

II-446 - VARIAÇÃO NA POPULAÇÃO DE COLIFORMES NO PROCESSO DE TRATAMENTO POR ESCOAMENTO SUPERFICIAL**Sandra Parreiras Pereira Pereiras** ⁽¹⁾

Engenharia Civil pela Escola de Engenharia Kennedy, Mestre em Irrigação e Drenagem e Doutora em Recursos Hídricos e Ambientais do Curso de Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa – UFV. MBA em Gestão de Negócios pela UNIVICOSA. Coordenadora de Operação de Estações de Tratamento de Esgoto da RMBH da Divisão de Tratamento de Efluentes da Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA.

Antonio Alves Soares

Engenheiro Agrícola e Mestre em Engenharia Agrícola pela UFV. Doutor em Engenharia de Irrigação pela Universidade Estadual de Utah. Estágio Pós-Doutorado pela Universidade da Califórnia Los Angeles. Professor do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV.

Marcos Rocha Vianna

Eng. Civil e Sanitarista, Mestre e Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento. Professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG

Antonio Teixeira de Matos

Engenheiro Agrícola pela UFV. Especialista em Engenharia de Irrigação pela UFSC. Mestre em Engenharia Agrícola e Doutor em Agronomia [Solos e Nutrição de Plantas] pela UFV Pós-Doutorado pela EPAMIG. Professor do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV

Endereço ⁽¹⁾: Rua Gomes Barbosa, 79, apto 200, Centro, Viçosa – MG. Brasil. CEP: 36570-000. Tel: (31) 3891-1044 e (31) 9965.4351 - E-mail: sandra.parreiras@copasa.com.br ou sarsan2006@hotmail.com

RESUMO

Objetivou-se avaliar a variação da população de coliformes totais e *Escherichia coli* (*E. coli*), ao longo da faixa de tratamento do processo de escoamento superficial utilizando efluente primário de fossa séptica. Foram implantados quatro planos de sistematização, cada um com três faixas de 1 m de largura, 25 m de comprimento e declividade de 2%, cultivados com o capim Tifton 85 (*Cynodon spp.*). A taxa aplicada do efluente foi de 0,48 m³.h⁻¹.m⁻¹, por um período de dez horas diárias e frequência de seis dias por semana, durante seis meses de operação. Amostras do afluente e do efluente foram coletadas a cada 2 m do início da faixa até atingir 18 metros, duas vezes por semana e submetidas à contagem de bactérias do grupo coliformes. Não houve variação na população de coliformes totais e termotolerantes (*E. coli*) ao longo da faixa de tratamento. Os resultados permitiram concluir que o tratamento de esgoto doméstico pelo método do escoamento superficial não é eficiente na remoção de coliformes totais e *E. coli*; há evidências que a bactéria *E.coli* reproduz ao longo da faixa de tratamento e não se recomenda a *E. coli* como indicador para monitoramento de unidades de tratamento de esgoto por escoamento superficial.

PALAVRAS-CHAVE: Escoamento superficial, coliformes, indicadores microbiológicos, *E.coli*.

INTRODUÇÃO

A Agência de Proteção Ambiental - EPA relata que existem riscos associados ao tratamento de águas residuárias domésticas por escoamento superficial e precauções devem ser tomadas para que eles sejam mínimos. Os riscos são de dois tipos: o risco de contaminação dos operadores do sistema e o risco de produtos contaminados, que podem, posteriormente, infectar humanos e animais quando do seu consumo.

Visando minimizar os riscos de contaminação, os pesquisadores têm recomendado o monitoramento das estações de tratamento de esgoto por escoamento superficial, principalmente quanto aos aspectos biológicos. O coliforme fecal *Escherichia coli* é considerado, mundialmente, um organismo indicador de contaminação fecal. A literatura cita que várias pesquisas têm demonstrado que em regiões quentes e úmidas, no verão, a *E.coli* se desenvolve no solo. Portanto, deve ser questionado o uso da *E. coli* como indicador adequado da qualidade da água de escoamento superficial localizadas em ambientes tropicais e sub-tropicais.

Objetivou-se, com a realização deste trabalho, avaliar a variação temporal e espacial da população de coliformes totais e *E. coli* no tratamento de esgoto por escoamento superficial, nas condições edafoclimáticas do município de Viçosa, MG.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na unidade de tratamento de esgoto por disposição no solo instalada na Estação Experimental de Tratamento de Águas Residuárias – EETAR, do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG. A ETE está localizada a 20°45'14" S, 42°52'53" W, na altitude de 693 m. A unidade é constituída de tratamento preliminar (caixa de areia, gradeamento e tanque de equalização); tratamento primário em tanque séptico (câmara dupla e leito de secagem, com tempo de detenção de, aproximadamente, 16 horas); e tratamento secundário pelo método do escoamento superficial.

O efluente do tanque séptico aplicado nas faixas de tratamento foi proveniente do Condomínio Bosque do Acamari, constituído de 136 unidades residenciais unifamiliares, com 568 habitantes, situado na cidade de Viçosa, MG.

A unidade de tratamento por escoamento superficial, com área total de 300 m², foi implantada em um solo classificado como Cambissolo Háplico Tb distrófico latossólico, textura argiloso-arenosa, (Tle variando entre 1,95 e 2,66 cm.h⁻¹), tendo sido a área dividida em quatro planos de sistematização, cada um com três faixas de 1 m de largura, 25 m de comprimento e declividade de 2%, cultivadas com o capim Tifton 85 (*Cynodon* spp.).

Das 12 faixas de tratamento implantadas, três foram escolhidas, aleatoriamente, para desenvolvimento da pesquisa, sendo uma testemunha (F6) sem aplicação do esgoto doméstico, e as outras duas (F4 e F5) com aplicação dessa água residuária na taxa de 0,48 m³.h⁻¹.m⁻¹. Os dados experimentais foram coletados na faixa F5, enquanto a faixa F4 operou apenas como reserva.

O efluente do tanque séptico foi conduzido até as faixas de tratamento, por meio de tubos de PVC com diâmetro nominal de 100 mm, com sistema de controle de vazão do tipo válvulas de esfera de 50 mm de diâmetro na entrada de cada faixa.

Canaletas de concreto foram construídas tanto no início de cada faixa, para uniformizar a aplicação do esgoto, como no final, para recolher o escoamento superficial. Os efluentes da unidade de tratamento foram conduzidos, por tubulação de PVC, até uma lagoa de maturação e, posteriormente, lançados na rede coletora de esgoto da UFV.

A cada 2 m na faixa, foram construídos sulcos transversais a ela, para uniformizar a distribuição do esgoto no solo e possibilitar a coleta de amostras ao longo do seu comprimento; para mais adequada amostragem do esgoto coletado, foram utilizados sacos coletores esterilizados.

Durante o período de seis meses de operação da unidade de tratamento, com o sistema operando no intervalo das 8 às 18 horas, de segunda a sábado, foram coletadas amostras do esgoto em 10 pontos da faixa F5, sendo no início da faixa e a cada 2 m, até se atingir os 18 m de seu comprimento. As coletas foram realizadas às quartas-feiras e aos sábados, no intervalo entre as 8 e 11 horas e 30 minutos. Em cada ponto, foi coletada uma amostra simples, em saco tipo Nasco, esterilizado, com volume de 100 mL. Posteriormente, o material foi acondicionado em caixa térmica, sob temperatura de aproximadamente 4 °C, e encaminhado para análise no Laboratório de Qualidade da Água do DEA/UFV. Na maioria dos dias de coleta, o tempo se encontrava nublado, com temperatura média variando entre 17,1 e 23,8 °C.

Nas amostras coletadas, foram realizadas as contagens de coliformes totais e *E. coli* utilizando-se o teste comercial, Auto-análise Colilert (AC), baseado na tecnologia dos substratos definidos (DST). Para contagem de coliformes totais, foi utilizado o substrato ONPG, constituído de enzimas metabolizadoras dos nutrientes, que é o açúcar β-d-galactosidase, e, como indicador da liberação do radical orgânico cromogênico, o composto orgânico o-nitrofenil. Para contagem de coliformes fecais (*E. coli*), foi utilizado o substrato MUG, constituído de enzimas metabolizadoras dos nutrientes, o açúcar β-d-glucuronidase, radical orgânico cromogênico e o composto orgânico 4-methyl-umbelliferyl. Os resultados foram expressos em número mais provável (NMP) por 100 mL de água residuária de origem doméstica.

As análises de microbiologia de coliformes totais e *E. coli* foram efetuadas em triplicata e, no máximo, em seis horas após cada coleta, segundo recomendações descritas no *Standard Methods...* (APHA, 2005).

O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), para avaliar o decaimento ou acréscimo na população de coliformes totais e termotolerantes (*Escherichia coli*) ao longo da faixa de tratamento por escoamento superficial.

Por meio do programa estatístico SAEG (1999), foram averiguadas a normalidade e a homocedasticidade e, posteriormente, a análise de variância. Caso apresentasse significância, era realizado o teste de comparação de médias de Newman Keuls, a 5% de probabilidade de erro.

RESULTADOS

Observou-se, que a quantidade média de coliformes totais e *E. coli*, respectivamente, sofreu acréscimo não-significativo ($p < 0,05$), menor que uma unidade logarítmica, de $1,14 \times 10^7$ NMP coliformes totais/100 mL para $1,50 \times 10^7$ NMP coliformes totais/100 mL e de $3,59 \times 10^6$ NMP *E. coli* /100 mL para $4,14 \times 10^6$ NMP *E. coli* /100 mL, ao longo de 18 m da faixa de tratamento. Os resultados conferem com os obtidos por Fonseca *et al.* (2000), quando pesquisaram a remoção de coliformes em faixas de tratamento com comprimento de 20 m em um Argissolo Vermelho Amarelo, cultivadas com o capim Coastcross e submetidas à aplicação de esgoto bruto, durante um ano. Os autores relataram que a contagem de coliformes totais e *E. coli* na água residuária sofreu acréscimo menor que uma unidade logarítmica e que a contagem de coliformes totais variou significativamente em relação às taxas de aplicação de 0,24 e 0,36 m³.h⁻¹.m⁻¹, enquanto a *E.coli* não variou.

Estes resultados divergem dos obtidos por Coraucci Filho (1991), Araújo (1998), Muirhead *et al.* (2006) e Wen *et al.* (2007). Coraucci Filho (1991), trabalhando com esgoto doméstico bruto, sob taxas de 0,1 e 0,4 m³.h⁻¹.m⁻¹, em faixas com 8% de declividade, cultivadas com *Brachiara humidicula*, obteve eficiência de 50% na remoção de coliformes termotolerantes. Araújo (1998) obteve, no tratamento do efluente anaeróbico de esgoto doméstico aplicado em uma rampa cultivada com *Brachiara humidicula*, remoção de 1 a 2 unidades logarítmicas, o equivalente a uma eficiência de 91% na remoção. Todavia, o autor alertou que a qualidade bacteriológica do efluente final do sistema de tratamento por escoamento superficial ainda não era satisfatória para a sua utilização em irrigação irrestrita, de culturas agrícolas, uma vez que foi superior ao valor máximo recomendado pela Organização Mundial de Saúde, que estabelece o máximo de 1000 UFC.100 mL⁻¹. Wen *et al.* (2007) ao aplicarem uma carga hidráulica de 28 cm.d⁻¹ (equivalente a uma taxa de 0,54 m³. h⁻¹.m⁻¹) de efluente poluído do Rio Wu-Lo, na Tailândia, em faixas cultivadas com diversas espécies vegetais, obtiveram remoção média de 89% de coliformes totais.

A remoção de *E. coli* no escoamento superficial, sob condições de saturação do solo, foi investigada em faixas de tratamento com 1 m de largura e 5 m de extensão por Muirhead *et al.* (2006). Nas faixas de tratamento gramadas, submetidas a uma vazão de 2 L.min⁻¹ (0,12 m³.h⁻¹.m⁻¹), 27% da *E.coli* foi removida após 5 m de escoamento superficial com a remoção seguindo uma função logarítmica em relação à distância. Quando foram aplicadas taxas mais altas, de 6 L.min⁻¹ (0,36 m³.h⁻¹.m⁻¹) e 20 L.min⁻¹ (1,2 m³.h⁻¹.m⁻¹), semelhantes às utilizadas neste trabalho, não foi observada nenhuma tendência de remoção da bactéria. Santos *et al.* (2006) estudaram a concentração de coliformes totais e termotolerantes em um Cambissolo Háplico Tb distrófico latossólico, fertirrigado com água residuária de origem doméstica, proveniente de lagoa facultativa e também observaram aumento significativo na contagem de coliformes totais e ausência de coliformes termotolerantes em todo o perfil do solo, quando a fertirrigação foi suspensa por mais de uma semana, e a presença de *E. coli* apenas até a profundidade de 0,20 m do solo, se não houve interrupção na aplicação.

A redução nos valores de coliformes totais e termotolerantes é o aspecto que a técnica de tratamento por escoamento superficial é menos eficiente (Coraucci Filho, 1991 e Fonseca *et al.*, 2001), já que remoções de 50 a 98% devem ser consideradas, segundo Coraucci Filho (1991), pequenos em vista da população de bactérias ainda que presente no efluente das faixas de tratamento. Acredita-se que as magnitudes de remoção de micro-organismos em sistemas de tratamento por escoamento superficial estejam relacionadas às características da água residuária, taxa de aplicação, comprimento da faixa ou tempo de detenção da água residuária no sistema e condições climáticas.

Observa-se, na Figura 1, que, houve tendência de aumento na contagem de coliformes totais até 8 m da faixa de tratamento e de decréscimo a partir daí, embora a magnitude das alterações observadas sejam muito pequenas, situando-se na faixa do erro experimental. A contagem de coliformes totais aos 8 m de comprimento da faixa chegou a ser superior à obtida no efluente do tanque séptico, aplicado no início da faixa. Já o número de *E. coli* (Figura 2) foi maior aos 6, 10 e 16 m ao longo da faixa de tratamento, passando a decair a partir daí. Ainda assim, a contagem de *E. coli* permaneceu superior à obtida no efluente do tanque séptico.

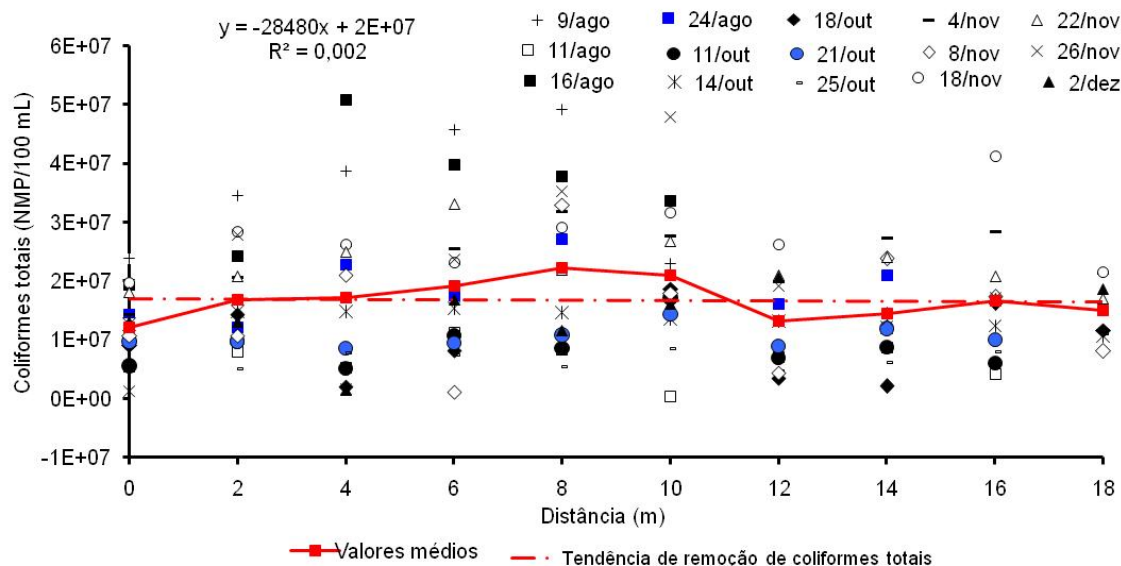


Figura 1 – Variação espacial do número de coliformes totais do efluente do tanque séptico ao longo da faixa de tratamento.

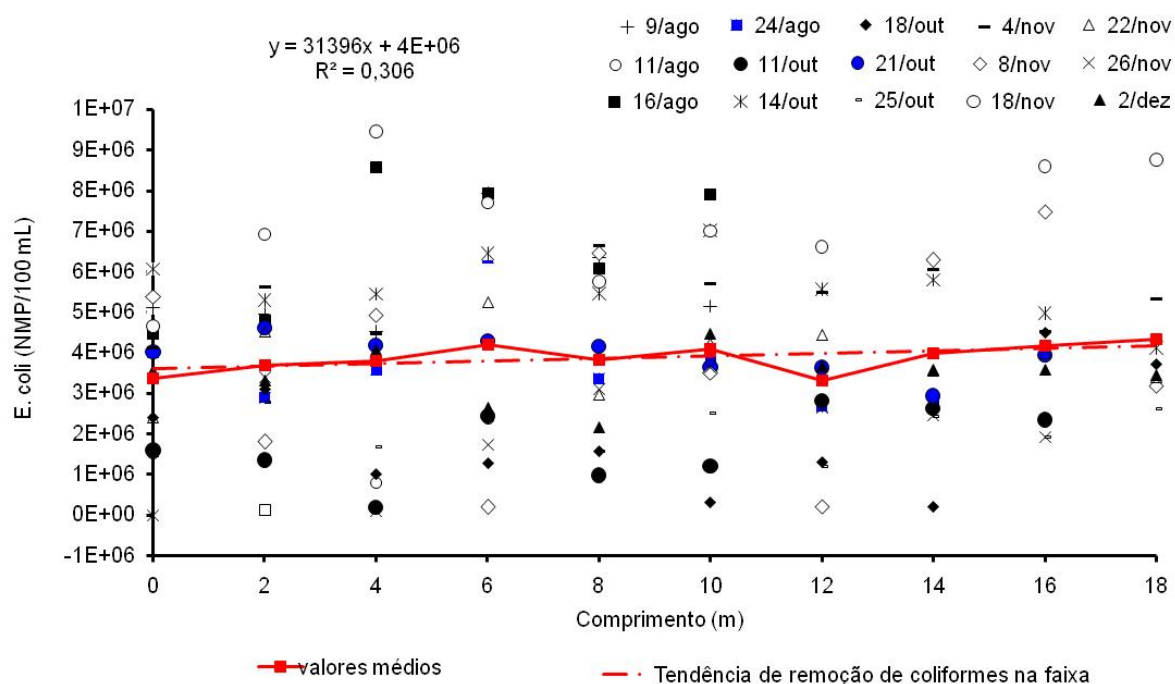


Figura 2 – Variação espacial do número de *E.coli* do efluente do tanque séptico, ao longo da faixa de tratamento

Segundo Fonseca (2007), a tendência de acréscimo e posterior decréscimo da *E.coli* ao longo da faixa de tratamento deve-se a três hipóteses:

1ª hipótese: pode estar ocorrendo o acúmulo da *E. coli* ao longo do comprimento da faixa, considerando-se a ocorrência de condições favoráveis do meio (baixa luminosidade e temperaturas amenas, devido à presença do capim, e grande disponibilidade de nutrientes e água) para a sua sobrevivência. De acordo com Tyrrel e Quinton (2003), a temperatura é um fator importante na determinação do tempo de sobrevivência dos patógenos existentes nos solos, o qual aumenta com a diminuição dela. Outros fatores que podem afetar a sobrevivência dos patógenos incluem a disponibilidade de nutrientes, pH básico, dessecação e competição. Fonseca *et al.* (2000) relataram que os solos úmidos e ligeiramente alcalinos, com pH entre 5,8 e 7,8, estão em condições mais adequadas à sobrevivência de *E. coli* e *Enterococcus faecalis*, podendo, ambos os organismos, persistir por várias semanas nessas condições. Os mesmos autores sugeriram que a pequena remoção de coliformes totais e *E. coli* no efluente do tratamento por escoamento superficial é devida, provavelmente, às condições favoráveis do meio à sobrevivência das bactérias, ou seja, pH alcalino, manutenção de elevada umidade no solo, freqüente adição de material orgânico e, principalmente, a baixa insolação na sua superfície, devido à presença de cobertura vegetal, tal como ocorrido neste experimento.

2ª hipótese: a *E. coli* contida no biofilme formado no início da faixa pode ser arrastada ao longo da faixa, junto ao material orgânico proveniente do filme biológico que se desprende da superfície solo-planta, quando ocorre a aplicação constante e em altas taxas da água residuária.

3ª hipótese: a *E. coli* pode estar se reproduzindo no solo. Tal crescimento tem sido documentado em outros estudos realizados em regiões tropicais e subtropicais do mundo (Carillo *et al.*, 1985; Wright, 1986; Santiago-Mercado e Hazen, 1987; Rivera, 1988; Wright, 1989; Roll e Fujioka, 1997; Hardina e Fujioka, 1991; citados por Solo-Gabriele *et al.*, 2000). Solo-Gabriele *et al.* (2000) citaram que a capacidade da *E. coli* de se multiplicar no solo é função do conteúdo de água neste, provavelmente devido à capacidade deste organismo de superar os predadores naturais do solo relativamente seco. Os autores ainda relataram a importância da umidade do solo na regularização da multiplicação da *E. coli* em áreas afetadas por marés, em razão do periódico umedecimento e ressecamento do solo.

Observa-se, na Figura 3, que a diferença na contagem de *E. coli* em relação às obtidas para coliformes totais foi menor que uma unidade logarítmica, diferindo dos resultados citados por Fonseca *et al.* (2000), que observaram diferença de, aproximadamente, uma unidade logarítmica na contagem desses grupos de bactérias.

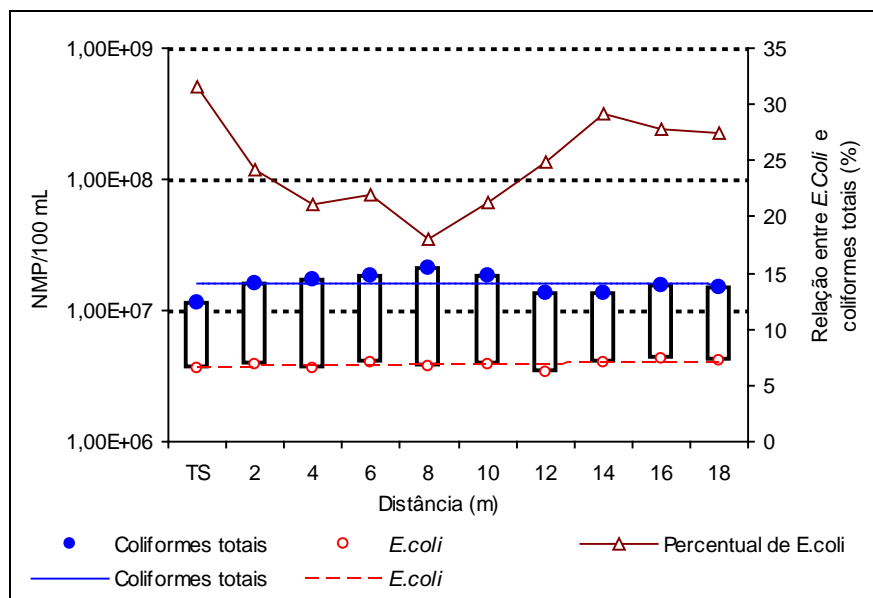


Figura 3 – Diferença do valor médio do número de coliformes totais em relação a *E. coli*, ao longo da faixa de tratamento.

A contagem de *E. coli* no efluente do tanque séptico tendeu a diminuir nos primeiros 8 m da faixa de tratamento, atingindo-se 18,0% da contagem de coliformes totais, entretanto, a partir deste ponto até o final da faixa (18 m), atingiu o valor de 27,5%. Considerando que nos primeiros 8 m da faixa o filme biológico é mais espesso, provavelmente pode ter ocorrido o crescimento de outros organismos, competidores da *E. coli*, causando, conseqüentemente, decréscimo na sua contagem. Já a partir dos 8 m, ocorreu o aumento da *E. coli* em relação ao coliformes totais, possivelmente pela redução na competição entre os microorganismos ou, hipoteticamente, por estarem se reproduzindo.

Como a população de *E. coli* aumentou ao longo da faixa, ela não é um bom indicador da eficiência de tratamento de águas residuárias domésticas por escoamento superficial. Byappanahalli e Fujioka (2004) verificaram que os solos do Hawaí possibilitaram o crescimento *in situ* de *E. coli* e *Enterococci*. Segundo os autores, esses micro-organismos tem capacidade genética para constituírem pequenas populações da microflora do solo. Embora as contagens desses organismos seja fração pequena da microbiota total do solo, sua presença nesse habitat pode ser muito significativa. Os mesmos autores concluíram que a *E. coli* e o *Enterococci* foram indicadores inadequados para medir o grau de contaminação fecal e a presença potencial de patógenos oriundos de esgoto doméstico em córregos havaianos. Dessa forma, recomenda-se o estudo do uso de novos indicadores de contaminação biológica, provavelmente um indicador de poluição ambiental do solo como o controle da biomassa microbiana, no monitoramento de sistemas de tratamento que envolvam solo.

Observa-se que houve pequena tendência de redução na contagem de coliformes totais (Figura 4) e *E. coli* (Figura 5) na água residuária de origem doméstica, ao longo da faixa de tratamento, em seis meses de operação. Acredita-se que após a formação do filme biológico ao longo de toda a faixa, poderá haver aumento na remoção de coliformes, devido à predação e competição de microorganismos presente no meio.

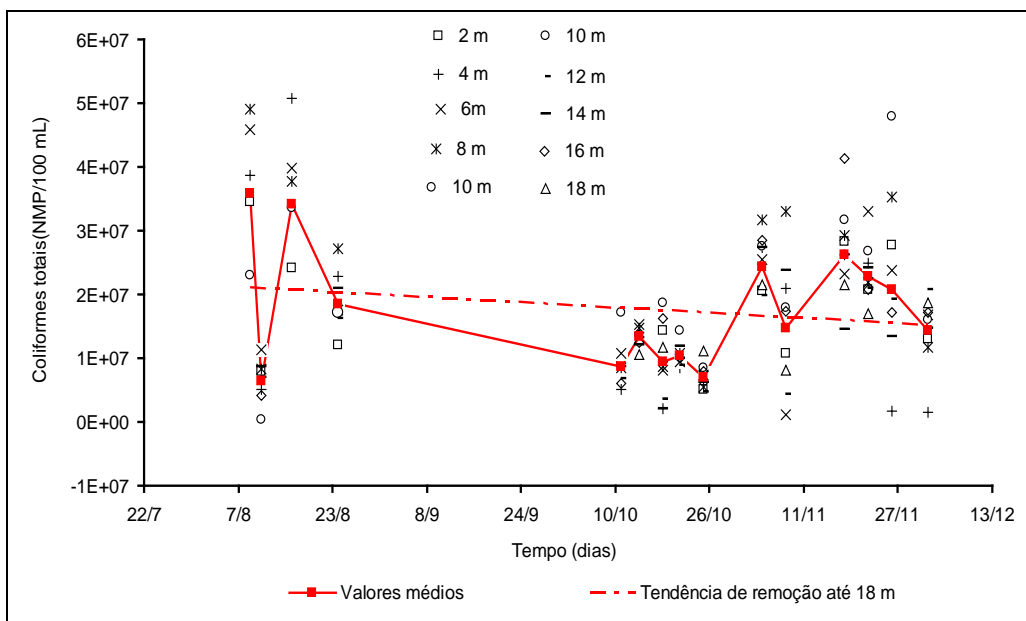


Figura 4 – Variação temporal do número de coliformes totais na faixa de tratamento de esgoto doméstico por escoamento superficial.

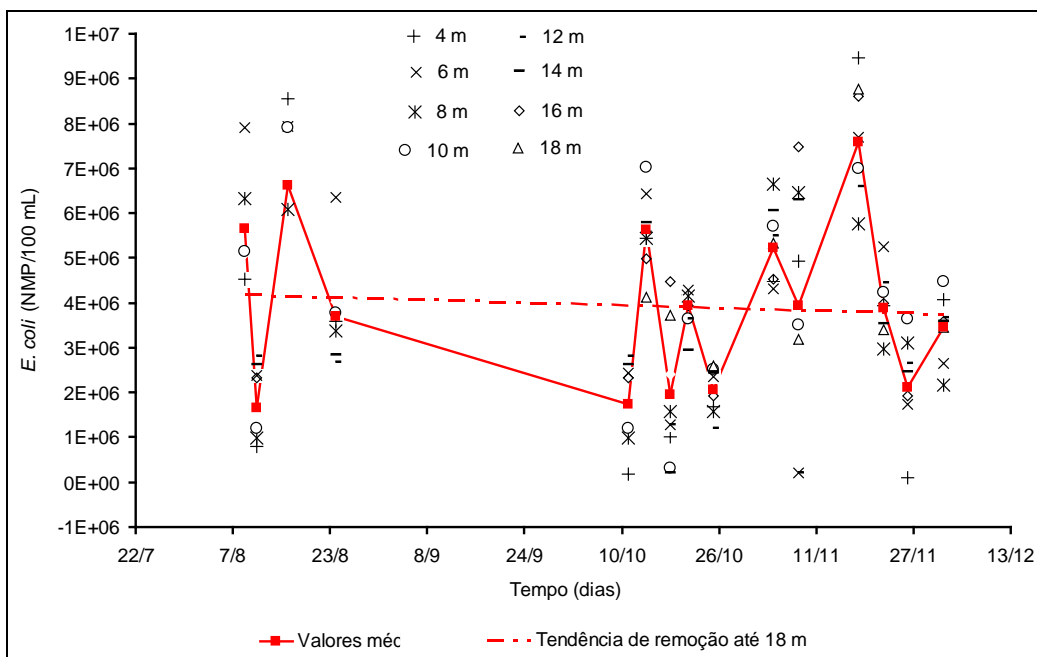


Figura 5 – Variação temporal do número de *E. coli* na faixa de tratamento de esgoto doméstico por escoamento superficial.

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O tratamento de esgoto doméstico pelo método do escoamento superficial não é eficiente na remoção de coliformes totais e *E. coli*;

Há evidências que a bactéria *E. coli* reproduz ao longo da faixa de tratamento.

Não se recomenda a *E. coli* como indicador para monitoramento de unidades de tratamento de esgoto por escoamento superficial.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal de Viçosa, pelo apoio para execução dos trabalhos e o financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21º. ed. Washington. D.C.: APHA s.n.p, 2005. 1600p.
2. ARAÚJO, G. C.; COTA, R. S.; ZERBINI, A. M.; CHERNICHARO, C. A. L.; Von SPERLING, M.; VIANA, E. M. Avaliação de um sistema de escoamento superficial de esgotos de efluentes de reatores UASB. In: Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. São Carlos, SP: **PROSAB**, 2000 p. 31-45. (Coletânea de trabalhos técnicos).
3. BYAPPANAHALLI, M.; FUJIOKA, R. Indigenous soil bacteria and low moisture may limit but allow faecal bacteria to multiply and become a minor population in tropical soils. **Water Science Technology**, v.50, n.1, p.27-32, 2004.
4. CORAUCCI FILHO, B. **Tratamento de esgotos domésticos no solo pelo método do escoamento superficial**. Campinas, SP: UNICAMP, 1991. 1368 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
5. FONSECA, S. P. P. Avaliação de uma estação de tratamento e esgoto doméstico por escoamento superficial. Viçosa, MG: UFV, 2007. 125f. **Tese** (Doutorado em Engenharia Agrícola – Recursos hídricos e ambientais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
6. FONSECA, S. P. P.; SOARES, A. A.; MATOS, A. T. Remoção de coliformes totais e fecais - *Escherichia coli* no tratamento de esgoto doméstico pelo método do escoamento superficial. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MICROBIOLOGIA APLICADA AO SANEAMENTO, 2000, Vitória. **Anais ...** Vitória: UFES, 2000. p. 189-199.
7. MUIRHEAD, R. W.; COLLINS, R. P.; BREMER, P. J. Interação da *Escherichia coli* e as partículas do solo no escoamento. **Applied and Environmental Microbiology**, v.72, n.5, p. 3406-3411, 2006.
8. SANTOS, S. S.; SOARES, A. A.; MATOS, A. T.; MANTOVANI, E. C.; BATISTA, R. O.; MELO, J. C. Contaminação microbiológica do solo e dos frutos de cafeeiros fertirrigados com esgoto sanitário. **Engenharia na Agricultura**, v.14, n.1, p.16-22, 2006.
9. SISTEMA DE ANÁLISE ESTATÍSTICA E GENÉTICA (SAEG). Viçosa, MG: UFV, Central de Processamento de Dados, 1999.
10. SOLO-GABRIELE, H. M.; WOLFERT, M. A.; DESMARAIS, T. R.; PALMER, C.J. Sources of *Escherichia coli* in a coastal subtropical environment. **Applied and Environmental Microbiology**, v.66, n.1, p.230-237, 2000.
11. TYRREL, S. F.; QUINTON, J. N. Overland flow transport of pathogens from agricultural land receiving faecal wastes. **Journal of Applied Microbiology**, v.94, n.07, p.875-935, 2003.
12. U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. EPA/625/R-00/008. **Onsite waste treatment systems manual**. Washington, D.C.: Office of Water; Office of Research and Development, February, 2002.
13. WEN, C. G.; CHEN, T. H.; HSU, F. H.; LU, C. H.; LIN, J. B.; CHANG, C. H.; CHANG, S. P.; LEE, C. S. A High loading overland flow system: impacts on soil characteristics, grass constituents, yields and nutrient removal. **Chemosphere**, v.67, n.8, p. 1588-1600, 2007.