apesar de significativa, não atendeu a deliberação da COPAM.
 - o tratamento do esgoto não foi eficiente quanto a remoção de coliformes totais e fecais-*E.coli*.

- 2) Quanto as alterações físicas e químicas ocorridas no solo:
 - a aplicação constante de esgoto doméstico bruto no solo influenciou na velocidade de infiltração de água no solo, na retenção de água no solo, e alterou, positivamente, quantitativamente e qualitativamente macro e micro nutrientes disponíveis no solo.

- 3) Quanto ao aproveitamento de água e nutrientes disponíveis no esgoto, para cultivo de forragens:
 - foi elevado o valor nutritivo do capim-coastcross cultivado em faixas de tratamento com esgoto.
 - não variou a digestibilidade “in vitro” da matéria seca e os teores dos minerais, cálcio, potássio e magnésio do capim quando cultivados em faixas de tratamento com ou sem esgoto.
 - após sete dias do sistema de tratamento do esgoto paralisado e ou após doze dias do capim ser fenado a contagem de coliformes tendeu ser menor que um. É portanto, o consumo do capim verde ou fenado para a alimentação de ruminantes.

- 4) Quanto aos aspectos quantitativos e qualitativos da água do lençóis freático:
 - houve baixa recarga das águas freáticas com a disposição do esgoto no solo e não foi contaminada por coliformes totais e fecais - *E.coli*.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Departamento de Engenharia Agrícola – DEA e a Universidade Federal de Viçosa - UFV, pelo apoio na realização do projeto de pesquisa e à Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA pelo financiamento do presente estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20. ed. Washington. D.C.: APHA, s.n.p. 1998.
- AYERS, R. S., WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. João Pessoa: UFPB, 1991. p.218.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6.ed. Viçosa, MG: UFV, 1995. 657p.
- BITTON, G., GERBA, C. P. **Groundwater pollution microbiology**. New York: John Wiley & Sons, 1984. 379p.
- DECRETO Nº 52.504, de 28 de julho de 1970 – Águas de consumo alimentar. In: AZEVEDO NETTO, J. M. (Coord.). **Técnica de Abastecimento e tratamento de água**. 2. ed. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1987. p.63-68.
- DELIBERAÇÃO NORMATIVA DA COMISSÃO DE POLÍTICA AMBIENTAL – COPAM Nº 010, de 16 de dezembro de 1986. Estabelece normas e padrões para qualidade das águas, lançamento de efluentes nas coleções de água, e dá outras providências. In: VIANNA, M. R. **Hidráulica aplicada às estações de tratamento de água**. 3. ed. Belo Horizonte: Imprimatur, 1997. p.540-552.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, RJ: SNLCS, 1997. 212 p.
- FERREIRA, P.A. **Drenagem de terras agrícolas**. Brasília, DF: ABEAS, 1998. 141p. (Curso por tutoria à distância. Curso de Engenharia e Manejo de irrigação. Módulo, 6).
- FONSECA, S.P.P. **Avaliação do tratamento de esgoto doméstico bruto pelo método de escoamento superficial utilizando o capim-coastcross (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.)**. Viçosa: UFV. 2000. 154p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola-Irrigação e drenagem) – Universidade Federal de Viçosa, 2000b.



- HERRERA, R. S., HERNANDEZ, Y. Efecto de la edad de rebrote en algunos indicadores de la calidad de la Bermuda Cruzada-1. I. Componentes Solubles. **Pastos y Forrajes**, v.10, p.160-168, 1987.
- OLIVEIRA, J.B., JACOMINE, P.K., CARMARGO, M.N.C. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento**. Jaboticabal, SP: FUNEP, 1992. 201p.
- ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD – OMS. Normas Internacionales para el agua potable. 3, ed. Genebra: 1972. In: AZEVEDO NETTO, J. M. **Técnica de abastecimento e tratamento de água**. 2.ed. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1987. p.99-106.
- ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD-OMS. **Directrices sanitarias sobre el uso de agua residuales en agricultura y acuicultura**. Genebra: OMS,1989. 93p. (Serie de Informes Técnicos, 778).
- PALHANO, A. L. **Recrutamento de nutrientes e valor nutritivo de *Cynodon dactylon* (L.) Pers. cv. coast-cross nº 1**. Piracicaba: ESALQ, 1990. 122p. Dissertação (Mestrado em Agrimensura) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1990.
- SILVA, D. J. **Análise de alimentos** (métodos químicos e biológicos). 2.ed. Viçosa, MG:UFV, Impr.Univ., 1990. 165p.
- SILVA, M. O. S. A. **Análises físico-químicas para controle de estações de tratamento de esgotos**. São Paulo: CETESB, 1977. 226 p.
- SOARES, A. A. **Curso de irrigação por superfície**. Brasília, DF: ABEAS, 1998. 89p. (Curso por tutoria a distância. Curso de Engenharia e Manejo de Irrigação. Módulo, 3).
- U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. **Process design manual – land treatment of municipal wastewater**. Washington, D.C.: Department of the Interior, 1981. 625p.

REFERÊNCIA:

- FONSECA, S. P. P. Experiências operacionais em uma unidade de tratamento de esgoto doméstico pelo método de escoamento superficial. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., João Pessoa, PB. **Anais...** João Pessoa, PB, 2001.