

Parâmetros Físico-Químicos e Eficiência de Fossa Séptica Biodigestora na Redução da Carga orgânica de Esgoto Originado de Água Doce ou Salobra, na Borda Oeste do Pantanal

Physical Chemical Parameters and Efficiency of the Septic Tank Biodigester on the Treatment of Sewage Produced with Fresh or Brackish Water, in the West Border of Pantanal

SOARES, Márcia Toffani Simão^{1,2}; CALHEIROS, Débora Fernandes^{1,3}; GALVANI, Fábio^{1,4}; FEIDEN, Alberto^{1,5}; CAMPOLIN, Aldalgiza Inês (in memoriam)¹; DA SILVA, Wilson Tadeu Lopes⁶

¹Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Pantanal, Corumbá – MS, ²marcia.toffani@embrapa.br, ³deboracalheiros@embrapa.br, ⁴fabio.galvani@embrapa.br, ⁵alberto.feiden@embrapa.br; ⁶Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Instrumentação, São Carlos – SP, wilson.lopes-silva@embrapa.br

Resumo: Este trabalho comparou parâmetros físico-químicos e a eficiência de fossas sépticas biodigestoras na redução da carga orgânica de esgoto sanitário de residências abastecidas com água doce ou salobra (“dura”), em sistemas agrícolas familiares sob as condições da Borda Oeste do Pantanal. Foram analisados nos efluentes sanitários brutos e tratados entre março/abril de 2009 e julho de 2010 os parâmetros pH, condutividade elétrica, DBO, DQO, sólidos totais, suspensos e voláteis, calculados a relação DBO/DQO, bem como a eficiência relativa do sistema na decomposição bioquímica e química da matéria orgânica. Após a biodigestão da matéria orgânica, não foram verificadas diferenças significativas entre os dois sistemas ($p < 0,05$), excetuando-se a condutividade elétrica, superior sob água salobra. Verificou-se que o uso de fossas sépticas biodigestoras nas condições da Borda Oeste do Pantanal contribui para a redução da carga orgânica das excretas humanas, independente da concentração salina da água utilizada para o esgotamento sanitário.

Palavras-chave: biodigestão anaeróbia, tratamento de esgoto, saneamento básico rural

Abstract: This study compared physical chemical parameters and the process of digestion in septic tanks biodigesters, whose residences are supplied with freshwater or brackish (“hard”) water, on familiar agricultural system in the West Border of Pantanal wetland conditions. We analyzed raw and treated wastewater between March / April 2009 and July 2010 the parameters pH, electrical conductivity, BOD, COD, total, suspended and volatiles solids. The BOD/COD relation and the relative efficiency of system of biochemical and chemical decomposition of organic matter were calculated. After organic matter biodigestion, there were no significant differences between the two systems in the evaluated parameters ($p < 0.05$), except for the electrical conductivity, higher in brackish water conditions. The results show that the use of septic biodigester tanks in the local conditions contributes to the reduction of organic load of human excreta, independent of the salt concentration in the water used for sanitary sewage.

Keywords: anaerobic biodigestion, sewage treatment, rural basic sanitation.

Introdução

Os assentamentos rurais do município de Corumbá-MS, localizados na Borda Oeste do Pantanal, apresentam sérias dificuldades associadas à escassez hídrica, bem como à qualidade da água disponível para dessedentação animal e humana, oriunda em sua grande parcela de poços freáticos e artesianos perfurados em rochas calcárias, o que confere às mesmas a característica de “salobra” (GALDINO; MELO, 2000). Tais limitações são agravadas pelas deficientes condições sanitárias dos lotes, com predomínio, na maioria das residências, de fossas negras, com graves riscos para o ambiente e, em consequência, para a saúde humana.

Visando atender às necessidades de tratamento do esgoto rural, foi desenvolvido por Novaes et al. (2002) um sistema alternativo de tratamento de águas negras em residências rurais, denominado Fossa Séptica Biodigestora. Categorizada como uma tecnologia social, apresenta resultados promissores no tocante à qualidade dos efluentes finais sob o aspecto sanitário, ambiental e agrícola, sendo passíveis de gerar benefícios relevantes sob o aspecto social e econômicos (DA COSTA; GUILHOTO, 2015). A fossa séptica biodigestora funciona sob um processo de biodigestão anaeróbica, em que as caixas são vedadas para limitar a entrada de oxigênio no sistema. Como este processo é dependente do equilíbrio entre populações bacterianas envolvidas no processo fermentativo e sensíveis às condições do meio em que se desenvolvem, o presente estudo teve por objetivo comparar parâmetros físico-químicos e a eficiência de fossas sépticas biodigestoras na redução da carga orgânica de esgoto sanitário de residências abastecidas com água doce ou com água doce salobra (“dura”), em sistemas agrícolas familiares sob as condições da Borda Oeste do Pantanal.

Materiais e Métodos

As fossas sépticas biodigestoras foram instaladas em dois lotes situados em assentamentos rurais da reforma agrária, sendo um denominado “Mato Grande” e outro “Tamarineiro II”. Estes assentamentos estão localizados a oeste do município de Corumbá, na região denominada “Borda Oeste do Pantanal” (coordenadas 18°59’ a 19°29’S e 57°53’ a 57°21’W), que possui aproximadamente 1.300 km² e é representada por terras não alagáveis ao redor das cidades de Corumbá e Ladário - MS (Cardoso et al., 2002a). O clima da região é do tipo Awa, ou seja, tropical de altitude, megatérmico, com inverno seco e chuva no verão (Soriano, 2000). A região possui uma ampla diversidade de solos, em grande parte com textura argilosa aliada à elevada atividade das argilas, o que confere aos mesmos alta plasticidade, pegajosidade (CARDOSO et al., 2000a e 2002b) e drenagem deficiente.

A maioria dos poços freáticos e artesianos destes dois assentamentos foi perfurada em rochas calcárias, conferindo às suas águas características de “salobra”, com

elevadas concentrações de carbonatos de cálcio e magnésio (GALDINO; MELO, 2000). Todavia, uma parcela dos lotes do assentamento rural Mato Grande é abastecida por água doce, oriunda de nascentes superficiais localizadas nas morrarias do Maciço do Urucum. Com base nestas características, a fossa séptica biodigestora instalada em lote rural localizado no assentamento Tamarineiro II, que recebe água salobra, foi denominada “FSBsal.”, e a fossa séptica biodigestora instalada no assentamento rural Mato Grande denominada “FSBdoce”.

Os dois sistemas de tratamento de esgoto instalados (FSBdoce e FSBsal., respectivamente) são constituídos, basicamente, por quatro caixas d’água de 1.000 litros de fibra de vidro e, ou fibrocimento, enterradas no solo (Figura 1) e fixadas com hastes metálicas e concreto, a fim de se evitar movimentação da mesma em função da pressão exercida pelo solo e água nas épocas de chuvas (SOARES et al., submetido). As caixas foram conectadas ao vaso sanitário e entre si por tubos e conexões de PVC, sendo as três primeiras caixas destinadas ao processo de biodigestão anaeróbica e a quarta caixa ao armazenamento de efluentes tratados. A primeira caixa recebia mensalmente uma quantidade padronizada de esterco bovino fresco como inóculo de bactérias para manter o processo de biodigestão. Informações adicionais sobre a instalação e o manejo das FSBs estão contidas em Galindo et al. (2010).

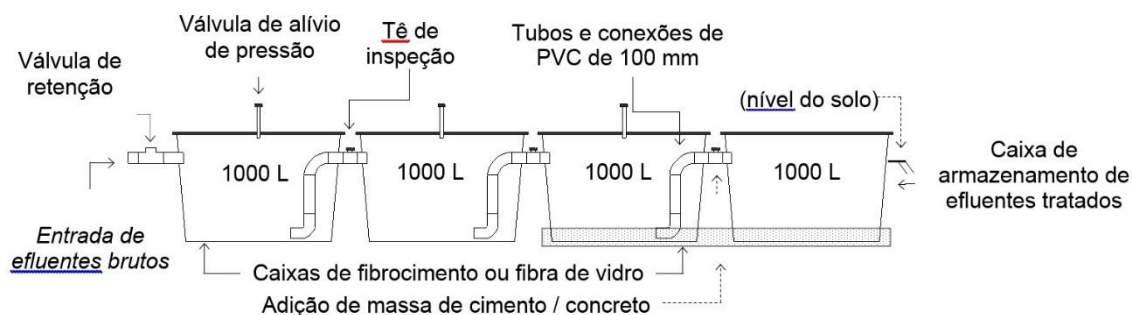


Figura 1. Esquema do sistema de tratamento de esgoto com seus respectivos componentes (adaptado de Galindo et al., 2010)

Parâmetros Analisados

Para caracterização das águas que abastecem a residência onde foi instalada a FSBdoce, em novembro de 2008 foi realizada medida “in situ” do pH e da condutividade elétrica das águas do córrego Mato Grande, com uso de aparelho digital Oakton devidamente calibrado. Também foram coletadas amostras de água para obtenção dos teores dissolvidos de Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ (APHA, 1998) e da alcalinidade (Gran, 1952). Para as águas subterrâneas que abastecem o assentamento Tamarineiro II (FSBsal.), tais parâmetros foram compilados de Galdino & Melo (2000) e Friderichs et al. (2010).

As temperaturas máxima e mínima do ar atmosférico (T_{ar}max e T_{ar}min), bem como as temperaturas máxima e mínima dos efluentes brutos da segunda caixa de biodigestão

($T_{b_{max}}$ e $T_{b_{min}}$) foram avaliadas entre os meses de março/abril e setembro de 2009, com o uso de um termômetro digital de máxima e de mínima com sensores interno e externo de temperatura (uma a quatro medidas por mês).

Amostras dos efluentes brutos (primeira caixa) e tratados (quarta caixa) das duas FSBs foram coletadas em 15/04/2009 (1), 1 e 9/07/2009 (2), 23/09/2009 (3), 12/11/2009 (4), 18/01/2010 (5), 12/04/2010 (6) e 13/07/2010 (7), com o uso de aparato constituído por bomba elétrica à vácuo acoplada a tubos de silicone e balão de Erlenmeyer, ambos previamente esterilizados. Em 12/11/2009 os efluentes brutos da FSB_{doce} não puderam ser coletados devido à falta de energia elétrica no lote e, em 13/07/2010, foi realizada a amostragem dos efluentes somente na FSB_{sal.}, pois naquele período a FSB_{doce} não foi utilizada pelos residentes do lote.

Nos efluentes brutos e tratados, foram determinados o pH e a condutividade elétrica (CE) com um medidor multiparâmetros digital (Oakton Waterproof pH/cond 10 meter). As análises de sólidos suspensos totais (SST), fixos (SSF) e voláteis (SSV), foram realizadas conforme APHA (1998). Amostras dos efluentes brutos e tratados foram destinadas às análises de demanda bioquímica de oxigênio (DBO_{5,20}) e demanda química de oxigênio (DQO) no Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul – IMASUL. A relação DBO/DQO dos efluentes brutos e tratados, bem como a eficiência relativa do sistema na decomposição bioquímica e química da matéria orgânica (DBOr e DQOr) foram calculadas a partir dos resultados analíticos.

Cada FSB foi considerada como um tratamento, sendo que as repetições correspondem aos períodos de obtenção das amostras e dos parâmetros avaliados. Estes foram expressos, para cada sistema, quanto aos seus valores máximos, mínimos, o coeficiente de variação (CV%) e o número de observações realizadas. Utilizou-se o teste de Shapiro-Wilk para avaliar a hipótese de normalidade ($p < 0,05$), e as variáveis consideradas normais foram submetidas à análise de variância e, posteriormente, comparados entre si através do teste de Tukey-Kramer pelo modelo Proc GLM a 5% e 1% de probabilidade; para as variáveis que não seguem uma distribuição normal foi aplicado o teste t de Wilcoxon.

Resultados e discussões

As Tabelas 1 e 2 apresentam a caracterização das águas doces e salobras nas duas regiões de estudo, bem como as temperaturas máxima e mínima no ambiente de entorno das fossas sépticas biodigestoras. Podem ser verificadas diferenças marcantes na concentração de sais e na alcalinidade destas águas, muito superiores nas águas subterrâneas que abastecem o assentamento Tamarineiro II. Quanto à temperatura do ambiente de entorno (Tabela 2), verificou-se que a temperatura média máxima do ambiente onde foi instalada a FSB_{sal.} (41,5°C) foi superior ($p < 0,01$) à observadas em FSB_{doce} (36,5°C), resultado que evidencia a diferença entre as

condições ambientais do lote onde está instalada a FSB_{doce}, mais arborizado e em outro micro-clima regional.

Tabela 1. Caracterização das águas utilizadas nas regiões onde foram instaladas as fossas sépticas biodigestoras em Corumbá (MS)

Assentamentos	pH	Condut.Elétrica (dS m ⁻¹)	Na ⁺ _{diss.} (mg L ⁻¹)	Ca ²⁺ _{diss.} (mg L ⁻¹)	Mg ²⁺ _{diss.} (mg L ⁻¹)	Alcalinidade (mg HCO ₃ ⁻ L ⁻¹)
Mato Grande (Córrego Mato Grande)	6,8	0,0	0,8	2,9	0,7	9,2
TamarineiroI ⁽¹⁾	-	0,7 – 1,2	3,7 – 136,6	29,1 – 45,1	21,9 – 38,6	585,4 – 847,6
TamarineiroII ⁽²⁾	6,9 - 7,3	0,8 - 1,0	-	-	-	607,3 – 698,8

⁽¹⁾ Adaptado de Galdino & Melo, 2000; ⁽²⁾ Adaptado de Friderichs et al., 2010.

Temperatura, pH e Condutividade Elétrica dos Efluentes

As temperaturas máximas e mínimas médias dos efluentes na segunda caixa de biodigestão dos dois sistemas (28,0 e 25,0 °C na FSB_{doce}, e 26,9 e 23,4 °C na FSB_{sal.}) não diferiram entre si pelo teste de Tukey-Kramer a p<0,05 (Tabela 2), apesar das condições ambientais distintas em seus respectivos locais de instalação. Os valores observados estão dentro da faixa de temperatura média esperada durante a fermentação no interior de uma fossa séptica biodigestora (GALINDO et al., 2010), favorecendo processos microbianos mesofílicos. Os baixos coeficientes de variação (CV) das temperaturas máxima e mínima dos efluentes brutos contidos na segunda caixa de biodigestão das duas FSB's indicam que as temperaturas dos efluentes na segunda caixa da FSB propiciam certa estabilidade ao processo de decomposição anaeróbia da matéria orgânica, favorecendo especialmente o trabalho das bactérias metanogênicas, que se reproduzem mais lentamente e são mais sensíveis às condições ambientais ou às condições adversas (DA SILVA et al. 2011).

Tabela 2. Temperaturas máxima e mínima no ambiente de entorno e dos efluentes brutos de fossas sépticas biodigestoras (caixa 2), gerados a partir de água doce (FSB_{doce}) e salobra (FSB_{sal.}), entre março/abril e setembro de 2009⁽¹⁾

	Temperatura Ambiente (°C)				Temperatura Efluentes Brutos (°C)			
	Máx		Mín.		Máx.		Mín.	
	FSB _{doce}	FSB _{sal.}	FSB _{doce}	FSB _{sal.}	FSB _{doce}	FSB _{sal.}	FSB _{doce}	FSB _{sal.}
Média	36,5 ^(††)	41,6	14,6 ^{n.s.}	13,9	28,0 ^(N.S.)	26,9	25,0 ^(N.S.)	23,4
Máx.	42,2	43,4	22,5	20,5	33,4	29,4	28,0	26,1
Mín.	29,1	36,9	6,0	4,0	24,9	23,9	22,0	18,0
NObs.	16	15	16	15	16	15	16,	15
CV (%)	9,1	4,5	34,7	35,1	7,6	7,3	8,7	12,1

⁽¹⁾ (N.S.) = médias não diferem entre si pelo teste de Wilcoxon a 5% (†) e 1% (††) de probabilidade; n.s. = não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (Proc GLM) a 5% e 1% de probabilidade. Sendo: NObs.= número de observações; CV% = coeficiente de variação.

Ainda conforme Fulford (1988), mudanças súbitas de temperatura do processo de biodigestão de mais de 5°C em um dia podem prejudicar o mesmo interromper a atividade de bactérias metanogênicas, resultando na formação de ácidos voláteis não digeridos.

O pH dos efluentes brutos obtidos na primeira caixa da FSB_{sal.} foi significativamente mais alcalino (8,16) ($p < 0,05$) do que aqueles gerados a partir de água doce (7,82), evidenciando a influência das características da água utilizada no vaso sanitário para a qualidade dos efluente brutos (Tabelas 1 e 3). Nos dois sistemas, o pH do efluente bruto apresentou valores dentro ou próximos àqueles considerados adequados para um bom desempenho das bactérias metanogênicas (pH entre 6 e 8) (Campos et al., 2004), sendo que o pH da FSB_{doce} foi o mais próximo à faixa considerada ideal para digestão anaeróbica (6,8 a 7,2 conforme Ward et al., 2008). Com o processo de biodigestão, o pH dos efluentes tratados aumentou para valores médios de 8,20 e 8,30 em FSB_{doce} e FSB_{sal.}, respectivamente, não diferindo estatisticamente entre si a $p < 0,05$. Tais valores são similares aos obtidos por Da Silva et al. (2007) em efluentes de FSBs oriundos de água doce e encontram-se dentro da faixa considerada normal para águas de irrigação (6,5 a 8,4) (AYERS; WESTCOT, 1994). O aumento de pH durante o processo de biodigestão é esperado em função da transformação dos ácidos contidos nos efluentes em produtos gasosos, e da degradação de proteínas e uréia em meio anaeróbico, gerando amônia (NH₃) que, em meio aquoso, passa para a forma de hidróxido de amônio (Da Silva et al., 2007). Tais processos também contribuem para a estabilização do pH no bioreator (KHALID et al., 2011).

Tabela 3. Valores médios, máximos e mínimos de pH e condutividade elétrica (CE) obtidos nos efluentes bruto (caixa 1) e tratado (caixa 4) de fossas sépticas biodigestoras, gerados a partir de água doce (FSB_{doce}) e salobra (FSB_{sal.}), entre abril de 2009 e julho de 2010⁽¹⁾

Local		pH		CE (dS m ⁻¹)	
		Bruto	Tratado	Bruto	Tratado
FSB _{doce}	Média	7,82B**b*	8,20 ^(NS) a	3,69 ^(NS) (n.s.)	3,50 B* (n.s.)
	(máxima)	(8,06)	(8,34)	(4,31)	(3,88)
	(mínima)	(7,43)	(8,08)	(3,12)	(2,75)
	(CV%)	(3,10)	(1,35)	(12,58)	(11,82)
	(NObs.)	(5,00)	(6,00)	(5,00)	(6,00)
FSB _{sal.}	Média	8,16 Ab	8,30 ^(NS) a	4,60 ^(NS) (n.s.)	4,66 A (n.s.)
	(máxima)	(8,36)	(8,43)	(6,37)	(6,37)
	(mínima)	(8,05)	(8,12)	(2,24)	(2,76)
	(CV%)	(1,24)	(1,30)	(32,84)	(25,28)
	(NObs.)	(7,00)	(7,00)	(7,00)	(7,00)

⁽¹⁾Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas, na vertical, e minúsculas, na horizontal, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (Proc GLM) a 5% (*) e 1% (**) de probabilidade; N.S. = não significativo a 5% de probabilidade (maiúscula na vertical e minúscula na horizontal). Sendo: NObs.= número de observações; CV% = coeficiente de variação.

A condutividade elétrica dos efluentes brutos, embora numericamente superior na FSB_{sal.} (4,60 dS m⁻¹), não diferiu estatisticamente de FSB_{doce} (3,69 dS m⁻¹) (p<0,05) (Tabela 3). Já nos efluentes tratados a condutividade elétrica em FSB_{sal.} (4,66 dS m⁻¹) foi significativamente superior (p<0,05) à FSB_{doce} (3,50 dS m⁻¹), indicando uma relativa menor concentração de sais deste último e, portanto, menor potencial de salinização do solo com seu uso. Ambos os valores de CE dos efluentes tratados estão próximos aos obtidos por Da Silva et al. (2007) em efluentes oriundos de água doce e dentro da faixa considerada como restrição de uso severa (> 3,0) quando utilizados os critérios usualmente empregados para avaliar a qualidade das águas para fins de irrigação (Ayes & Wescot, 1994). É importante salientar que, pela alta salinidade do efluente, ele pode ser indicado para uso como biofertilizante e não como água para irrigação.

Redução de DBO, DQO e SV

Nas duas FSBs avaliadas houve grande variação dos valores de demanda bioquímica (DBO_{5,20}) e química de oxigênio (DQO) nos efluentes brutos, bem como de sólidos suspensos (totais, fixos e voláteis) (Tabelas 4 e 5). A FSB_{doce} apresentou maior DBO_{5,20} e DQO (733,0 e 2.136,0 mg O₂ L⁻¹, respectivamente) em relação à FSB_{sal.} (220,7 e 880,3 mg O₂ L⁻¹, respectivamente) (p<0,05); já os demais parâmetros não apresentaram diferenças significativas (p<0,05) entre os dois sistemas. Verifica-se também que as concentrações de sólidos suspensos nos efluentes brutos dos dois sistemas tiveram a principal contribuição de material volátil (média de 76% e 64% do total de sólidos na FSB_{doce} e FSB_{sal.}, respectivamente) (Tabela 5), conforme geralmente se observa na composição de esgotos sanitários (SANTOS et al., 2004). As razões de biodegradabilidade (relação DBO/DQO) dos efluentes brutos obtidos nos dois sistemas avaliados foram similares (p<0,05) (média de 0,38 e 0,28 na FSB_{doce} e FSB_{sal.}, respectivamente), também próximos à faixa de valores obtida para esgotos domésticos (entre 0,33 e 0,49) observados por Silva & Mendonça (2003), indicando que os efluentes brutos possuem razão de biodegradabilidade de material biodegradável (em torno de 0,3) (MORAIS et al., 2006). Os valores elevados de DBO_{5,20} e DQO encontrados em alguns períodos de coleta nos efluentes brutos das duas FSBs, bem como a obtenção de maiores valores no sistema FSB_{doce} podem estar associados às diferenças nas datas de inoculação mensal de esterco bovino fresco, que possuem elevada carga orgânica (CAMPOS et al., 2002), à obtenção de amostras em diferentes fases do processo de biodigestão, à intensidade de uso do vaso sanitário, à possíveis mudanças sazonais na alimentação humana, bem como a diferença de microclima dos locais de estudo, o que pode ter favorecido o processo de biodigestão na FSB_{sal.}.

Tabela 4. Valores médios, máximos e mínimos de DBO_{5,20} e DQO obtidos nos efluentes brutos (caixa 1) e tratados (caixa 4), e eficiência relativa da DBO e DQO (DBOr e DQOr) de efluentes de fossas sépticas biodigestoras, gerados a partir de água doce (FSB_{doce}) e salobra (FSB_{sal.}), entre abril de 2009 e julho de 2010⁽¹⁾

Sist.		DBO _{5,20} (mg O ₂ L ⁻¹)		DBOr	DQO (mg O ₂ L ⁻¹)		DQOr ⁽²⁾	DBO _{5,20} /DQO	
		Bruto	Tratado	(%)	Efl.Bruto	Efl.Trat.	(%)	Efl.Bruto	Efl.Trat.
	Média	733,0 ^(†)	59,2 ^{n.s.}	87,1 ^(N.S.)	2.136,0 ^(†)	443,0 ^{n.s.}	74,3 ^(N.S.)	0,38 ^{n.s.}	0,14 ^{n.s.}
FSB doce	(máx.)	(1.500,0)	(90,0)	(98,0)	(3600,0)	(625,0)	(90,0)	(0,59)	(0,25)
	(mín.)	(260,0)	(30,0)	(69,2)	(1062,0)	(347,0)	(54,7)	(0,19)	(0,06)
	CV%	(62,8)	(42,9)	(12,5)	(60,7)	(26,3)	(20,2)	(45,25)	(53,19)
	(NObs.)	(5)	(6)	(5)	(5)	(6)	(5)	(5)	(6)
FSB sal.	Média	220,7	58,4	64,8	880,3	396,6	44,0	0,28	0,15
	(máx.)	(440,0)	(100,0)	(87,7)	(2220,0)	(512,0)	(81,7)	(0,40)	(0,30)
	(mín.)	(100,0)	(24,0)	(20,0)	(300,0)	(212,0)	(0,0)	(0,19)	(0,08)
	(CV%)	(55,7)	(48,4)	(42,8)	(73,1)	(27,3)	(76,1)	(30,16)	(50,21)
	(NObs.)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)

⁽¹⁾ (N.S.) = médias na vertical não diferem pelo teste de Wilcoxon a 5%; † e †† = significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste de Wilcoxon; n.s.= médias na vertical não diferem pelo teste de Tukey-Kramer (Proc GLM) a 5% de probabilidade. Sendo: CV%= coeficiente de variação; NObs.= número de observações.

⁽²⁾ Foram considerados valores negativos = 0

Tabela 5. Valores médios, máximos e mínimos de sólidos suspensos totais (SST), fixos (SSF) e voláteis (SSV) obtidos nos efluentes brutos (caixa 1) e tratados (caixa 4) de fossas sépticas biodigestoras gerados a partir de água doce (FSB_{doce}) ou salobra (FSB_{sal.}), entre abril de 2009 e julho de 2010⁽¹⁾

Sistema		SST (mg L ⁻¹)		SSF (mg L ⁻¹)		SSV (mg L ⁻¹)	
		Bruto	Tratado	Bruto	Tratado	Bruto	Tratado
FSB _{doce}	Média	418,2(N.S.)	151,6 (N.S.)	99,6(N.S.)	31,9 (N.S.)	318,6(N.S.)	119,7(N.S.)
	(máxima)	(813,3)	(357,5)	(382,5)	(85,0)	(790,0)	(272,5)
	(mínima)	(150,0)	(73,3)	(12,2)	(12,7)	(107,5)	(41,3)
	(CV%)	(60,2)	(70,0)	(160,2)	(86,4)	(86,7)	(69,2)
	(NObs.)	(5)	(6)	(5)	(6)	(5)	(6)
FSB _{sal.}	Média	268,4	89,6	95,5	31,9	172,9	57,7
	(máxima)	(875,6)	(135,0)	284,4	(66,7)	(591,1)	(95,0)
	(mínima)	(119,2)	(8,0)	33,0	(0,7)	(76,9)	(7,3)
	CV%	(101,3)	(56,7)	96,7	(81,7)	(107,3)	(52,2)
	(NObs.)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)

⁽¹⁾ (N.S.)= médias na vertical não diferem pelo teste de Wilcoxon a 5%. Sendo: CV= coeficiente de variação; NObs.= número de observações.

Com o processo de biodigestão, verificou-se nos efluentes tratados uma significativa redução da carga orgânica (DBO_{5,20}, DQO, DBOr, DQOr e relação DBO/DQO), bem como de sólidos suspensos (SST, SSF, SSV), sendo que para todos estes parâmetros não houve diferença entre as duas FSBs a $p < 0,05$, ainda que na FSB_{doce} os valores médios obtidos sejam numericamente superiores (Tabelas 4 e 5). Na FSB_{doce}, a eficiência relativa do sistema na decomposição bioquímica da matéria orgânica dos efluentes (DBOr) variou de 69,2% (na primeira amostragem em abril/2009) a 98,0%, e a eficiência relativa na decomposição química da matéria orgânica (DQOr) variou de 54,7% (na primeira amostragem em abril/2009) a 90,0%; já na FSB_{sal.}, a eficiência relativa do sistema na decomposição bioquímica dos efluentes variou mais, de 20% (abril/2010) a 87,7% (julho/2009), e a eficiência relativa na decomposição química da matéria orgânica dos efluentes variou de 0,0% (setembro/2009 e abril/2010) a 81,7% (janeiro/2010). Em algumas épocas do ano, os resultados de DBO e DQO de efluentes sanitários brutos oriundos da primeira caixa de biodigestão foram próximos aos dos efluentes tratados (quarta caixa, de armazenamento), fato que pode ser atribuído à entrada reduzida de carga orgânica na primeira caixa, ou ao maior tempo de ação do inoculo (esterco fresco bovino) no período de amostragem, favorecendo a obtenção, na primeira caixa, de um material em processo mais avançado de biodigestão. Assim, os valores que indicam a baixa eficiência de redução da carga orgânica em alguns períodos de coleta podem não representar a realidade.

Nos efluentes tratados obtidos nos dois sistemas, os valores médios de DQO (443,0 mg L⁻¹ na FSB_{doce} e 396,6 mg L⁻¹ na FSB_{sal.}) e de sólidos suspensos totais, fixos e voláteis (151,6, 31,9 e 119,7 mg L⁻¹ em FSB_{doce}, e 89,6, 31,9 e 57,7 mg L⁻¹ em FSB_{sal.})

foram similares aos observados por Da Silva et al. (2007), em efluentes tratados em FSBs também inoculados com esterco bovino. Já os valores médios de DBO_{5,20} e da relação DBO/DQO obtidos nos dois sistemas (59,2 e 58,4 mg L⁻¹, 0,14 e 0,15 na FSB_{doce} e FSB_{sal.}, respectivamente) estão abaixo dos observados pelos mesmos autores, indicando maior estabilidade do produto final nas duas fossas sépticas biodigestoras instaladas nas condições da Borda Oeste do Pantanal. Isto pode ser atribuído à maior velocidade de degradação da matéria orgânica pela ação microbiana, favorecida pelas maiores temperaturas da região.

Conclusões

1. Os efluentes tratados gerados nas fossas sépticas biodigestoras com o uso de águas doces e salobras, nas condições da Borda Oeste do Pantanal, são semelhantes no tocante aos parâmetros observados, excetuando-se a condutividade elétrica, superior nas condições de água salobra.
2. O sistema, nas duas condições avaliadas, foi eficiente na redução e estabilização da matéria orgânica das excretas humanas, permitindo reduções significativas da carga orgânica oriundo das excretas humanas;
3. Nas duas condições avaliadas a fossa séptica biodigestora pode contribuir para a redução da carga orgânica no ambiente se utilizada para evitar a disposição de esgoto bruto a céu aberto ou em fossas rudimentares.

Agradecimentos

Nossos sinceros agradecimentos aos funcionários da Embrapa Pantanal e às famílias que receberam a fossa séptica biodigestor no âmbito desta pesquisa, pelo valioso auxílio na execução do projeto.

Ao CNPq (Processo 55.2625/2007 - 8) e à Embrapa – Macroprograma 6 (Apoio ao Desenvolvimento da Agricultura Familiar e à Sustentabilidade do Meio Rural) e Macroprograma 4 (Transferência de Tecnologia e Comunicação Empresarial), pelo suporte financeiro.

Referências bibliográficas

APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 17th ed. Washington: APHA/AWWA/WPCF, 1998. 1268p.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Water quality for agriculture**. Rome: FAO, 1994, 174p. (Paper 29, rev. 1)

CAMPOS, A.T.; FERREIRA, W.A.; PACCOLA, A.A.; DE LUCAS JÚNIOR, J.; ULBANERE, R.C.; CARDOSO, R.M., CAMPOS, A.T. Tratamento biológico aeróbio e reciclagem de dejetos de bovinos em sistema intensivo de produção de leite. **Ciência e Agrotecnologia**, v.26, n.2, 2002, p. 426-438.

CAMPOS, C.M.M.; LUIZ, F.A.R.; BOTELHO, C.G.; DAMASCENO, L.H.S. Avaliação da eficiência do reator UASB tratando efluente de laticínio sob diferentes cargas orgânicas. **Ciência e Agrotecnologia**, v.28, n.6, 2004, p. 1376-1384.

CARDOSO, E.L.; SPERA, S.T.; PELLEGRIN, L.A.; SPERA, M.R.N. Solos do assentamento Mato Grande - Corumbá - MS: caracterização, limitações e aptidão agrícola. **Documentos Embrapa Pantanal**, n.27, 2002a, p. 1-36.

CARDOSO, E.L.; SPERA, S.T.; PELLEGRIN, L.A.; SPERA, M.R.N. Solos do Assentamento Tamarineiro II, Corumbá - MS: caracterização e potencial agrícola. **Documentos Embrapa Pantanal**, n.33, 2002b, p. 1-34.

DA COSTA, C.C.; GUILHOTO, J.M. Saneamento rural no Brasil: impacto da fossa séptica biodigestora. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.1, n.1, 2015.

DA SILVA, A.P.; DE MAGALHÃES CÂMARA, V.; LIMA, M.I.M.; ROHLFS, D.B. Investigação da ocorrência de elevado número de intoxicação de origem não esclarecida no município de Porto Seguro, Bahia. **Cadernos de Saúde Coletiva**, v.19, n.4, p.493-497, 2011.

DA SILVA, W.T.L.; FAUSTINO, A.S.; NOVAES, A.P. Eficiência do processo de biodigestão em fossa séptica biodigestora inoculada com esterco de ovino. **Documentos Embrapa Instrumentação Agropecuária**, n.34, 2007, p. 1-20.

FRIDERICHS, B. A.; ABREU N. F.; CALHEIROS, D. F.; CAMPOLIN, A. I.; SOARES, M. T. S. Qualidade da água utilizada para consumo em assentamentos rurais de Corumbá, MS. Circular Técnica Embrapa Pantanal, n.96, 2010, p. 1-5.

FULLFORD, D. **Running a biogás programme: a handbook**. London: Intermediate Technology Publications, 1988, 187p.

GALDINO, S.; MELO, E.C. Recursos hídricos. In: SILVA, J.S.V. (Org) **Zoneamento ambiental da Borda Oeste do Pantanal: maciço do Urucum e adjacências**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000, p.83-109.

GALINDO, N.; DA SILVA, W.T.L.; NOVAES, A.P.; GODOY, L.A.; SOARES, M.T.S.; GALVANI, F. Perguntas e respostas: fossa séptica biodigestora. **Documentos Embrapa Instrumentação**, n.49, 2010, p. 1-26.

GRAN, G. Determination of the equivalence point in potentiometric titrations. Part II. **Analyst**, v.77, 1952, p. 661-671.

KHALID, A.; ARSHAD, M.; ANJUM, M.; MAHMOOD, T.; DAWSON, D. The anaerobic digestion of solid organic waste. **Waste Management**, v.31, 1737–1744, 2011.

MORAIS, J.L.; SIRTORI, C.; PERALTA-ZAMORA, P.G. Tratamento de chorume de aterro sanitário por fotocatalise heterogênea integrada a processo biológico convencional. **Química Nova**, v.29, n.1, 2006, p. 20-23.

NOVAES, A.P.; SIMÕES, M.L.; MARTIN NETO, L.; CRUVINEL, P.E.; SANTANA, A.; NOVOTNY, E.H.; SANTIAGO, G.; NOGUEIRA, A.R.A. Utilização de uma fossa séptica biodigestora para melhoria do saneamento rural e desenvolvimento da Agricultura Orgânica. Campinas: Embrapa-CNPEDIA, 2002. 5p. (**Embrapa-CNPEDIA. Comunicado-Técnico, 46**)

SANTOS, H.R.; PRADO, G.S.; VIDAL, C.M.S.; MORUZZI, R.B.; CAMPOS, J.R. Aplicabilidade das técnicas de determinação de tamanho de partículas em sistemas de tratamento de água e esgoto sanitário. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 9, n. 4, 2004, p. 291-300.

SILVA, S.R.; MENDONÇA, A.S.F. Correlação entre DBO e DQO em esgotos domésticos para a região da Grande Vitória – ES. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, vol. 8, n.4, 2003, p. 213-220.

SOARES, M.T.S.; CALHEIROS, D.; GALVANI, F.; FEIDEN, A.; CAMPOLIN, A.I.; DA SILVA, W.T.L. (submetido). Eficiência de fossa séptica biodigestora na redução de parâmetros biológicos em esgoto originado de água salobra ou doce, na Borda Oeste do Pantanal. **Cadernos de Agroecologia**.

SORIANO, B. Climatologia. In: SILVA, J.S.V. (Org) **Zoneamento ambiental da Borda Oeste do Pantanal: maciço do Urucum e adjacências**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000, p. 69-81.

WARD, A.J.; HOBBS, P.J.; HOLLIMAN, PETER. J.; JONES, D.L. Optimization of the anaerobic digestion of agricultural resources. **Bioresource Technology**, v.99, 2008, p. 7928-7940.