

ÍNDICE DE QUALIDADE DE EFLUENTE DE FOSSAS SÉPTICAS TRATADO POR
ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM RAMPAS CULTIVADAS COM FORRAGEIRAS*Effluent quality index from septic tanks treated by Overland flow in ramps cultivated with forages*Ana Paula Almeida Bertossi^{1*}, Larissa Cabral Milen², Giovanni de Oliveira Garcia³, Edvaldo Fialho dos Reis⁴¹Doutora em Produção Vegetal; Universidade Federal do Espírito Santo: anapaulabertossi@yahoo.com.br²Mestre em Produção Vegetal; Universidade Federal do Espírito Santo: larissamilen@hotmail.com³Doutor em Engenharia Agrícola; Professor em Universidade Federal do Espírito Santo: giovanni.garcia@ufes.br⁴Doutor em Engenharia Agrícola; Professor em Universidade Federal do Espírito Santo: edreis@cca.ufes.br

*Autor para correspondência

Artigo enviado em 10/05/2017, aceito em 24/04/2018 e publicado em 17/07/2018.

Resumo – Com o objetivo de avaliar a qualidade do efluente tratado pela técnica do escoamento superficial em rampas cultivadas com forrageiras, por meio da proposta de um índice de qualidade adaptado para fertirrigação e agrupamento quanto à similaridade das características químicas utilizando Estatística Multivariada foi realizado um experimento montado num delineamento inteiramente casualizado e no esquema de parcela subdividida 3x3 com 5 repetições. As parcelas foram compostas por forrageiras em três níveis: Azevém, Capim Marandu e um sistema misto composto pelas duas espécies; e as subparcelas compostas por três taxas de efluente: 2,25; 4,5 e 6,75 L h⁻¹. O índice de qualidade foi desenvolvido utilizando a análise de componentes principais, que proporcionou a redução das 25 características analisadas nos efluentes em três componentes que explicaram 94,95% da variância total. O índice de qualidade para o efluente tratado apresentou moderada restrição ao uso na fertirrigação e o efluente de fossas sépticas apresentou restrição severa, já a análise de agrupamento formou dois grupos distintos de qualidade, que diferiram em efluente de fossa séptica e efluente tratado.

Palavras-chave – estatística multivariada, esgoto doméstico, tratamento.

Abstract – In order to evaluate the quality of the effluent treated by the overland flow system in ramps cultivated with forages, by means of the proposal of a quality index adapted for fertirrigation and grouping as to the similarity of the chemical characteristics using Multivariate Statistics an experiment was carried out mounted on a Completely randomized design and in the subdivided 3x3 plot scheme with 5 replicates. The plots were composed of forages at three levels: Azevém, Capim Marandu and a mixed system composed of the two species; and the sub-plots composed of three effluent rates: 2.25; 4.5 and 6.75 L h⁻¹. The quality index was developed using the principal components analysis, which provided a reduction of the 25 characteristics analyzed in the effluents in three components that explained 94.95% of the total variance. The quality index for the treated effluent presented a moderate restriction to the use in fertirrigation and the effluent of septic tanks presented severe restriction, and the clustering analysis formed two distinct quality groups, which differed in effluent from septic tank and treated effluent.

Keywords – multivariate statistics, domestic sewage, treatment.

INTRODUÇÃO

A água é um bem indispensável à vida, entretanto os dejetos gerados após o seu uso podem causar sérios prejuízos ao meio ambiente e a saúde humana quando não tratados ou dispostos em locais inadequados. Diante disso,

o tratamento adequado e o reuso desse efluente na agricultura surgem como uma alternativa viável de reaproveitamento de água, nutrientes e matéria orgânica.

O tratamento de efluentes por disposição no solo tem-se apresentado como importante alternativa de tratamento e aproveitamento de nutrientes desses efluentes (NAZÁRIO et al., 2014). Dentre os métodos utilizados,

destaca-se o escoamento superficial, no qual o efluente é aplicado na parte superior de uma rampa vegetada, ficando sujeito ao escoamento superficial, condição que possibilita sua depuração ao longo da rampa de tratamento. À medida que o efluente escoar, os sólidos em suspensão são filtrados, os nutrientes absorvidos e a matéria orgânica é oxidada pela ação das bactérias (MILEN, 2014).

Assim, o efluente gerado na parte inferior da rampa de tratamento, deverá apresentar características melhores que aquele aplicado no início, que dependendo de suas características químicas e físicas poderá ser utilizado para fertirrigação.

No entanto, a utilização dessas águas na agricultura sem uma análise prévia de sua qualidade poderá causar impactos negativos ao meio ambiente, ao solo, a produtividade das culturas e a saúde de produtores e consumidores, devido a quantidade de sais, nutrientes e patógenos presentes (HURLEY et al., 2012).

Dessa forma, torna-se necessário o estabelecimento dos requisitos mínimos de qualidade dessas águas e para tal podem ser utilizados os índices de qualidade, que resumem várias informações em único valor numérico, facilitando a tomada de decisão quanto ao uso dessas águas e controle de possíveis problemas causados ao solo e as plantas irrigadas. (WANDA, 2012; ARDILA; SALDARRIAGA, 2013).

Nesse sentido, objetivou-se com este trabalho avaliar a qualidade do efluente tratado pela técnica do escoamento superficial em rampas cultivadas com forrageiras, por meio da proposta de um índice de qualidade adaptado para fertirrigação e agrupamento quanto à similaridade das características químicas utilizando Estatística Multivariada.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo em Alegre/ES, no período de março a agosto de 2014. O local possui coordenadas geográficas 20°45'2,3" de latitude Sul e 41°29'17,7" de longitude Oeste, e altitude de 119 m. O clima típico da região é quente e úmido no verão e seco no inverno, a temperatura média e a precipitação durante o período de experimento foram, respectivamente, 22,3 °C e 435,6 mm (Figura 1).

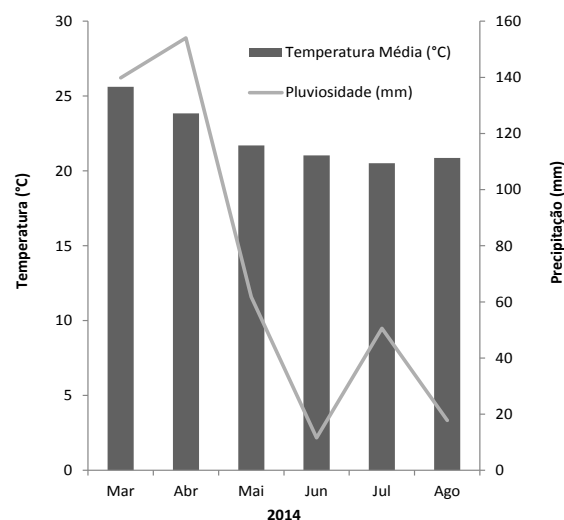


Figura 1. Valores de temperatura média e precipitação durante o período experimental

O experimento foi montado no esquema de parcela subdividida 3x3, sendo nas parcelas forrageiras em três níveis: Azevém (*Lolium multiflorum*), Capim Marandu (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) e um sistema misto composto pelas duas espécies; e nas subparcelas taxas de aplicação em três níveis: 2,25; 4,5 e 6,75 L h⁻¹ de efluente por rampa de tratamento, em um delineamento inteiramente casualizado com cinco repetições.

O experimento foi montado em campo, a céu aberto, ou seja, sem cobertura. Para a construção das rampas de tratamento foram utilizadas calhas de fibrocimento com dimensões de 3,00 x 0,90 x 0,25 metros (comprimento, largura e profundidade), dispostas em uma declividade de 5%. Essas foram preenchidas com uma camada de aproximadamente 5,0 cm de brita no fundo e solo de textura média coletado no perfil natural de um Latossolo Vermelho-Amarelo. Após coletado, o solo foi seco ao ar, peneirado em malha de 4 mm e depositado em igual massa em cada unidade experimental. Uma amostra do solo foi coletada e encaminhada ao laboratório para determinação dos atributos físicos e químicos (Tabela 1).

O plantio das forrageiras foi feito diretamente nas unidades experimentais que receberam adubação mineral conforme exigência nutricional e disponibilidade de nutrientes no solo. As sementes foram semeadas de modo a cobrir toda a superfície das rampas.

A taxa de semeadura utilizada foi de 37 Kg ha⁻¹ para o azevém, 55 Kg ha⁻¹ para o marandu e 18,5 Kg ha⁻¹ de azevém + 27,5 Kg ha⁻¹ de marandu no cultivo misto. Essas plantas foram irrigadas até o seu completo estabelecimento, que ocorreu 40 dias após a semeadura para todas as espécies de forrageiras.

Tabela 1. Atributos físicos e químicos do solo utilizado no preenchimento das rampas

Atributo	Valores
pH	5,4
Cálcio (cmol _c dm ⁻³) ¹	1,3
Magnésio (cmol _c dm ⁻³) ¹	0,5
Fósforo (mg dm ⁻³) ²	3,3
Potássio (mg dm ⁻³) ³	101
H + Al (cmol _c dm ⁻³) ⁴	2,15
Alumínio (cmol _c dm ⁻³) ⁵	0,0
Matéria Orgânica (dag kg ⁻¹)	1,86
Sódio (mg dm ⁻³) ³	0,0
Índice de saturação por sódio (%)	0,0
Soma de bases (cmol _c dm ⁻³)	2,06
Capacidade de Troca de Cátions Efetiva (cmol _c dm ⁻³)	2,06
Capacidade de Troca de Cátions Total (cmol _c dm ⁻³)	4,21
Saturação por Bases (%)	38,25
Saturação por Alumínio (%)	0,0
Ferro (mg dm ⁻³) ⁶	127,4
Cobre (mg dm ⁻³) ⁶	2,0
Zinco (mg dm ⁻³) ⁶	5,5
Manganês (mg dm ⁻³) ⁶	77,2
Boro (mg dm ⁻³) ⁷	0,3
Areia (%)	64,015
Silte (%)	5,59
Argila (%)	35,22

1. Extraído com cloreto de potássio 1 mol L⁻¹ e determinado por titulometria; 2. Extraído por Mehlich-1 e determinado por calorimetria; 3. Extraído por Mehlich-1 e determinado por fotometria de chama; 4. Extraído com acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹, pH 7,0 e determinado por titulação; 5. Extraído com cloreto de potássio 1 mol L⁻¹ e determinado por espectrofotômetro de absorção atômica; 6. Determinado por espectrofotômetro de absorção atômica; 7. Determinado por via seca e leitura em calorimetria.

Após esse período foi efetuado um corte de uniformização das plantas a cinco centímetros de altura do solo e iniciada a aplicação do efluente de fossas sépticas de forma a satisfazer as quantidades determinadas para cada taxa de aplicação.

O efluente utilizado no experimento foi proveniente de fossas sépticas de comunidades rurais dos municípios de Jerônimo Monteiro e Cachoeiro de Itapemirim, Espírito Santo. O efluente foi captado nas fossas e transportado em veículos com reservatórios adaptados até o local do experimento, onde foi armazenado em reservatórios com capacidade de 5.000 litros, e diariamente conduzido até um sistema de tratamento preliminar composto de filtros de tela com malha de dois milímetros e armazenado em um tanque de 500 litros para decantação, para posterior aplicação nas unidades experimentais. Semanalmente, foram coletadas amostras desse efluente para caracterização química conforme metodologia preconizada por Silva e Oliveira (2001). Os resultados médios para cada taxa encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Atributos químicos do efluente de fossas sépticas utilizado no experimento

Atributos químicos	Taxas (L h ⁻¹)		
	2,25	4,5	6,75
pH	7,5	7,9	8,0
Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)	1,43	0,89	0,67
Potássio (mg L ⁻¹)	46,00	30,00	10,00
Sódio (meq L ⁻¹)	3,56	1,96	1,00
Ferro (mg L ⁻¹)	3,84	0,04	0,29
Fosfato (mg L ⁻¹)	1,87	1,73	0,85
Nitrato (mg L ⁻¹)	15,40	10,30	5,20
Sulfato (meq L ⁻¹)	0,49	0,44	0,67
Boro (mg L ⁻¹)	0,16	0,03	0,06
Cálcio (meq L ⁻¹)	4,39	2,85	2,61
Magnésio (meq L ⁻¹)	1,46	0,61	0,96
Manganês (mg L ⁻¹)	0,04	0,03	0,02
Zinco (mg L ⁻¹)	0,04	0,01	0,01
Cobre (mg L ⁻¹)	0,02	0,01	0,01
RAS (cmol _c L ⁻¹)	2,08	1,49	0,75

O efluente de fossas sépticas foi aplicado por gravidade na parte superior das parcelas experimentais através de tubulações perfuradas, que continham cada uma, um registro para regulação da vazão aplicada. A aplicação do efluente se deu cinco dias por semana (de segunda a sexta-feira) por 6 horas/dia.

Diariamente foram coletadas amostras do efluente tratado após o escoamento nas rampas e do efluente de fossas sépticas aplicado no sistema. Nessas amostras foram determinados os valores de pH, condutividade elétrica (CE), turbidez (Tu) e oxigênio dissolvido (OD), sendo o restante da amostra acondicionado em geladeira.

Ao final da aplicação de cada taxa essas amostras foram misturadas formando uma amostra composta e representativa de cada taxa para determinação da Razão de Adsorção de Sódio (RAS), Ferro reduzido (Fe²⁺), Ferro oxidado (Fe³⁺), Ferro total, Na, Cl, Carbonato (CO₃²⁻), Dureza (CaCO₃), Bicarbonato (HCO₃²⁻), Sulfato (SO₄²⁻), Fosfato (PO₄³⁻), K, Ca, Mg, B, Mn, Zn, Cu, Al, Nitrato (NO₃) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).

Devido ao grande número de variáveis de qualidade medidos nos efluentes, foi aplicada uma técnica da estatística multivariada, a análise de componentes principais (ACP), para avaliar a importância de cada variável e promover a eliminação daqueles que contribuíram pouco em termos de variação da qualidade dos efluentes gerados. Para eliminar o efeito de escala e unidades foi feita a padronização dos dados, na qual os valores das variáveis são subtraídos de sua média e divididos pelo seu desvio padrão.

Foram consideradas as componentes principais que apresentaram autovalor superior a um, dentro destas foram escolhidas as variáveis que apresentaram coeficiente de correlação maior ou igual a 0,7 com as componentes selecionadas para comporem o índice de qualidade (IQ) conforme realizado por Bertossi et al. (2013a).

O IQ foi calculado por um valor numérico associado a qualidade individual de cada variável (q_i) elevada aos respectivos pesos destas variáveis na avaliação da

variabilidade total da qualidade do efluente (w_i), como apresentado na Eq. 1.

$$IQ = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (1)$$

sendo, IQ = Índice de Qualidade do efluente (número entre 0 e 100); q_i = valor numérico associado a qualidade da i -ésima variável (número entre 0 e 100); w_i = peso correspondente a i -ésima variável (número entre 0 e 1).

Os valores de q_i foram obtidos em função da concentração das variáveis medidas nos efluentes, na qual

Tabela 3. Limites das variáveis utilizadas no IQ para cálculo do q_i

Variáveis	q_i				
	80-100	60-80	40-60	20-40	0-20
CE (dS m ⁻¹)	0-0,7	0,7-1,5	1,5-3	3-5	>5
T (UNT)	0-30	30-50	50-70	70-100	>100
pH	7-7,5	6,7-7 ou 7,5-8	6,5-6,7 ou 8-8,5	6-6,5 ou 8,5-9	<6 ou >9
RAS	0-3	3-5	5-7	7-10	>10
Fe total (mg L ⁻¹)	0-0,2	0,2-0,5	0,5-1	1-1,5	>1,5
Na (meq L ⁻¹)	0-0,7	0,7-1,5	1,5-3	3-5	>5
Cl (meq L ⁻¹)	0-3	3-5	5-7	7-10	>10
CaCO ₃ (mg L ⁻¹)	0-50	50-150	150-200	200-300	>300
HCO ₃ ²⁻ (mg L ⁻¹)	0-3	3-5	5-7	7-10	>10
SO ₄ ²⁻ (meq L ⁻¹)	0-6	6-10	10-14	14-20	>20
PO ₄ ³⁻ (mg L ⁻¹)	0-1	1-1,5	1,5-2	2-3	>3
K (mg L ⁻¹)	0-10	10-15	15-20	20-25	>25
Ca (meq L ⁻¹)	0-5	5-10	10-15	15-20	>20
Mg (meq L ⁻¹)	0-2	2-3	3-5	5-7	>7
B (mg L ⁻¹)	0-0,7	0,7-1,5	1,5-3	3-5	>5
Mn (mg L ⁻¹)	0-0,2	0,2-0,5	0,5-0,8	0,8-1	>1

Para a obtenção do q_i correspondente às concentrações das variáveis de qualidade medidas nos efluentes, utilizou-se a Eq. 2, na qual se considera o valor medido e os limites de q_i das variáveis expressos na Tabela 3.

$$q_i = q_{i \max} - \frac{(X_{ij} - X_{\inf}) * q_{\text{amp}}}{X_{\text{amp}}} \quad (2)$$

sendo, $q_{i \max}$ = valor máximo de q_i para a classe; X_{ij} = valor observado para a célula ij ; X_{\inf} = limite inferior da classe a que pertence X_{ij} ; q_{amp} = amplitude de classe; X_{amp} = amplitude da classe a que pertence X_{ij} .

Para o cálculo de X_{amp} da última classe para cada variável, foi considerado como limite superior o maior valor encontrado nas análises físico-químicas das amostras de efluente para cada variável conforme realizado por Andrade et al. (2005).

Para atribuir os pesos (w_i) a cada variável de qualidade de efluente utilizado no IQ, foram tomados como base os resultados obtidos na análise das componentes principais. Neste procedimento, foram utilizados os autovalores das componentes e a contribuição de cada

foram transformados em valores numéricos que representassem sua qualidade.

Os limites para o enquadramento dos valores de cada variável no seu referido q_i foram definidos considerando o risco de salinidade, redução da infiltração de água no solo e problemas de toxicidade às plantas, seguindo os padrões de qualidade de água para irrigação proposto por Ayers e Westcot (1994) e Bernardo et al. (2006). Na tabela 3 estão apresentados os limites das variáveis que foram selecionados na análise de componentes principais para comporem o IQ.

variável pelas respectivas componentes, extraídas da ACP, como realizado por Andrade et al. (2005).

Inicialmente, calculou-se o somatório dos autovalores de todas as componentes multiplicados pela contribuição de cada variável. Em seguida foram ponderados os valores de w_i para cada variável em função de sua contribuição por cada componente, de forma que a soma de todos os w_i fosse igual a um, conforme demonstrado na Eq. 3.

$$w_i = \frac{F_1 P_{1i} + F_2 P_{2i}}{(\sum_{j=1}^n F_1 P_{1j}) + (\sum_{j=1}^n F_2 P_{2j})} \quad (3)$$

sendo, F_1 e F_2 = autovalores das componentes principais; P = contribuição das variáveis pela componente principal; i e j = índices para as variáveis; n = número de variáveis envolvidas na ACP.

De posse dos valores de q_i e w_i , determinou-se a qualidade do efluente bruto e tratado, segundo as variáveis avaliadas, para fertirrigação, que, indicada pelo IQ em uma

escala de 0 a 100, foi classificada segundo Meireles et al. (2011).

As características mais importantes para variação da qualidade dos efluentes selecionadas na ACP foram utilizadas para o estudo da semelhança entre o efluente bruto aplicado no sistema e o efluente tratado, que foi realizado através da análise de agrupamento hierárquico de cluster (AAHC).

As amostras de efluente foram agrupadas com base na similaridade das características analisadas, definida pela variação entre os coeficientes de agrupamento de dois grupos consecutivos, conforme descrito por Hair et al. (2005). Como as variáveis utilizadas nesse estudo são reais, adotou-se a combinação da distância euclidiana ao quadrado para a formação da matriz de similaridade e o algoritmo do método de ligação Ward, conforme realizado por vários autores, como Palácio et al. (2011) e Bertossi et al. (2013b).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelo teste da análise da componente principal (ACP), um modelo com três componentes foi adequado para representar as variáveis químicas analisadas nos efluentes tratado e de fossas sépticas e explicar aproximadamente 94,95% da variância total (Tabela 4).

Tabela 4. Variância das componentes principais para as amostras de efluente estudadas

Componentes	Autovalor (variância)	Variância (%)	Variância acumulada (%)
1	9,687	60,55	60,55
2	4,356	27,23	87,78
3	1,146	7,17	94,95

Pela análise da Tabela 4, verifica-se que a primeira, a segunda e a terceira componente principal explicaram, respectivamente, 60,55, 27,23 e 7,17% da variância total dos dados, concentrando em três dimensões 94,95% das informações antes diluídas em 25 dimensões (número de variáveis analisadas). Resultados semelhantes foram encontrados por Andrade et al. (2007b) ao avaliarem a qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do Alto Acaraú, no Ceará.

Já Moura et al. (2010), ao aplicarem a mesma técnica a fim de avaliarem a qualidade das águas da bacia do Gama no Distrito Federal, selecionaram oito componentes principais que juntas explicaram 70,88% dos dados, resultado inferior ao obtido no presente estudo, no qual com apenas três componentes pode-se explicar uma maior variação dos dados. Porém Zamberlam et al. (2013), com o objetivo de calcular índices de qualidade da água para irrigação na região central do Rio Grande do Sul, conseguiram resultados ainda melhores, pois concentraram

em apenas duas dimensões 92,14% da variância total dos dados.

Na primeira componente foram selecionadas as variáveis condutividade elétrica, turbidez, ferro total, bicarbonato, fosfato, potássio, boro e manganês, na segunda componente as variáveis foram pH, RAS, sódio, dureza, cálcio e magnésio, já na terceira componente apenas o cloro foi selecionado. Meireles et al. (2011), ao utilizarem a técnica das componentes principais para selecionarem as características mais importantes das águas superficiais do rio Acaraú no Ceará, Brasil, para uso na irrigação, obtiveram resultados semelhantes com o obtido neste trabalho. Os autores supracitados selecionaram as variáveis: CE, Mg, Na, K, Cl, HCO₃, RAS, PO₄, NH₄, NO₃ e SO₄.

Portanto a qualidade da água/efluente para irrigação/fertirrigação está relacionada aos sais solúveis presentes, demonstrando serem essas as características mais importantes para avaliação da qualidade da água/efluente para tal uso. Tais águas estão propensas a causar problemas de sodicidade e toxicidade se a relação solo-planta-água não for bem manejada (MEIRELES et al., 2011).

Segundo Ardila e Saldarriaga (2013) as principais características que devem ser avaliadas nos efluentes utilizados para fertirrigação são: Al, Cd, Cr, DBO, Fe, pH, Ca, Na, Cl, Mg, RAS, bicarbonato, carbonato, sulfato e condutividade elétrica. O que corrobora os resultados encontrados no presente estudo, pois muitas das características selecionadas para comporem o índice de qualidade foram citadas por esses autores.

A análise de componentes principais promoveu boa redução no número de variáveis, na qual foram selecionadas 15 das 25 variáveis analisadas nos efluentes para comporem o índice de qualidade (60%). Da mesma forma, Bertossi et al. (2013a) obtiveram resultados satisfatórios ao aplicarem a técnica das componentes principais para selecionarem as variáveis mais representativas da qualidade da água de microbacias com diferentes usos do solo no sul do Espírito Santo, na qual foram selecionadas 7 das 13 variáveis analisadas, ou seja, foram selecionadas 53,85% das variáveis para comporem o IQA, valor semelhante ao encontrado no presente estudo.

Já Andrade et al. (2007a), com o objetivo de identificarem a origem dos fatores que determinavam a qualidade das águas na parte baixa da Bacia do Acaraú (Ceará, Brasil), não obtiveram resultados satisfatórios ao aplicar a análise de componentes principais para reduzir o número de variáveis, uma vez que o melhor ajuste do modelo ocorreu com a inclusão de 18 das 25 variáveis analisadas, ou seja 72% das variáveis.

A concentração das variáveis selecionadas na ACP para comporem o IQ foi transformada em valores numéricos que representassem sua qualidade (q_i). Os valores de q_i para cada variável química, variando de zero a 100, estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Valores de q_i para o efluente tratado nas rampas utilizando diferentes forrageiras e taxas de aplicação e para o efluente de fossas sépticas (EFS)

Forrageiras	Azevém			Misto			Capim Marandu			EFS
	Taxa (L h ⁻¹)	2,25	4,5	6,75	2,25	4,5	6,75	2,25	4,5	
Condutividade elétrica	77,85	82,91	78,50	77,25	83,89	80,46	79,40	84,06	78,70	61,75
Turbidez	72,05	81,92	89,06	76,25	81,24	93,19	77,48	84,35	91,78	1,43
pH	97,60	97,60	68,00	96,80	72,00	54,00	97,60	99,20	60,00	66,67
RAS	91,41	94,25	96,05	91,52	94,29	96,63	91,47	94,72	96,56	93,40
Fe total	77,87	89,20	94,00	86,80	91,20	95,20	76,67	93,60	94,20	1,28
Na	53,87	67,90	71,90	55,15	66,90	75,50	55,36	68,65	74,50	53,87
Cl	97,72	98,39	97,45	97,87	98,47	97,48	98,09	98,56	97,40	96,47
Dureza	56,00	45,15	20,13	59,74	38,76	20,06	53,27	37,26	15,02	1,57
Bicarbonato	94,23	96,05	96,71	94,92	97,01	97,61	94,73	97,04	97,32	85,53
Sulfato	93,28	94,96	95,12	93,32	94,80	95,68	93,64	95,76	95,16	45,20
Fosfato	32,00	82,80	86,40	36,00	77,60	86,40	52,00	86,80	87,20	3,33
K	84,26	87,04	80,20	85,53	85,73	79,50	85,63	85,02	77,70	74,44
Ca	93,26	94,94	89,58	93,14	94,40	91,26	93,94	94,66	90,72	85,40
Mg	97,03	98,57	99,14	96,97	98,97	99,03	97,49	99,20	98,74	95,43
B	96,80	99,00	98,00	97,80	97,80	97,00	97,20	97,80	97,60	63,33
Mn	77,85	82,91	78,50	77,25	83,89	80,46	79,40	84,06	78,70	61,75

Para a maioria do efluente tratado, os valores de q_i foram menores para o sódio e dureza, o que sugere que essas foram as variáveis que mais diferenciaram uma amostra da outra, afetando de forma significativa sua qualidade, de forma a reduzi-la.

O sódio, quando presente em altas concentrações na água de irrigação, pode afetar os atributos físicos do solo, causando dispersão da argila, entupimento dos poros e redução da permeabilidade (MUYEN et al. 2011). Águas com alta dureza podem favorecer a formação de incrustações nas paredes das tubulações e emissores restringindo a passagem da água (BERNARDO et al. 2006).

Já o EFS, além dessas características, apresentou baixo q_i para a turbidez, fosfato e ferro total, demonstrando serem essas as principais características que diferenciaram os efluentes tratados do efluente de fossas sépticas. Taebi e Droste (2008), ao utilizarem a técnica do escoamento superficial para tratamento de efluentes, observaram ótima remoção de turbidez, podendo atingir valores em torno de 70%.

A depuração do efluente no sistema de tratamento por escoamento superficial dá-se à medida que este escoar na área recoberta pela vegetação e baseia-se na capacidade depuradora do sistema solo-planta, que utiliza os mecanismos físicos, químicos e biológicos de remoção dos poluentes contidos nas águas residuárias (TONETTI et al., 2012).

De acordo com Surampalli et al. (2007) essa técnica também apresenta alta eficiência na remoção de sólidos em suspensão, podendo variar de 51 a 92%, sendo essa a principal característica responsável pela alta turbidez do efluente, que se utilizado para irrigação pode causar entupimento das tubulações, reduzir a área de condução de água e queda na eficiência do sistema (AYERS; WESTCOT, 1994).

Quanto ao fósforo, sistemas de tratamento por escoamento superficial podem atingir cerca de 80% de remoção deste nutriente (SURAMPALLI et al., 2007). Segundo Tonetti et al. (2012), o principal mecanismo de remoção de fósforo envolve a adsorção, precipitação química, imobilização na forma de compostos orgânicos e absorção pela vegetação.

Um dos compostos com o qual o fósforo pode formar complexos insolúveis é o ferro, que também apresentou valores bem inferiores nos efluentes tratados, o que permite inferir que um dos processos de remoção do fósforo foi a precipitação química para formação de complexo insolúvel com o ferro.

A utilização de águas para irrigação com concentrações de fósforo e ferro acima dos limites aceitáveis durante um longo período podem ocasionar distúrbios nutricionais na cultura irrigada (HANJRA et al., 2012). Além disso, altas concentrações de ferro favorecem o desenvolvimento de ferrobactérias, que podem causar maus odores e coloração à água e obstrução das canalizações, reduzindo a uniformidade de aplicação de água pelo sistema de irrigação (SILVA et al., 2011).

Os valores do peso w_i não apresentaram grande variação entre as variáveis, apenas o pH apresentou valor abaixo das demais, demonstrando ser essa a característica que menos influenciou na qualidade dos efluentes estudados. Já as outras características, por apresentarem os maiores valores de w_i , pode-se inferir que o índice apresentou alta sensibilidade à variabilidade dessas características (Tabela 6).

Andrade et al. (2005), com o objetivo de elaborar um índice de qualidade para as águas do vale Trussu, no Ceará, observaram maiores pesos (w_i) para as variáveis relacionadas à concentração salina da água e menor peso para o pH, apresentando o índice menor sensibilidade a variação dessa característica, assim como observado no presente estudo.

Tabela 6. Pesos (w_i) para as variáveis selecionadas para comporem o Índice de qualidade

Variáveis	CE	Tu	pH	RAS	Fe total	Na	Cl	Dureza
w_i	0,069	0,068	0,056	0,067	0,068	0,066	0,066	0,067
Variáveis	Bicarbonato	Fosfato	K	Ca	Mg	B	Mn	
w_i	0,070	0,069	0,065	0,068	0,066	0,066	0,069	

De posse dos valores de q_i e w_i foi possível calcular o IQ para o efluente tratado e classificá-lo de acordo com os limites para uso na irrigação apresentados por Meireles et al. (2011). De acordo com a Tabela 7, pode-se constatar que os valores de IQ para as amostras do efluente tratado variaram de 61,96 a 67,95 (classe de restrição moderada). Já o efluente de fossas sépticas apresentou valor de IQ de 21,05 (classe de restrição severa).

Os efluentes com moderada restrição devem ser utilizados para a irrigação de plantas com moderada tolerância aos sais e em solos com moderada a alta permeabilidade, sendo sugerida lixiviação moderada de sais. Já o efluente de fossas sépticas que apresentou restrição severa deve ser evitado para uso na irrigação em condições normais, sem adoção de práticas de controle dos problemas relacionados à salinidade e sodicidade.

Tabela 7. Índice de Qualidade para o efluente tratado nas rampas utilizando diferentes forrageiras e taxas de aplicação e para o efluente de fossas sépticas (EFS)

Forrageiras	Taxa ($L h^{-1}$)	IQA	Classificação
Azevém	2,25	67,95	Moderada
	4,5	66,42	Moderada
	6,75	63,13	Moderada
Misto	2,25	62,7	Moderada
	4,5	66,2	Moderada
	6,75	62,16	Moderada
Capim Marandu	2,25	61,96	Moderada
	4,5	65,43	Moderada
	6,75	63,76	Moderada
EFS		21,05	Severa

Pela análise da Tabela 7, observa-se que todos os tratamentos apresentaram valores próximos de IQ sendo classificados com restrição moderada. Tal fato pode ser explicado pela composição química do efluente aplicado no sistema de tratamento e pela distribuição da chuva durante o período experimental.

De acordo com a Tabela 2, o efluente aplicado nas primeiras taxas apresentou uma qualidade inferior, principalmente para as variáveis condutividade elétrica, potássio, sódio, ferro e RAS, que apresentaram altos valores.

Portanto, era de se esperar que as amostras de efluente tratado nessas condições apresentassem qualidade inferior que as demais. Porém, de acordo com Figura 1 observa-se que as maiores precipitações ocorreram no início do experimento, período que coincide com a aplicação das primeiras taxas, e como este não era coberto, a chuva pode ter diluído o efluente, influenciando nos resultados obtidos.

Apesar de nesse estudo de qualidade ter sido utilizado efluente de fossas sépticas, resultados semelhantes foram obtidos por Meireles et al. (2011) ao avaliarem a qualidade das águas para irrigação do rio Acaraú no Ceará. Esses autores observaram que a qualidade das águas estudadas variou de baixa a severa restrição, o que sugere que tanto água quanto efluente, se utilizados de forma inadequada, podem causar problemas ao solo e à cultura irrigada devido às suas características químicas e principalmente se conterem altos teores de sais.

Na Figura 2 apresenta-se o dendrograma referente à AAHC, no qual as amostras de efluente de fossas sépticas e tratado foram agrupadas quanto à similaridade das características de qualidade selecionadas como mais importantes na ACP. Observa-se que o ponto ótimo de corte para formação dos grupos de similaridade se encontra em 20%, pois, a partir deste, ocorre o distanciamento maior na medida de similaridade para formação dos grupos. Desta forma, definem-se dois agrupamentos distintos.

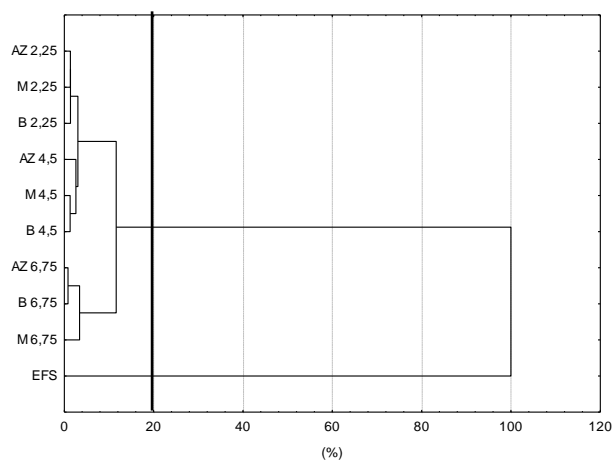


Figura 2. Dendrograma dos efluentes agrupados quanto às características de qualidade selecionadas para comporem o Índice de Qualidade, em que: AZ = azevém, M = misto, B = *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, 2,25; 4,5 e 6,75 = taxas de aplicação de efluente em $L h^{-1}$ e EFS = efluente de fossas sépticas.

Percebe-se que um dos grupos formados foi composto pelos efluentes tratados, nas diferentes espécies de forrageiras utilizadas (AZ, M e B) no sistema de tratamento por escoamento superficial, nas diferentes taxas de aplicação (2,25; 4,5 e 6,75 $L h^{-1}$). Já o efluente de fossas sépticas ficou em um grupo sozinho, o que significa que este apresentou características distintas dos efluentes tratados.

Os resultados obtidos na análise agrupamento confirmam os resultados obtidos no índice de qualidade, que permitiu classificar os efluentes tratados de forma semelhante, em moderada restrição. Já o EFS apresentou um valor de IQ bem abaixo das amostras de efluente tratado, apresentando uma severa restrição ao uso na irrigação e por isso na análise de agrupamento formou um grupo sozinho, se ligando ao grupo dos efluentes tratados em 100%, o que demonstra a grande diferença entre o efluente de fossas sépticas e tratado.

Assim, os resultados obtidos com o IQ e com a análise de agrupamento demonstram que a técnica do escoamento superficial apresenta potencial para ser utilizada no tratamento do EFS, o qual passou de uma severa (EFS) para moderada restrição ao uso na fertirrigação (efluente tratado).

Diversos autores também constataram a eficiência da técnica do escoamento superficial para tratamento de efluentes (TONETTI et al., 2009; LI et al., 2014). Segundo Taebi e Droste (2008), essa eficiência pode variar com as características operacionais do sistema, tipo de efluente utilizado e condições climáticas; porém no geral, observa-se mais de 50% de remoção de poluentes, gerando ao final do tratamento um efluente menos poluente e com características melhores que aquele aplicado no início da rampa de tratamento.

CONCLUSÕES

Os resultados apresentados neste trabalho conduziram às seguintes conclusões:

- As variáveis representativas da variabilidade da qualidade do efluente analisado foram: condutividade elétrica, turbidez, ferro total, bicarbonato, fosfato, potássio, boro, manganês, pH, RAS, sódio, dureza, cálcio, magnésio e cloro;
- O índice de qualidade para o efluente tratado apresentou moderada restrição ao uso na fertirrigação e o efluente de fossas sépticas apresentou restrição severa;
- A técnica do escoamento superficial demonstrou potencial para ser utilizada no tratamento do efluente de fossas sépticas;
- A análise de agrupamento hierárquico de Cluster formou dois grupos distintos de qualidade, que diferiram em efluente de fossa séptica e efluente tratado.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES) pelo auxílio financeiro no desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, E. M. PALÁCIO, H. A. Q.; CRISÓSTOMO, L. A.; SOUZA, I. H.; TEIXEIRA, A. S. Índice de qualidade de água, uma proposta para o vale do rio Trussu, Ceará. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 36, n. 2, p. 135-142, 2005.
- ANDRADE, E. M.; ARAÚJO, L. F. P.; ROSA, M. F.; DISNEY, W.; ALVES, A. B. Seleção dos indicadores da qualidade das águas superficiais pelo emprego da análise multivariada. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 27, n.3, 2007a.
- ANDRADE, E. M.; ARAÚJO, L. F. P.; ROSA, M. F.; GOMES, R. B.; LOBATO, F. A. O. Fatores determinantes da qualidade das águas superficiais na bacia do Alto Acaraú, Ceará, Brasil. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.37, n.6, p. 1791-1797, 2007b.
- ARDILA, A. N.; SALDARRIAGA, J. C. Formulación de un Índice Global de Calidad de Aguas Residuales para Riego. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, v.4, n.3, p.11-26, 2013.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. *Water Quality for Agriculture*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 1994. (Serie: FAO Irrigation and Drainage Papers - 29) <<http://www.fao.org/DOCREP/003/T0234E/T0234E00.htm#TOC>>. 01 mar. 2011.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. *Manual de Irrigação*. Editora UFV, Viçosa, 625 p. 2006.
- BERTOSSI, A. P.A.; CECÍLIO, R. A.; NEVES, M. A.; GARCIA, G. O. Qualidade da água em microbacias hidrográficas com diferentes coberturas do solo no sul do Espírito Santo. *Revista Árvore*, v.37, n.1, p.107-117, 2013a.
- BERTOSSI, A. P.A.; MENEZES, J. P. C.; CECÍLIO, R. A.; GARCIA, G. O.; NEVES, M. A. Seleção e agrupamento de indicadores da qualidade de águas utilizando Estatística Multivariada. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 34, n. 5, p. 2025-2036, 2013b.
- HANJRA, M. A.; BLACKWELL, J.; CARR, G.; ZHANG, F.; JACKSON, T. M. Wastewater irrigation and environmental health: Implications for water governance and public policy. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, v. 215, p. 255-269, 2012.
- HURLEY, T.; SADIQ, R.; MAZUMDER, A. Adaptation and evaluation of the Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) for use as an effective tool to characterize drinking source water quality. *Water Research*, v. 46, p. 3544-3552, 2012.
- LI, H.; LI, Y.; XU, X.; WANG, P.; ZHOU, Y. Effects of intermitente operation mode on nitrogen removal by na Overland flow system: A pilot study. *Ecological Engineering*, v. 69, p. 192-195, 2014.

- MEIRELES, A. C. M.; ANDRADE, E. M.; CHAVES, L. C. G.; FRISCHKORN, H.; CRISOSTOMO, L. A. A new proposal of the classification of irrigation water. *Revista Ciência Agronômica*, v.41, n.3, p.349-357, 2011.
- MILEN, L. C. Tratamento de esgoto doméstico pelo método de escoamento superficial no solo: Uma revisão de literatura. *Revista verde*, v.9, n.5, p. 26-33, 2014.
- MOURA, L. H. A.; BOAVENTURA, G. R.; PINELLI, M. P. A qualidade de água como indicador de uso e ocupação do solo: Bacia do Gama – Distrito Federal. *Química Nova*, v.33, n. 1, p. 97-103, 2011.
- MUYEN, Z.; MOORE, G. A.; WRIGLEY, R. J. Soil salinity and sodicity effects of wastewater irrigation in South East Australia. *Agricultural Water Management*, v. 99, p. 33-41, 2011.
- NAZÁRIO, A. A.; GARCIA, G. O.; REIS, E. F.; MENDONÇA, E. S.; MELLINE, J. G. B. Acúmulo de nutrientes por forrageiras cultivadas em sistema de escoamento superficial para tratamento de esgoto doméstico. *Ambiente & Água*, Taubaté, v.9, n.1, 2014.
- PALÁCIO, H.A.Q.; ANDRADE, E.M.; LOPES, F.B.; ALEXANDRE, D.M.B.; ARRAES, F.D.D. Similaridade da qualidade das águas superficiais da bacia do Curu, Ceará. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.39, n.9, p.2494-2500, 2009.
- SILVA, I. N.; FONTES, L. O.; TAVELLA, L. B.; OLIVEIRA, J. B.; OLIVEIRA, A. C. Qualidade de água na irrigação. *Agropecuária Científica no Semi-Árido*, v. 7, n. 3, P. 1-15, 2011.
- SURAMPALLI, R. Y.; BANEJI, S. K.; TYAGI, R. D.; YANG, P. Y. Integrated advanced natural wastewater treatment system for small communities. *Water Science & Technology*, v. 55, n. 11, p. 239-243, 2007.
- TAEBI, A.; DROSTE, R. L. Performance of an overland flow system for advanced treatment of wastewater plant effluent. *Journal of Environmental Management*, v. 88, p.688–696, 2008.
- TONETTI, A. L.; CERQUEIRA, R. S.; COURACCI FILHO, B.; VON SPERLING, M.; FIGUEIREDO, R. F. Tratamento de esgotos de pequenas comunidades pelo método do escoamento superficial no solo. *Teoria e Prática na Engenharia Civil*, n.13, p.69-79, 2009.
- TONETTI, A. L.; COURACCI FILHO, B.; STEFANUTTI, R. Pós-tratamento de efluente de filtros anaeróbios operados com baixo tempo de detenção hidráulica por escoamento superficial no solo. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.17, n.1, p. 7-12, 2012.
- WANDA, E. M. M., GULULA, L. C., PHIRI, G. Determination of characteristics and drinking water quality index in Mzuzu City, Norther Malawi. *Physics and Chemistry Earth*. v.50, n.52, p.92-97, 2012.
- ZAMBERLAM, J. F.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; FERRAZ, F. C.; PINTO, L. M. Índices sazonais de qualidade da água de irrigação via análise multivariada na região central do Rio Grande do Sul. *Irriga*, v. 18, n. 3, p. 376-386, 2013.