

Tratamento de esgoto na zona rural visando ao reúso agrícola no semiárido brasileiro

Wastewater treatment in rural area aiming the agricultural reuse in the brazilian semi-arid

• **Data de entrada:**
02/06/2019


• **Data de aprovação:**
18/06/2020

Mateus Cunha Mayer¹ | Salomão de Sousa Medeiros¹ | Mariana Medeiros Batista² |
Rodrigo Andrade Barbosa¹ | George Rodrigues Lambais¹ | Silvânia Lucas dos Santos³ |
Adrianus van Haandel^{4*}

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2021.023>


ORCID ID


Mayer MC  <https://orcid.org/0000-0002-4687-0883>


Medeiros SS  <https://orcid.org/0000-0003-0599-1483>

Batista MM  <https://orcid.org/0000-0002-4492-8543>

Barbosa RA  <https://orcid.org/0000-0002-0499-2559>

Lambais GR  <https://orcid.org/0000-0001-9141-7466>

Santos SL  <https://orcid.org/0000-0002-6905-3966>

Haandel A  <https://orcid.org/0000-0002-9937-6715>

Resumo

O objetivo do trabalho foi propor e avaliar um sistema de tratamento de esgoto e de reúso agrícola aplicado em área rural, que permitisse contribuir com a melhoria das condições de esgotamento sanitário e incrementar a disponibilidade de água para uso na irrigação. O sistema de tratamento foi operado em escala unifamiliar, sendo composto de caixa de gordura, tanque de equalização, reator UASB e lagoas de polimento. O efluente tratado era encaminhado ao sistema de reúso, constituído por reservatório, motobomba e sistema de irrigação localizada, fertirrigando uma cultura do caju. Os resultados demonstraram que o sistema de tratamento operou com uma eficiência média de remoção de DBO_{5,20} de 74% e obteve efetividade na remoção de patógenos, visto que o efluente produzido apresentou um valor médio de *E. coli* de $2,2 \cdot 10^4$ NMP/100 mL e ausência de ovos de helmintos, atendendo às recomendações sanitárias da Organização Mundial da Saúde (OMS) para o uso pretendido. Preservaram-se também as concentrações iniciais de nitrogênio e fósforo, fundamentais para a nutrição da cultura explorada. O sistema de reúso incrementou a disponibilidade de água na propriedade em 40 m³/ano, reduzindo os gastos com adubação mineral e com a compra de água.

Palavras-chave: Semiárido. Propriedade rural. Reúso agrícola. Qualidade higiênica.

Abstract

*The objective of the work was to propose and evaluate a system of wastewater treatment and agricultural reuse applied in rural areas that would contribute in the improvement of the conditions of sanitary sewage and to increase the availability of water for agricultural use. A wastewater treatment system was operated at single family scale, composed of a grease box, equalization tank, UASB reactor and polishing ponds. The reuse system consisted of a reservoir, motor pump and localized irrigation system, fertigating the cashew crop. The results showed that the treatment system operated with an average efficiency of BOD removal of 74% and effectiveness in removing pathogens, since the effluent produced had an average value of *E. coli* of $2.2 \cdot 10^4$ NMP/100 mL and no helminth eggs, complying with the World Health Organization (WHO) health recommendations for the intended use. The initial concentrations of*

¹ Instituto Nacional do Semiárido (INSA) - Campina Grande - Paraíba - Brasil.

² Universidade Federal do Amazonas - UFAM - Itacoatiara - Amazonas - Brasil

³ Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil.

⁴ Universidade Federal de Campina Grande - UFCG - Campina Grande - Paraíba - Brasil.

* **Autor correspondente:** salommao@gmail.com.

nitrogen and phosphor, which are essential for the nutrition of the explored culture, were preserved. The reuse system increased the availability of water on the property by 40 m³/year, reducing expenses with mineral fertilizer and with the purchase of water.

Keywords: Semiárid. Rural property. Agricultural reuse. Hygienic quality.

1 INTRODUÇÃO

A falta de saneamento tem implicações imediatas sobre a saúde e a qualidade de vida das populações urbana e rural. A ausência de água tratada tem impacto direto sobre a saúde pública, pois aumenta a incidência de infecções gastrointestinais. A carência de serviços de coleta e tratamento de esgoto, mesmo quando há o acesso à água tratada, é responsável por outra parte das infecções gastrointestinais e doenças transmitidas por mosquitos e animais.

No Semiárido brasileiro, a problemática do saneamento básico pode ser percebida pelo número de sedes municipais não atendidas com o esgotamento sanitário. Estudos realizados por Medeiros et al. (2014) apontam que em 2011, das 1.135 sedes municipais, apenas 21% possuíam sistema de coleta de esgoto sanitário e aproximadamente 11 milhões de habitantes das áreas urbanas lançavam seus dejetos em fossas, sumidouros, valas a céu aberto e/ou diretamente nos corpos hídricos, evidenciando a ausência de investimentos em saneamento e a exposição da população às diversas doenças infecciosas e parasitárias.

A área rural do Semiárido possui aproximadamente 1,83 milhão de estabelecimentos agrícolas, sendo 79% formados por agricultores familiares (MEDEIROS, 2018), com uma área média de 15 hectares por propriedade. Nessas áreas, a infraestrutura de saneamento básico é ainda mais precária e/ou inexistente quando comparada ao meio urbano, o que torna a universalização dos serviços de água e esgoto um desafio, vistas a dispersão espacial da população rural e a escassez de fontes de água segura e de boa qualidade.

Quanto ao abastecimento rural, registra-se o avanço ocorrido nas últimas décadas devido ao aproveitamento de água de chuva. Segundo a Articulação no Semiárido Brasileiro (ASA, 2019), foram instaladas 619.943 cisternas (16 mil litros) para armazenamento de água de chuva para consumo humano, beneficiando diretamente uma população de 2,5 milhões de pessoas, por meio do Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC), financiado pelo Governo Federal. O Programa Água Doce (PAD) também tem contribuído para o acesso a água às populações rurais do Semiárido, pelo processo de dessalinização de água salobra. Atualmente são 743 sistemas de dessalinização, com capacidade de produzir cerca de 2 milhões de litros de água potável por dia, e beneficiar aproximadamente 200 mil pessoas (MDR, 2020).

Contudo, a infraestrutura de esgotamento sanitário rural não avançou. Informações da Funasa (2020) apontam que na Caatinga, bioma que predomina no Semiárido brasileiro, a fossa rudimentar (53,7%) é o principal sistema de esgotamento adotado pelos agricultores, ratificando a precariedade do sistema no ambiente rural.

Na literatura especializada, tem-se registros de várias soluções tecnológicas de tratamento de esgoto que foram adaptadas para atendimento às populações rurais difusas, configurando-se em soluções unifamiliares e descentralizadas. Dentre as alternativas propostas, destacam-se a fossa seca, a fossa séptica biodigestora, a bacia de evapotranspiração/círculo de bananeiras, o reator anaeróbio de fluxo ascendente e a manta de lodo (UASB, do inglês, *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) unifamiliar, o tanque séptico, o filtro

anaeróbio, o filtro de areia e o biodigestor (TONETTI et al., 2018). Entretanto, esses sistemas apresentam limitações quando se pretende solucionar duas necessidades básicas das famílias agricultoras do Semiárido brasileiro, que são a falta de esgotamento sanitário (coleta e tratamento) e o aumento da disponibilidade de água para uso na agricultura.

Nesse contexto, o Instituto Nacional do Semiárido (INSA), Unidade de Pesquisa do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), em parceria com a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e o Programa de Aplicação de Tecnologias Apropriadas (PATAC), desenvolveu este trabalho com o objetivo de propor e avaliar um sistema de tratamento de esgoto rural e de reúso agrícola que permita colaborar com melhorias no esgotamento sanitário (coleta e tratamento). Busca-se ainda o incremento da disponibilidade de água para uso agrícola, trazendo um ciclo virtuoso de desenvolvimento sustentável, baseado na melhoria da saúde da população rural, na conservação dos recursos hídricos e ambientais e no aumento da produção agrícola e da renda dos agricultores.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A proposta do sistema de tratamento de esgoto e de reúso agrícola apresentada neste trabalho foi concebida, implantada e avaliada pelo Instituto Nacional do Semiárido (INSA), em parceria com a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e o Programa de Aplicação de Tecnologias Apropriadas (PATAC). Para tal, implantou-se uma unidade piloto no Assentamento São Domingos, zona rural do município de Cubati, Paraíba, para atender a uma família com cinco pessoas. Na concepção do sistema, consideraram-se os requisitos de: i) facilidade de instalação, operação e manutenção, ii) estabilidade e eficiência operacional, iii) dimensões compactas e iv) custo acessível.

O sistema de tratamento de esgoto e de reúso aplicado em área rural (Fig. 1) objetivou o cumprimento de duas necessidades básicas das famílias agricultoras do Semiárido brasileiro: a falta de esgotamento sanitário (coleta e tratamento) e o incremento da disponibilidade de água para uso agrícola. De forma complementar, a água de reúso oferece ainda um aporte de nutrientes ao solo, contribuindo com a fertirrigação das culturas e a reciclagem dos nutrientes.

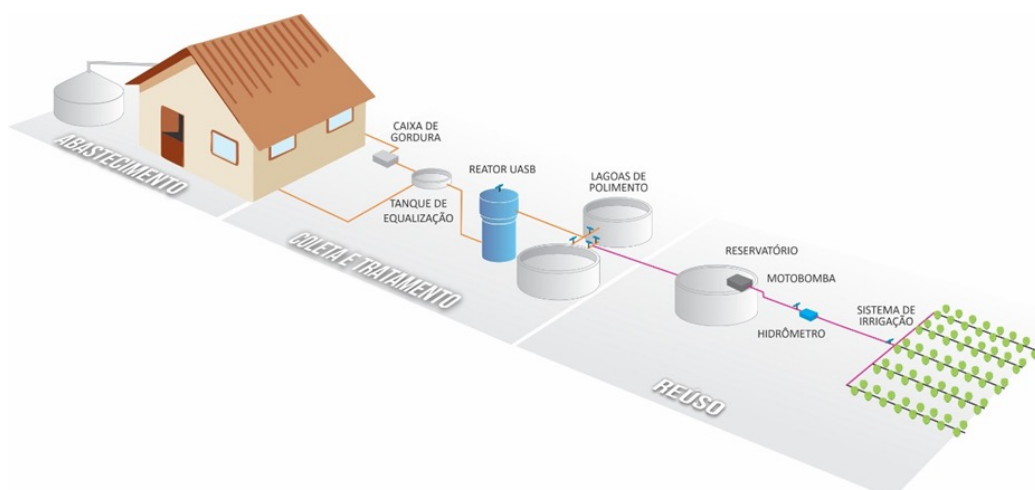


Figura 1 - Layout do sistema de tratamento de esgoto rural e de reúso agrícola.

O sistema de coleta e tratamento do esgoto bruto era composto por uma caixa de gordura (31 L) e pelo tanque de equalização (1.670 L), ambos dimensionados com base na NBR 8.160/99 (ABNT, 1999); um reator UASB (volume = 250 L; capacidade de tratamento = $1\text{m}^3/\text{d}$; TDH = 6 horas), baseado na proposta de van Handel e Lettinga (1994) e Santos et al. (2017); e duas lagoas de polimento (diâmetro = 1,5 m; profundidade útil máxima = 0,8 m; volume útil = 1.413 L cada) operando em regime de batelada sequencial. As lagoas foram dimensionadas conforme recomendações de Cavalcanti (2009), visando ao decaimento de bactérias do grupo coliformes, a minimização de perda de água por evaporação e a manutenção dos nutrientes; para fins de projeto, considerou-se uma vazão de esgoto em torno de $6\text{ m}^3/\text{mês}$ e um tempo de detenção hidráulica nas lagoas de aproximadamente 7 dias. Nesse sistema, o objetivo era a redução da carga orgânica, o alcance da segurança sanitária da água produzida e a preservação de nutrientes ($\text{NH}_4 - \text{N}$ e P), fundamentais para a nutrição das culturas exploradas.

No sistema de reúso foram previstos um reservatório para armazenamento do efluente tratado, com volume total de 2.650 L; uma motobomba de 0,50 cv; e um sistema de irrigação localizada,

do tipo xique-xique, fertirrigando uma área de 1.750 m^2 , explorado com a cultura do caju no espaçamento $5,0 \times 2,5\text{ m}$, totalizando 175 plantas. A finalidade desse sistema foi o armazenamento da água de reúso produzida e sua aplicação segura e eficiente as plantas.

O desempenho do sistema de tratamento foi avaliado por meio da eficiência de remoção de matéria orgânica e de organismos patogênicos, bem como da manutenção dos níveis de nutrientes. Sendo assim, realizou-se o monitoramento da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), pH, *Escherichia coli* (*E. coli*), ovos de helmintos, Nitrogênio amoniacal (N-NH_4^+) e Fósforo total (P). O monitoramento foi realizado entre outubro de 2017 e outubro de 2019, com coletas efetuadas sempre na segunda quinzena do mês (Tabela 1), e com amostragens do esgoto bruto (afluente), no tanque de equalização, e da água de reúso produzida (efluente), no reservatório. Essas amostras foram coletadas em frascos de polietileno e armazenadas em recipiente refrigerado para transporte até o laboratório. Já as amostras para análises *E. coli* foram coletadas em saco Thio-bag Whirl-Pak de 100 mL, com Tiosulfato de Sódio 3.38 Oz. As amostra para quantificação dos ovos de helminto foram coletadas em recipientes de polietileno rígido com volume de 10 litros.

Tabela 1 - Parâmetros monitorados e número de amostras coletas durante o monitoramento.

Variável	Nº de amostras
Demanda bioquímica de oxigênio ($\text{DBO}_{5,20}$)	20
pH	14
<i>Escherichia coli</i>	19
Ovos de helminto	5
Nitrogênio amoniacal (N-NH_4^+)	19
Fosforo total (P)	15

A DBO e o Nitrogênio amoniacal foram determinados por titulometria, fósforo total, por espectrofotometria, pH, por meio de medição direta, *Escherichia coli*, pelo método de Colilert®, am-

bos conforme orientações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WEF, 2017). Os ovos de helmintos foram quantificados conforme metodolo-

gia de Bailenger (1979), modificada por Ayres e Mara (1996).

Foi monitorado, também, o volume de água produzido e a quantidade de água aplicada na área de reúso, por meio da instalação de um hidrômetro após o sistema de bombeamento. De posse das concentrações de nutrientes (N-NH_4^+ e P) contidas no efluente e da quantidade de água aplicada às culturas, estimaram-se os aportes de nutrientes às plantas.

Os resultados das variáveis monitoradas foram interpretados por meio de uma estatística descritiva por meio dos valores médios (média aritmética ou geométrica), máximos e mínimos, desvio padrão, coeficiente de variação e intervalo de confiança.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O esgoto bruto produzido pela família (Tabela 2) apresentou uma demanda bioquímica de oxigênio ($\text{DBO}_{5,20}$) média elevada, de 1.221 mg/L. Vale destacar que, devido às suas características intrínsecas, o esgoto doméstico rural é tipicamente mais concentrado do que o esgoto municipal. No presente trabalho constatou-se que o conteúdo orgânico do esgoto foi de cerca de três ve-

zes e meia superior ao encontrado (350 mg/L) no esgoto típico municipal (VON SPERLING, 2005; METCALF e EDDY, 2016). O sistema de tratamento foi capaz de reduzir a DBO a um valor médio de 288 mg/L, obtendo-se assim uma eficiência de 74%. O percentual de remoção alcançado na presente pesquisa foi compatível com os valores obtidos por Dias et al. (2014), 75%, Sousa et al. (2017), 64%, e Possmoser-Nascimento et al. (2014), 76%, quando utilizaram sistemas compostos de reator UASB e lagoa de polimento, operadas em fluxo contínuo, para o tratamento de esgoto sanitário municipal.

Analisando o comportamento dos valores da $\text{DBO}_{5,20}$ no afluente e efluente durante o período de monitoramento, observam-se variações superiores a 30% e menores do que 50% (coeficiente de variação) em torno da média. No afluente, a concentração máxima de $\text{DBO}_{5,20}$ alcançou o valor de 2.070 mg/L, enquanto a mínima, de 550 mg/L; no efluente, a oscilação foi entre 560 e 40 mg/L. Entretanto, o sistema de tratamento demonstrou robustez na remoção de matéria orgânica, sempre apresentando valores de eficiência iguais ou superiores a 60%, com exceção do primeiro mês de monitoramento (Fig. 2), quando o sistema ainda não se encontrava em estado estacionário.

Tabela 2 - Média aritmética, máximo e mínimo da demanda bioquímica de oxigênio ($\text{DBO}_{5,20}$) no afluente e no efluente durante o período de monitoramento

Descrição	$\text{DBO}_{5,20}$ (mg/L)			DP	CV (%)	IC (mg/L)
	Média	Máximo	Mínimo			
Afluente	1.221	2.070	550	389	31,86	1.221 ± 175
Efluente	288	560	40	141	48,96	288 ± 63
Eficiência (%)	74	-	-	-	-	-

$\text{DBO}_{5,20}$: demanda bioquímica de oxigênio; DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação e IC: intervalo de confiança.

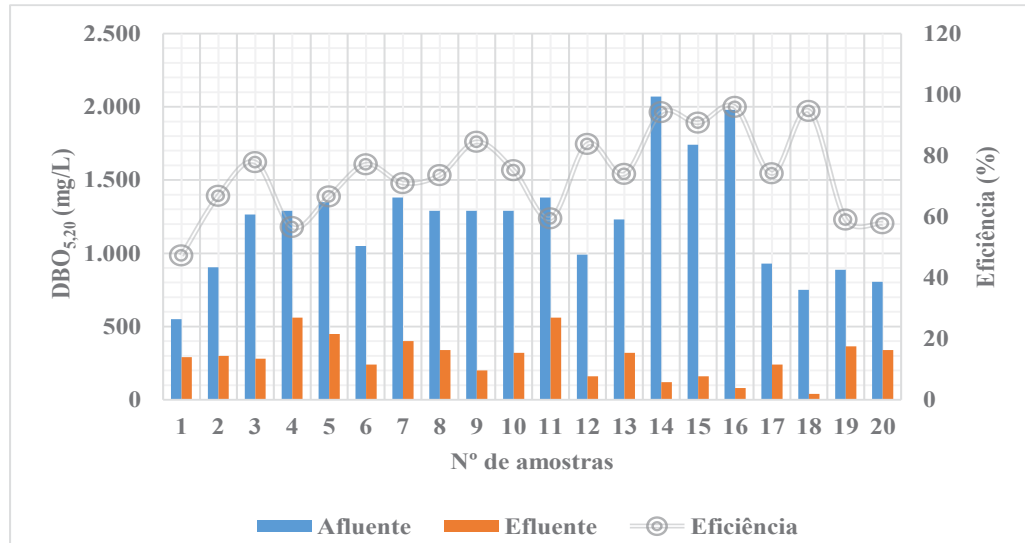


Figura 2 - Valores da demanda bioquímica de oxigênio (DBO_{5,20}) no afluente e no efluente e eficiência de remoção durante o período de monitoramento.

Os valores de pH do afluente e do efluente não tiveram oscilações expressivas durante o período de monitoramento, e apresentaram coeficientes de variação menor que 5% (Tabela 3). O valor médio do pH do afluente (7,3) manteve-se próximo da neutralidade, enquanto o do efluente (8,1) foi básico, medido

no reservatório. Esse aumento do pH é resultado de mecanismos e processos, em especial de ordem biológica, que se desenvolvem nas lagoas de polimento, onde ocorre a proliferação de microalgas que utilizam o dióxido de carbono disponível no meio durante a fotossíntese, o que resulta em aumento do pH.

Tabela 3 - Média aritmética, máximo e mínimo do pH no afluente e efluente, durante o período de monitoramento

Descrição	pH			DP	CV (%)	IC (mg/L)
	Média	Máximo	Mínimo			
Afluente	7,3	7,9	6,9	0,32	4,35	7,3 ± 0,1
Efluente	8,1	8,5	7,8	0,17	2,16	8,1 ± 0,1

pH: potencial hidrogeniônico; DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação e IC: intervalo de confiança.

Do ponto de vista sanitário, o sistema de tratamento demonstrou efetividade na remoção de patógenos, visto que o efluente produzido apresentou uma média geométrica de *E. coli* de $2,2 \cdot 10^4$ NMP/100 mL

(Tabela 4). Analisando-se os valores durante o período de monitoramento, foi possível detectar que em dois momentos o efluente produzido superou o valor médio, enquanto nos demais ficou abaixo (Fig. 3).

Tabela 4 - Média geométrica, máximo e mínimo de *Escherichia coli* no afluente e no efluente, durante o período de monitoramento.

Descrição	<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)		
	Média	Máximo	Mínimo
Afluente	7,3	7,9	6,9
Efluente	8,1	8,5	7,8

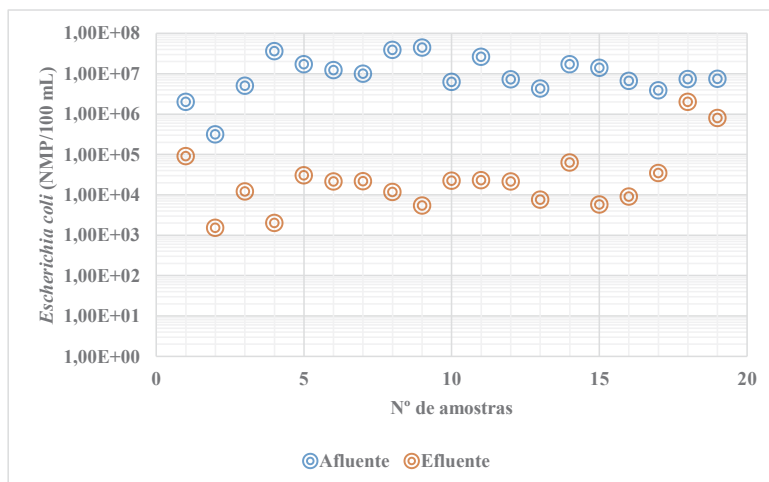


Figura 3 - Valores de *Escherichia coli* no afluente e no efluente durante o período de monitoramento.

No que tange à presença de ovos de helmintos no efluente, constatou-se ausência (0 ovos/100mL) em todas as análises realizadas. Segundo a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2006), águas de reúso que apresentam concentrações de *E. coli* $\leq 10^5$ NMP/100 mL e ≤ 1 ovo de helminto/L podem ser classificadas como uso irrestrito na agricultura, desde que a parte aérea das culturas exploradas se desenvolva distante do nível do solo, e o fornecimento de água às plantas seja feito por meio de sistema de irrigação, do tipo localizada. Nesse contexto, o sistema de tratamento de esgoto proposto neste estudo atendeu às recomendações sanitárias da OMS.

As concentrações médias de nitrogênio e fósforo foram, respectivamente, de 307 mg N-NH₄⁺/L e 58 mg.P/L. O tratamento pouco afetou a quantidade desses nutrientes no efluente final, removendo, em média, 38% de N-NH₄⁺ e 15% de P (Tabelas 5 e 6), o que confere ao sistema de tratamento uma característica desejável, já que o propósito é produzir água de reúso para fins agrícolas.

Sendo assim, a manutenção das concentrações finais de nitrogênio (183 mg.NH₄⁻N/L) e fósforo (48 mg.P/L) é positiva, pois, a depender do manejo de irrigação adotado, pode conferir melhorias na fertilidade do solo e contribuir com a nutrição das culturas exploradas (MEDEIROS et al., 2011; MARTINS et al., 2019).

Tabela 5 - Média aritmética, máximo e mínimo de Nitrogênio amoniacal (N-NH₄⁺) no afluente e no efluente, durante o período de monitoramento.

Descrição	N-NH ₄ ⁺ (mg/L)			DP	CV (%)	IC (mg/L)
	Média	Máximo	Mínimo			
Afluente	307	431	157	64	20,95	307 ± 29
Efluente	183	302	93	54	29,34	183 ± 24
Eficiência (%)	38	-	-	-	-	-

NH₄⁻ N: amônia; DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação e IC: intervalo de confiança.

Tabela 6 - Média aritmética, máximo e mínimo de fósforo total (P) no afluente e no efluente, durante o período de monitoramento.

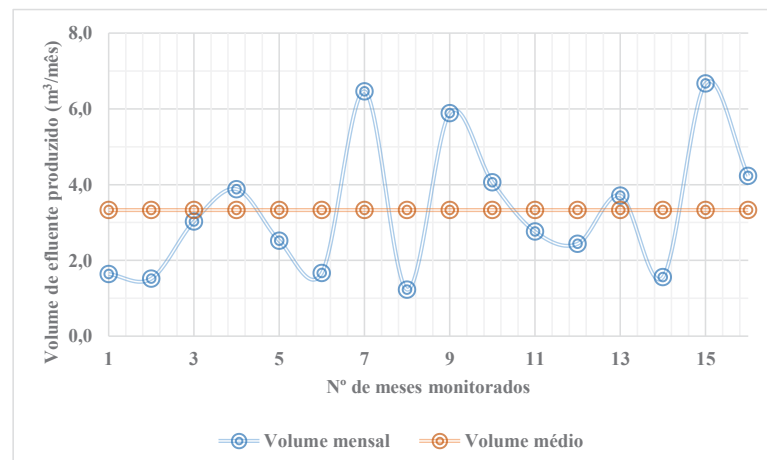
Descrição	P (mg/L)			DP	CV (%)	IC (mg/L)
	Média	Máximo	Mínimo			
Afluente	58	92	38	21	35,60	58 ± 9
Efluente	48	75	30	15	31,62	48 ± 7
Eficiência (%)	15	-	-	-	-	-

P: fósforo total; DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação e IC: intervalo de confiança.

O volume de água de reúso produzido ao final do tratamento alcançou um valor médio de 3,30 m³/mês (Fig. 4), permitindo um acréscimo na disponibilidade hídrica da propriedade de 40 m³/ano. O volume de água de reúso ora apresentado se refere ao quantitativo medido pelo hidrômetro instalado na saída do reservatório, correspondendo, portanto, ao valor efetivamente utilizado na irrigação. Ressalta-se que esse valor é inferior ao valor de projeto (6m³/mês), uma vez que a produção de esgoto não é constante na residência, apresentando variações, seja sazonais, mensais e/ou diárias, além de que existem perdas de água por evaporação nas lagoas. Ainda assim, esse volume possibilitou uma aplicação média mensal

de 19 L por planta, em um pomar com 175 cajueiros. Convém destacar que essa fonte de água é perene e, nesse caso, representou uma redução anual no dispêndio com água equivalente a quatro carros-pipas com capacidade de 10 m³.

Os aportes anuais médios de nutrientes aplicados via água de reúso foram de 42 g/planta de nitrogênio (N-NH₄⁺) e 25 g/planta de fósforo (P₂O₅), representando uma redução média na adubação mineral da ordem de 52 e 21%, respectivamente, conforme recomendação de adubação para o cajueiro anão precoce sob irrigação, com idade entre 1 a 2 anos, e quantidade de P no solo variando entre 13 a 30 mg/dm³ (Embrapa, 2001).

**Figura 4** - Volume de efluente produzido durante o período de monitoramento.

De acordo com as características da cultura explorada, tipo de sistema de irrigação e valores dos parâmetros monitorados, o efluente produzido

atendeu à qualidade sanitária requerida para o uso agrícola pretendido (irrigação de cajueiro), segundo as diretrizes da WHO (2006), bem como os cri-

térios elaborados pelo Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB) (Bastos et al., 2006). No entanto, em relação às diretrizes propostas pelo Ministério das Cidades, atual Ministério do Desenvolvimento Regional - MDR (INTERÁGUAS, 2017), há restrição para o uso agrícola deste efluente, devido aos padrões recomendados serem bastante restritivos ($DBO < 30 \text{ mg/L}$ e $E. coli < 10^3$).

Quando se comparam os resultados da presente investigação experimental utilizando sistema

UASB seguido de lagoa de polimento de bateladas sequenciais, com outros sistemas de tamanho e tempo de permanência comparáveis, chega-se à conclusão de que a eficiência de remoção da DBO e de bactérias do grupo coliformes em esgoto doméstico rural foi inferior àquela que utiliza esgoto municipal. Na Tabela 7, podem-se observar os resultados do presente trabalho e de outros trabalhos realizados, apresentados nesta série, com esgoto municipal.

Tabela 7: Desempenho do sistema UASB seguido de lagoa de polimento de bateladas sequenciais no tratamento de esgoto doméstico rural e esgoto municipal.

Parâmetro	Esgoto doméstico rural		Esgoto municipal		Referência
	Esgoto bruto	Efluente	Esgoto bruto	Efluente	
DBO (mg/L)	1.221	288	270	20	Aguiar et al. (2021)
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	$8,63 \cdot 10^6$	$2,2 \cdot 10^4$	10^8	$< 10^3$	Batista et al. (2021)
Nitrogênio ($\text{mgNH}_4\text{-N/L}$)	307	183	60	70	Santos e van Haandel (2021)
Fósforo (mgP/L)	58	48	10	12	Santos, Santos, van Haandel (2021)

Dentre as razões da diferença de eficiência dos sistemas, pode-se destacar o fato de que a disponibilidade de água na zona rural é limitada e, por isso, o esgoto doméstico produzido tem uma concentração de constituintes bastante elevada, como se pode observar na Tabela 7. Outro aspecto é que na zona rural não há coleta de lixo e parte dos resíduos sólidos inevitavelmente acabará sendo descarregada junto com o esgoto. Somado a isso, hábitos culturais levam ao descarte de resíduos mais grosseiros no esgoto (como os restos de comida presentes na pia da cozinha), contribuindo para acentuar essa concentração. O resultado desses fatores é que o efluente do reator UASB tem uma cor escura, o que prejudica a penetração da radiação solar na lagoa de polimento subsequente, necessária para o processo de fotossíntese das microalgas e para acelerar o decaimento bacteriano (mecanismo mais importante para a desinfecção).

Apesar da diferença existente entre os resultados obtidos nos sistemas UASB-lagoa de polimento para esgoto municipal e esgoto doméstico rural, foi possível obter uma boa redução do material orgânico e de patógenos, permitindo seu uso na irrigação da cultura pretendida. Caso se deseje aumentar a eficiência, inclusive produzir água para irrigação sem restrições, espera-se obter resultados melhores se forem retidos os sólidos sedimentáveis que atualmente entram no sistema de tratamento de esgoto rural, o que pode ser feito por um pré-tratamento, aplicando sedimentação simples; inclusive, pode-se redimensionar o tanque de equalização para essa finalidade.

4 CONCLUSÕES

O sistema de tratamento de esgoto proposto obteve desempenho operacional que favore-

ceu uma considerável redução de matéria orgânica e de bactérias do grupo *E. coli*, além de não apresentar ovos de helmintos no efluente, atendendo às recomendações estabelecidas pela OMS e pelo PROSAB. Já em relação aos nutrientes, observou-se uma baixa remoção de N e P, o que é positivo quando a água produzida tem finalidade agrícola.

A água de reúso produzida pode ser utilizada para uso irrestrito na agricultura, desde que a parte aérea das culturas exploradas se desenvolva distante do nível do solo e o fornecimento de água às plantas seja feito por meio de sistema de irrigação localizada.

A unidade de reúso foi capaz de incrementar a disponibilidade de água na propriedade familiar em 40 m³/ano para uso agrícola, reduzindo o dispendio anual com água, além de reduzir os gastos com adubação mineral das culturas exploradas.

O sistema de tratamento de esgoto e de reúso agrícola proposto atende às necessidades dos agricultores familiares do Semiárido brasileiro no que concerne à falta de esgotamento sanitário e ao acréscimo da quantidade de água disponível na propriedade para fins agrícolas.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Nacional do Semiárido (INSA) e ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) pelo apoio financeiro para realização deste trabalho; e à Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e ao Programa de Aplicação de Tecnologias Apropriadas (PATAC) pelo apoio logístico e científico nas fases de concepção, implantação e monitoramento do sistema.

6 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Todos os autores contribuíram de forma igualitária.

7 REFERÊNCIAS

- AGUIAR, M. R. L.; SANTOS, S. L.; VAN HAANDEL, A. Lagoas de polimento operando em bateladas como pós-tratamento de reatores UASB: remoção de material orgânico. **Revista DAE: Edição especial**, São Paulo, v. 69, n. 229, p. 70-79, 2021.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION - AWWA; WATER ENVIRONMENT ASSOCIATION - WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23. ed. Washington D C. 2017.
- ARTICULAÇÃO SEMIÁRIDO BRASILEIRO – ASA. **Mapas de tecnologias**. Disponível em < <https://www.asabrasil.org.br/mapatecnologias/> > Acesso em 05. Mai.2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **ABNT NBR: 8160: Sistemas prediais de esgoto sanitário - Projeto e execução**. Rio de Janeiro/RJ. 1999.
- AYRES, R.; MARA, D. **Analysis of wastewater for use in agriculture. A laboratory manual of parasitological and bacteriological techniques**. WHO, Geneva. 1996.
- BAILLENGER, J. Mechanisms of parasitological concentration in coprology and their practical consequences. **Journal of American Medical Technology**, v. 41, p. 65-7, 1979.
- BASTOS, R.K.X.; BEVILACQUA, P. D. Normas e critérios de qualidade para reúso da água. In: FLORÊNCIO, L.; BASTOS, R.K.X.; AÍSSE, M.M. (Org.). **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006, p. 17-62.
- BATISTA, M. M.; LAMBAIS, G. R.; SANTOS, S. L.; VAN HAANDEL, A. Decaimento bacteriano em lagoas de polimento tratando efluentes de reator UASB. **Revista DAE: Edição especial**, São Paulo, v. 69, n. 229, p. 80-90, 2021.
- CAVALCANTI, P.F.F. **Aplicação de reatores UASB e lagoas de polimento no tratamento de esgoto doméstico**. João Pessoa-PB: Gráfica Santa Marta, 2009. 172p.
- DIAS, D. F. C.; POSSMOSER-NASCIMENTO, T.E.; RODRIGUES, V.A.J.; VON SPERLING, M. Overall performance evaluation of shallow maturation ponds in series treating UASB reactor effluent: Ten years of intensive monitoring of a system in Brazil. **Ecological Engineering**, v. 71, p. 206-214, 2014.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultivo do cajueiro anão precoce: aspectos fitotécnicos com ênfase na adubação e na irrigação** / Lindbergue Araujo Crisóstomo... [et al.]. - Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2001. 20p. Circular Técnica, 08.
- FUNASA - FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Programa Saneamento Brasil Rural**. Disponível em < <https://www.saneamento-brasilrural.com.br/> > Acesso em 30. Abr.2020.
- INTERÁGUAS. **Produto III - Critérios De Qualidade De Água (RP01B)**. Elaboração de Proposta do Plano de Ações para Insti-

tuir uma Política de Reúso. Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura – IICA, 2017.

MARTINS, E. L.; SOUZA, R. F. S.; FRAGA, V. S.; MAGALHAES, A. G.; MEDEIROS, S. S. Efeitos da variabilidade espacial da densidade do solo e fração grosseira na estimativa dos estoques de nutrientes em solo degradado. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, p. 29434-29449, 2019. <http://brjd.com.br/index.php/BRJD/article/view/5241/4776>

MEDEIROS, S. S. **Estabelecimentos Agropecuários do Semiárido Brasileiro**. 1º. ed. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2018, 149 p.

MEDEIROS, S. S.; GHEYI, H. R.; PÉREZ-MARIN, A. M.; Soares, F. A. L.; FERNANDES, P. Características químicas do solo sob algodoeiro em área que recebeu água residuária da suinocultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1047-1055, 2011.

MEDEIROS, S. S.; SALCEDO, I. H.; SANTOS, D. B.; BATISTA, R. O.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; LIMA, R. C. C.; MARIN, A. M. P. **Esgotamento Sanitário: Panorama para o Semiárido Brasileiro**. Campina Grande: INSA, 2014. 63p.

METCALF & EDDY. **Tratamento de efluentes recuperação de recursos**. 5º ed. Mc Graw – Hill, Porto Alegre, 2016.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL - MDR. **Programa Água Doce**. Disponível em < <https://www.mdr.gov.br/seguranca-hidrica/programa-agua-doce>> Acesso em 30. Abr. 2020.

POSSMOSER-NASCIMENTO, T. E.; RODRIGUES, V.A.J; VON SPERLING, M.; VASEL, J-L. Sludge accumulation in shallow maturation ponds treating UASB reactor effluent: Results after 11 years of operation. **Water Science and Technology**, v. 70, n. 2, p. 321-328, 2014.

SANTOS, I. V.; SANTOS, S. L.; VAN HAANDEL, A. Remoção de fósforo em lagoas de polimento operadas em regime de bateladas sequenciais. **Revista DAE: Edição especial**, São Paulo, v. 69, n. 229, p. 91-103, 2021.

SANTOS, S. L.; SIMÕES, J. P. O; PAIVA, F. V.; VAN HAANDEL, A. **Design optimization of a simple single family anaerobic sewage treatment system**. *Water Practice and Technology*. v. 12, p. 55-71, 2017. <https://doi.org/10.2166/wpt.2017.010>.

SANTOS, S. L.; VAN HAANDEL, A. Variação do pH e remoção de nitrogênio em lagoas de polimento. **Revista DAE: Edição especial**, São Paulo, v. 69, n. 229, p. 52-69, 2021.

SOUSA, T. A. T. DE; LOPES, W.S.; HENRIQUE, I.N.; LEITE, V.D.; SOUSA, J.T. DE. Post-treatment of municipal sewer in shallow polishing ponds. **African Journal of Biotechnology**, v. 16, n. 11, p. 508-516, 2017.

TONETTI, A. L. 1973. **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções**. Ana Lucia Brasil, Francisco José Peña y Lillo Madrid, et al. - Campinas, SP: Biblioteca/Unicamp, 2018.

VAN HAANDEL, A.C.; LETTINGA, G. **Anaerobic sewage treatment: a practical guide for regions with a hot climate**. 1 ed. John Wiley and Sons, 1994. 222 p.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgoto**. v.1 3 ed. Belo Horizonte. DESA/UFMG, 452 p. 2005.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater**. Volume 2: Wastewater use in agriculture. Geneva, 2006. 213p.