

II-136 – MODELO DE AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO DESCENTRALIZADO DE ESGOTOS – MAATE- I

José Lima de Oliveira Júnior ⁽¹⁾

Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Doutor em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Professor do Departamento de Engenharia Ambiental do Instituto Federal do Ceará – Campus Juazeiro do Norte (IFCE).

José Tavares de Sousa

Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP). Professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Estadual da Paraíba - UEPB.

Saionara Alexandre da Silva

Tecnóloga em Construção de Edifícios pelo Instituto Federal do Ceará – Campus Juazeiro do Norte (IFCE). Mestre em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Professora Formadora da Escola Técnica Aberta do Brasil no Instituto Federal do Ceará (IFCE).

Endereço ⁽¹⁾: Avenida Plácido Aderaldo Castelo, 1646 – Planalto – Juazeiro do Norte - CE - CEP: 63.040-540 - Brasil - Tel: (88) 2101-5324 - e-mail: junior@ifce.edu.br

RESUMO

Os objetivos deste trabalho foram investigar sistemas biológicos de tratamento compactos e convencionais de esgoto em escala piloto, em termos de qualidade sanitária do efluente e seus custos de implantação, operação e manutenção, para construção de um Modelo de Avaliação de alternativas de Tratamento Descentralizado de esgotos baseado em análise integrada econômica, multicritério e multiobjetivo, aplicáveis a comunidades rurais e periurbanas. Quatro sistemas anaeróbios de tratamento, um aeróbio, e um compacto anaeróbio-aeróbio foram operados com vazões variando entre 279 e 315 L. dia⁻¹ durante nove meses. As análises físicas, químicas e biológicas ocorreram semanalmente. O sistema compacto mostrou-se a melhor alternativa na adequação aos padrões para o reuso na agricultura familiar, podendo a sua configuração seguida de UV ser escolhida como alternativa promissora e viável para o tratamento doméstico de esgotos para reuso na agricultura familiar, embora a alternativa UASB Y + Filtro de Areia de Fluxo Intermitente + Ultra Violeta + Reuso foi escolhida como a alternativa de melhor compromisso, tornando-se, ainda, na classificação com ênfase econômica, a solução mais robusta da análise. A descentralização mostra-se como a alternativa nacional para a universalização do esgotamento sanitário. Sistemas inovadores e compactos anaeróbio-aeróbios, de baixo custo, mostraram-se promissores para emprego prévio ao reuso na agricultura no contexto do tratamento descentralizado de esgotos domésticos em comunidades rurais e periurbanas.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento compacto, tratamento anaeróbio, modelo de seleção, análise multiobjetivo.

INTRODUÇÃO

A limitação do acesso ao saneamento no Brasil está fundamentalmente atrelada ao modelo de gestão centralizado de tratamento, e na concentração dos investimentos em regiões de grande concentração populacional, em que pese, ainda, a forte influência evidenciada pelo modelo econômico e político nacional.

Os custos totais de sistemas centralizados de tratamento tornam questionável o emprego destes se o objetivo for universalizar o acesso ao saneamento, demonstrado em estudos de caso nos Estados Unidos (PINKHAM *et al.*, 2004). Isto certamente constitui-se num fator inibidor para o acesso ao serviço em países em desenvolvimento como o Brasil.

No presente trabalho, uma técnica, tendo como base os objetivos estabelecidos para o projeto, foi empregada observando-se restrições e critérios múltiplos em função de aspectos considerados da situação em avaliação. O resultado dessa análise apresenta operação e orçamentação de sistemas de tratamento descentralizado anaeróbio/aeróbio para a construção de um Modelo de Avaliação de Alternativas de Tratamento de Águas

Residuais – MAATE – I, o qual revela um conjunto de alternativas classificadas denominadas de soluções de melhor compromisso no esforço de encontrar o valor ótimo de vetores dos critérios através do julgamento e parametrização de variáveis para a solução do problema (CARNEIRO *et al.*, 2003; SOUSA, 2001).

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi dividido em três fases: Na primeira foram monitorados por nove meses, em termos dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos, com análises semanais segundo recomendações do APHA (2005), cinco sistemas de tratamento descentralizado de esgotos domésticos, potencialmente aplicáveis aos contextos periurbanos e rural: (1) Estação Compacta anaeróbio-aeróbia (ECO): estação compacta com reator UASB duplo “Y” seguido de filtro anaeróbio de fluxo ascendente com leito filtrante de cubos de poliuretano, câmara de transferência de vazão e filtro aeróbio intermitente com leito filtrante de areia; (2) Tanque séptico (TS + SUM1): tanque séptico de câmara única, seguido de sumidouro experimental; (3) (UASBY + SUM2): UASB “Y” seguido de sumidouro experimental; (4) (UASBC + FaFint): UASB convencional seguido de filtro de areia de fluxo intermitente com leito filtrante de areia, e (5) (UASBC + FAN): UASB convencional seguido de filtro anaeróbio de fluxo ascendente com leito filtrante de brita.

PRIMEIRA FASE: OPERAÇÃO DO SISTEMA

Os sistemas foram operados em condições domésticas de baixa vazão com médias operacionais variando entre 270 e 630 Litros. dia^{-1} , com análises de DQO, Sólidos e suas frações e Coliformes Termotolerantes realizadas conforme recomendações do APHA (2005). Para o parâmetro Ovos de Helmintos utilizou-se o método de sedimentação (BAILENGER, 1996). Os resultados das análises foram submetidos a dois métodos estatísticos: (1) estatística descritiva de distribuição; (2) análise de variância fator único (ANOVA), com nível de significância de 5% (SOKAL e ROHLF, 1981). Na Tabela 1, estão apresentados os parâmetros de operação dos sistemas experimentais.

Tabela 1 – Parâmetros de operação dos sistemas experimentais

Sistema	Alternativa de tratamento	Vazão L.dia^{-1}	Volume m^3	T. A. S. $\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$	C.O.V. $\text{kgDQO.m}^{-3}.\text{dia}^{-1}$
1	Tanque Séptico (TS)	279	1,5	-	0,07
2	UASB separador de fases Y (UASB Y)	279	0,35	-	0,30
3	UASB Convencional (UASB C)	630	0,6	-	0,55
4	Estação Compacta (ECO1)	285			
	UASB braço “W” interno		0,285	-	0,46
	Filtro Anaeróbio interno		0,315	-	0,17
	Filtro de Areia interno		0,115	1,25	0,64
5	Filtro Anaeróbio (FAN) (*)	315	1,27	0,4	0,15
6	Filtro aeróbio de Fluxo intermitente (FaFint) (*)	315	1,27	0,4	0,25

T.A.S.: Taxa de Aplicação Superficial

C.O.V.: Carga Orgânica Volumétrica

Na Tabela 2 são apresentados os resultados do comportamento dos sistemas experimentais em termos da remoção físico-química e sanitária.

RESULTADOS DA PRIMEIRA FASE

O emprego predominante de sistemas anaeróbios nesse estudo justificou-se pelo uso recorrente destes na gestão descentralizada (AL-JAMAL e MAHMOUD, 2009; KASSAB, 2010; MOUSSAVI *et al.*, 2010; SABRY, 2010).

Tabela 2 – Parâmetros de operação dos sistemas experimentais

Parâmetros		Esgoto Bruto	Pré-tratamento								Pós-tratamento			
			TS	n	UASB Y	n	UASB C	n	ECO 1	n	FAN	n	FaFint	n
Matéria Orgânica	DQO _{total} mg.L ⁻¹	443±99	192±72,00	19	183±97,00	19	206±37,00	26	58±24,00	12	114±23,00	26	79±28,00	24
	DQO _{filtrada} mg.L ⁻¹	201±23	130±67,00	19	123±95,00	19	131±24,00	26	51±23,00	12	87±25,00	26	55±24,00	24
	SST mg.L ⁻¹	173±47	41 ± 26,00	18	37 ± 15,00	18	47±7,00	23	7±5,00	24	24±7,00	23	23±10,00	23
	SSV mg.L ⁻¹	122±32	25 ± 15,00	17	30 ± 14,00	17	35±10,00	23	5±4,00	25	19±7,00	23	14±6,00	23
Nutrientes	N-NTK _{ef} mg.L ⁻¹	52±6,19	53 ± 4,00	21	53 ± 8,00	21	55±5,97	24	28±10,71	27	53,80±5,98	24	8,21±2,61	24
	PO ₄ _{ef} mg.L ⁻¹	6,51±1,08	4,82 ± 0,38	10	4,95 ± 0,45	8	4,58 ± 0,92	20	-	-	4,70 ± 0,92	20	4,53±0,89	20
Patógenos	CTT UFC.100mL ⁻¹	4,90E+06	1,15E+06	16	1,32E+06	17	9,07E+05	10	9,54E+04	10	2,74E+05	10	9,54E+04	10
	OH ovos.L ⁻¹	155±19	14	9	14	9	14	9	0	9	1	9	0	9

TS: Tanque Séptico; UASB Y: UASB separador de fases braço Y; UASB C: UASB Convencional;

ECO1: Estação Compacta Anaeróbia/Aeróbia; FAN: Filtro Anaeróbio; FaFint: Filtro Aeróbio de Fluxo Intermitente.

n = número de determinações.

Os sistemas anaeróbios de pré-tratamento, compostos pelo TS, UASB Y e UASB C não apresentaram diferença significativa, ao nível de significância $\alpha=0,05$ para as concentrações de DQO_{total}, com médias respectivas de 192±72,00 mg.L⁻¹, 183±97,00 mg.L⁻¹ e 206±37,00 mg.L⁻¹ (p -valor = 0,555).

O sistema compacto ECO1 apresentou remoção média de SST elevada, de 97%, bem acima da eficiência do UASB Y e do UASB Convencional, respectivamente de 78,62% e 72,35%, e melhor concentração efluente de CTT, de 9,54 x 10⁴ UFC.100 mL⁻¹, com remoção de aproximadamente 2 log, atendendo, juntamente com as alternativas UASB Compacto + Filtro Anaeróbio e UASB Convencional + FaFint, o padrão da OMS para ovos de helmintos para irrigação irrestrita. Todavia, todos os sistemas requereriam desinfecção para adequação dos níveis de coliformes termotolerantes ao padrão para o reuso na agricultura (USEPA, 2012; WHO, 2006).

SEGUNDA FASE: ESTIMATIVA DOS CUSTOS TOTAIS

Na segunda fase foram estimados os custos de implantação, operação e manutenção dos sistemas operados com base nos projetos básicos elaborados dos sistemas e formatados no padrão de orçamento sintético de obras com preços levantados a partir dos dados vigentes da construção civil (tabela SINAPI da Caixa Econômica Federal – CEF; e tabela SEINFRA-CE) ano base 2013. Os custos de operação e manutenção foram estimados com base nos parâmetros sugeridos pela USEPA (2005) e Normas da ABNT (ABNT, 1993; ABNT, 1997).

Os custos totais, trazidos a Valor Presente Líquido a uma taxa de desconto recomendada pelo BID (Banco Interamericano de Desenvolvimento) de 12%, perfizeram as parcelas dos custos de construção da estação, operação e manutenção, dentro de um horizonte de projeto de 20 anos.

RESULTADOS DA SEGUNDA FASE

Os sistemas de pré-tratamento foram custos orçados variando entre R\$ 2.669,01 e R\$ 5.199,23. O maior custo foi apresentado pelo ECO1, provavelmente pela diferença significativa entre os custos com movimento de terra, instalações hidrossanitárias e montagem do reator. O tanque séptico, construído em alvenaria, apresentou custo essencialmente igual, da ordem de R\$ 5.146,64, sendo o segundo mais caro.

No que diz respeito aos sistemas de pós-tratamento secundário observam-se custos respectivos de R\$ 3.732,23 para o FAN e R\$ 3.920,32 para o FaFint, do que se pode concluir que, dada a superior qualidade do efluente proveniente do filtro aeróbio, tomado este fator custo de construção isoladamente, a opção anaeróbia de pós-

tratamento pode ser preterida. A Tabela 3 apresenta os custos de implantação, operação e manutenção das alternativas de tratamento e disposição final.

Tabela 3 - Custos de Implantação, operação e manutenção das alternativas de tratamento e disposição.

Abrev.	Custos				Custos a Valor Presente		
	Implantação	Operação	manutenção	Total	Impl.	OP & MAN	Total VPL
	R\$	R\$.ano-1	R\$.ano-1	R\$	R\$	R\$	R\$
CS	203,58			203,58			
C.I.	221,75			221,75			
TS	5.146,64	292,38	54,00	5.493,02	4.974,97	2.551,36	7.526,33
UASB Y	2.669,91	258,30	61,73	2.989,94	2.763,61	2.357,27	5.120,88
UASB C	2.563,03	258,30	61,73	2.883,06	2.668,18	2.357,27	5.025,45
ECO I	5.199,53	404,50	227,01	5.831,04	5.022,20	4.651,56	9.673,76
UASB M	1.097.759,29	3.874,50	54.887,96	1.156.521,75	980.521,98	432.831,20	1.413.353,18
FAN	3.732,23	323,64	169,73	4.225,60	3.712,11	3.634,05	7.346,16
Fafint	3.920,32	377,64	173,01	4.470,97	3.880,04	4.055,97	7.936,01
FaFint M	19.601,60	5.664,60	2.595,15	27.861,35	17.881,19	60.839,48	78.720,66
Cloro	2.500,00	196,86	125,00	2.821,86	2.232,14	2.370,72	4.602,86
UV	3.772,50	75,20	188,63	4.036,33	3.368,30	1.943,30	5.311,60
Cloro	4.411,60	984,28	220,58	5.616,46	3.938,93	8.874,71	12.813,64
UV	6.659,82	376,02	332,99	7.368,83	5.946,27	5.222,39	11.168,65
Solo	3.019,30		150,97	3.170,27	2.695,80	1.111,97	3.807,78
Reuso	42.269,91		2.113,50	44.383,41	37.740,99	15.567,54	53.308,53
C. R.							
Solo							
Reuso	246.270,16		12.313,51	258.583,67	219.884,07	90.698,55	310.582,62

Considerando os resultados dos diferentes reatores operados, sugere-se a estação compacta ECO1 como alternativa promissora no tratamento descentralizado unifamiliar de esgotos, principalmente quando é considerado o bom desempenho na remoção de parâmetros físico-químicos importantes para o reuso, como é o caso da matéria orgânica, aliado às características de baixo custo de operação, manutenção e compactidade.

TERCEIRA FASE: CONSTRUÇÃO E ALIMENTAÇÃO DO MODELO DE AVALIAÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO

A terceira fase consistiu na construção e alimentação de um modelo de avaliação de alternativas de Tratamento de esgotos com base em planilhas Excel – denominado MAATE – I, o qual integra módulos de processamento de dados para análise econômica de custo e benefício, e análise multicritério e multiobjetivo no auxílio à decisão

A Tabela 4 apresenta os módulos e os dados constituintes.

Tabela 4 – Arquitetura do Modelo de Avaliação de Alternativas de Tratamento - MAATE – I

Módulo	Sub-planilha	Dados
Módulo I - Dados do Projeto	Parâmetros de projeto e projeção do crescimento populacional para a(s) área(s) esgotada(s)	Informações populacionais e parâmetros gerais das áreas a ser esgotadas
	Parâmetros físicos da área de projeto	Parâmetros relativos às ligações, rede coletora, interceptor, emissário e tratamento dos esgotos
	Parâmetros geomorfológicos da(s) área(s) das sub-bacias de projeto	Dados topográficos e hidrogeológicos da área de coleta, tratamento e disposição no solo.
	Parâmetros de disposição no solo	Dados do solo da bacia e área de infiltração de efluentes
	Parâmetros para o reuso na agricultura familiar	Informações em nível de bacia e residencial relativo ao plantio, demanda e disponibilidade de irrigação, produção agrícola da cultura, recuperação de água e de nutrientes N e P.
	Padrão de lançamento de Efluentes aplicável à irrigação agrícola	Parâmetros restritivos de acordo com as recomendações da WHO (2006); USEPA (2012) e ABNT (1997) para o lançamento no solo e reuso.
	Parâmetros restritivos adotados para a pré-seleção de alternativas no Módulo II.	Informações sobre área disponível, Energia elétrica, Nível do Lençol, Taxa de percolação do solo na área de projeto, além de metas ambientais estabelecidas conforme legislações aplicáveis à disposição no solo e reuso de águas residuárias na agricultura familiar no cultivo da palma forrageira.
	Modelagem da qualidade do efluente dos sistemas de tratamento	Modelagem matemática do efluente das associações de tratamento - planilha de parametrização e de modelagem das associações de tratamento.
Módulo II - Pré-seleção das alternativas de tratamento	Pré-seleção de alternativas	Seleção de parâmetros para pré-seleção de alternativas, critérios de pré-seleção, modelagem da qualidade do efluente das alternativas, resultado final da pré-seleção de alternativas viáveis.
	Conjunto de Alternativas viáveis	Conjunto de alternativas viáveis - atendidos os padrões da legislação e critérios da parametrização e modelagem das associações de tratamento.
Módulo III - Análise integrada econômica, multiobjetivo e multicritério.	Custos de implantação, operação e manutenção das alternativas pré-selecionadas	Informações de custos orçados - SINAPI e SEINFRA (2012) e trazidos a valor presente líquido e respectivos índices de custo (custo/m³ tratado e per capita).
	Benefícios tangíveis	Estimativa dos benefícios tangíveis com a opção pelo reuso de águas residuárias na agricultura familiar e comunitária.
	Custos e benefícios - Totais - I_{cb}	Estimativa do Índice de Custo x Benefício das alternativas pré-selecionadas a VPL.
	Critérios de Avaliação (multicritério)	Critérios dos objetivos múltiplos do projeto para avaliação das alternativas pré-selecionadas de tratamento descentralizado
	Matriz de avaliação das alternativas pré-selecionadas	Critérios de avaliação das alternativas pré-selecionadas de tratamento descentralizado
	Classificação das alternativas - multiobjetivo	Classificação multicritério e multiobjetivo das alternativas - Determinação do Índice de Proximidade das alternativas pré-selecionadas.
	Classificação das alternativas - análise econômica e multicritério	Classificação multicritério e multiobjetivo e segundo a análise econômica de custo x benefício das alternativas.
Módulo IV - Análises comparativas das alternativas pré-selecionadas	Análises comparativas das alternativas pré-selecionadas	Ranking das alternativas segundo Multicritério e Custo x Benefício para rodada sem ênfase nos pesos dos objetivos do projeto Classificação das alternativas segundo I_{cb} e L_s para a ponderação $S = 1$, $S = 2$ e $S = \infty$ - (Método da Proramação de Compromisso).
	Ranking das ênfases dos pesos dos objetivos do projeto.	Planilha auxiliar contendo o Índice de proximidade L_s para peso $S = 2$, nas ênfases dos pesos originais (sem ênfase), ênfase social, econômica e ambiental.
	Análise de sensibilidade	Solução de melhor compromisso para cada ponderação dos objetivos do projeto; seleção do grupo de melhor atratividade e da alternativa mais robusta.

O Modelo avaliou de forma integrada os dados relativos ao contexto do Assentamento Santa Cruz no município de Campina Grande - PB, através de quatro módulos distintos e interligados.

RESULTADOS DA TERCEIRA FASE

Com base na Matriz de Avaliação das alternativas na análise econômica e multicritério, estabeleceu-se uma classificação por ordem crescente do Índice de Proximidade L_s , procurando estabelecer o grupo das soluções de melhor compromisso, isto é, aquelas para os quais o Índice de Proximidade entre as alternativas L_s é o menor possível, aproximando-a da solução ideal (SOUSA, 2001; ZELENY, 1973).

A Tabela 4 apresenta a classificação das alternativas segundo o método multicritério dos Índices de Proximidade L_s para $s = 1$, $s = 2$ e $s = \infty$, (*idem*), calculados de acordo com a ponderação original dos decisores.

Tabela 4– Classificação das alternativas segundo o método multiobjetivo do Índice de Proximidade L_s para a ponderação original dos decisores ($s = 1$, $s = 2$ e $s = \infty$).

Alt.	Associações entre alternativas				$L_s S = 1$	$L_s S = 2$	$L_s S = \infty$	Icb
144	UASB M	FaFint M	Cloro	Reuso	7,46	3,20	2,22	0,261
146	UASB M	FaFint M	UV	Reuso	7,56	3,24	2,22	0,262
53	UASB Y	Fafint	Cloro	Reuso	7,34	3,37	2,39	0,305
55	UASB Y	Fafint	UV	Reuso	7,56	3,42	2,39	0,308
18	TS	Fafint	Cloro	Reuso	8,33	3,50	2,39	0,315
88	UASB C	Fafint	Cloro	Reuso	8,41	3,52	2,39	0,304
20	TS	Fafint	UV	Reuso	8,48	3,55	2,39	0,318
90	UASB C	Fafint	UV	Reuso	8,51	3,56	2,39	0,307
109	ECO 1	SIMPLES	Cloro	Reuso	8,44	3,67	2,39	0,290
111	ECO 1	SIMPLES	UV	Reuso	8,65	3,71	2,39	0,293
48	UASB Y	FAN	UV	Reuso	10,77	3,77	2,39	0,305
46	UASB Y	FAN	Cloro	Reuso	11,75	3,91	2,39	0,302
13	TS	FAN	UV	Reuso	11,37	3,94	2,39	0,316
83	UASB C	FAN	UV	Reuso	11,94	4,06	2,39	0,305
11	TS	FAN	Cloro	Reuso	12,72	4,20	2,39	0,313
81	UASB C	FAN	Cloro	Reuso	13,60	4,44	2,39	0,302
50	UASB Y	Fafint	+	Solo	12,95	5,08	2,43	-
15	TS	Fafint	+	Solo	13,76	5,16	2,43	-
85	UASB C	Fafint	+	Solo	13,92	5,18	2,43	-
43	UASB Y	FAN	+	Solo	16,35	5,37	2,43	-
8	TS	FAN	+	Solo	16,88	5,50	2,43	-
106	ECO 1	SIMPLES	+	Solo	14,92	5,52	2,43	-
78	UASB C	FAN	+	Solo	17,61	5,61	2,43	-
141	UASB M	FaFint M	+	Solo	17,74	5,87	2,43	-
36	UASB Y	SIMPLES	+	Solo	20,95	6,38	2,91	-
1	TS	SIMPLES	+	Solo	21,53	6,46	3,06	-
71	UASB C	SIMPLES	+	Solo	22,93	6,77	3,20	-

M: Multifamiliar; Y: Forma do separador de fases; C: Convencional;

TS: Tanque Séptico; FaFint: Filtro de areia de fluxo intermitente; FAN: Filtro Anaeróbio

Os resultados apontaram as alternativas multifamiliares UASB + FaFint + Cloração + Reuso, e UASB + FaFint + Cloração + reuso, com as menores variações respectivas de $\Delta L_s = 3,23$ e $3,35$, seguidas pelas alternativas unifamiliares UASBY + FaFint + cloração + reuso e UASBY + FaFint + UV + reuso, com ΔL_s respectivos de $3,80$ e $3,92$, indicando-as como alternativas de melhor compromisso.

CONCLUSÕES

O modelo MAATE – I, avaliando 105 alternativas de sistemas descentralizados de tratamento de esgotos, pré-selecionou 27 alternativas viáveis no contexto do Assentamento Santa Cruz, no município em Campina Grande, com potencial para o reuso do efluente na agricultura no cultivo da palma forrageira (*Opuntia ficus indica*).

Na modelagem das alternativas viáveis à seleção, o sistema ECO1 produziu efluente final com resultados significativamente diferentes em termos de DQO e SST e SSV daqueles encontrados para as associações dos demais reatores com médias efluentes respectivas de 58 mg.L⁻¹, 8,13 mg.L⁻¹ e 4,45 mg.L⁻¹, apresentando-a como a mais adequada tanto aos padrões de lançamento em corpo receptor, quanto ao reuso na agricultura familiar.

Entre as associações modeladas, os melhores resultados na remoção de Coliformes Termotolerantes figuraram nas alternativas ECO1 + Cloração e UASB Y + Filtro de Areia de Fluxo Intermitente + Cloração, com médias de CTT efluente de 904 UFC.100 mL⁻¹. Com exceção apenas para o Tanque Séptico e reatores UASB sem pós-tratamento, com concentração efluente em torno de 14 ovos de helmintos. L⁻¹, nenhuma das demais associações modeladas detectou ovos viáveis, tornando-as igualmente adequadas ao padrão da OMS para irrigação irrestrita (WHO, 2006).

Entre as alternativas unifamiliares observadas na Tabela 4, a composta pela associação da Estação Compacta ECO 1 + Cloração (109), apresentou o menor Índice de Custo Benefício ($I_{cb} = 0,290$), com a associação ECO + UV + Reuso (111) em segundo lugar, com custos apenas 1,04 % maiores.

A alternativa multifamiliar UASB + FaFint + cloração + reuso com $\Delta L_s = 3,23$ mostrou-se a alternativa mais robusta da análise. No entanto, tanto a alternativa multifamiliar UASB + FaFint + UV + reuso como a alternativa unifamiliar ECO1 + cloração + reuso, poderiam ser escolhidas como alternativas viáveis e promissoras para o tratamento doméstico de esgotos com fins ao reuso na agricultura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AL-JAMAL, W.; MAHMOUD, N. Community onsite treatment of cold strong sewage in a UASB-septic tank. *Bioresource Technology* 100,1061-1068, 2009.
2. APHA, AWWA, WPCF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23th. Editions. Washington, 2005.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 07229:1993. Projeto, construção e operação de tanques sépticos. Rio de Janeiro: ABNT. Norma técnica. p. 15.
4. _____. NBR 13969:1997. tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT. Norma técnica. p. 15.
5. BAILINGER, J. Mechanisms of parasitological concentration in coprology and their practical consequences. *J. Am. Med. Technol.* 41 apud Ayres R & Mara D. *Analysis of wastewater for use in agriculture. A laboratory manual of parasitological and bacteriological techniques*. Geneva: WHO, pp. 65-71, 1996.
6. CARNEIRO, G. A.; BARBOSA, R. F. M.; SOUZA, M. A. A. Uma metodologia para seleção de processos de tratamento de águas residuárias municipais e sua aplicação a um estudo de caso no Distrito Federal. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, Brasil*, v.5, p. 68-75. 2000.
7. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. Censo demográfico. 2010. disponível em: <<http://www.ibge.com.br/censo2010.htm>> acesso em 23.09.2011.
8. KASSAB, G.; HALALSHEH, M.; KLAPWIJK, A.; FAYYAD, M.; van LIER, J.B. Sequential anaerobic-aerobic treatment for domestic wastewater - A review. *Elsevier: Bio resource Technology*. 101 (2010) - p. 3299-3310.
9. MOUSSAVI, G.; KAZEMBEIGI, F.; FARZADKIA, M. Performance of a pilot scale up-flow septic tank for on-site decentralized treatment of residential wastewater. *Elsevier: Institution of Chemical Engineers. Process safety and environmental protection*. 2010. v. 0957-5820.
10. OLIVEIRA JR., J. L. de. Modelo de avaliação de alternativas de tratamento descentralizado de esgoto doméstico para pequenas comunidades. Tese de doutorado. Universidade Federal de Campina Grande - PB. 2014. 208p.
11. PINKHAM, R.D., J. MAGLIARO, AND M. KINSLEY. Case Studies of Economic Analysis and Community Decision Making for Decentralized Wastewater Systems. Project No. WU-HT-02-03. Prepared for the National Decentralized Water Resources Capacity Development Project, Washington University, St. Louis, Missouri, by Rocky Mountain Institute, Snowmass, Colorado. 2004.
12. SABRY, T. Evaluation of decentralized treatment of sewage employing Up flow Septic Tank/Baffled Reactor (USBR) in developing countries. *Elsevier: Jornal of Hazardous Materials*. 0304-3894. 2009. pp. 501 - 505.

13. SOKAL R. R. e ROHLF F. J. BIOMETRY – The Principles and Practice of Statistic in Biological Research. 2nd edition. 1981. San Francisco: W.H. Freeman and Company. 634p
14. SOUSA, M. A. A. Análise tecnológica de alternativas para pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios: resultados da avaliação multiobjetivo. In: 21. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais... 2001. Rio de Janeiro: ABES.
15. USEPA. United States environmental protection agency. Handbook for Managing Onsite and Clustered (Decentralized) wastewater treatment systems. An introduction to management tools and information for implementing EPA's Management guidelines. 2005. USEPA: EPA No. 832-B-05-001. Cópia eletrônica. Disponível em: <www.epa.gov.owm/onsite>.
16. _____. United States Environmental protection agency. 2012 Guidelines for Water reuse. USEPA: EPA No. 600-R-12/618 September 2012. Cópia eletrônica. disponível em: <www.epa.gov.owm>.
17. WHO. World Health Organization. Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Grey water: Wastewater in Use in Agricultural. v. II. 2006. 630p.
18. ZELENY, M. Multiple criteria decision making. University of South Carolina Press, Columbia, Estados Unidos. 1973.