



Sistemas de tratamento de esgoto no meio rural: uma avaliação de experiências nos municípios de Iretama e Campo Mourão – PR

Tiago Vinicius Silva Athaydes¹ - Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8607-2384>
Luciano Zanetti Pessoa Candiotto² - Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4162-7144>
Jefferson de Queiroz Crispim³ - Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3582-3942>
Eloisa Paula de Oliveira⁴ - Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2178-4249>

¹ Universidade Estadual do Paraná, União da Vitória/PR, Brasil*

² Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Francisco Beltrão/PR, Brasil**

³ Universidade Estadual do Paraná, Campo Mourão/PR, Brasil***

⁴ Universidade Estadual do Paraná, Campo Mourão/PR, Brasil****

Artigo recebido em 28/08/2024 e aceito em 03/06/2025

RESUMO

Este artigo objetiva apresentar uma avaliação sobre a eficiência de um modelo de tratamento de esgoto implantado em dois municípios no estado do Paraná. O sistema denominado Bacia de Evaporação apresentou dois casos avaliados no município de Campo Mourão e dois em Iretama. A metodologia consta de revisão bibliográfica, apresentação dos sistemas, considerando materiais, custos e avaliação da eficácia do sistema BET, por meio do monitoramento dos efluentes após passarem pelos sistemas de coleta e tratamento. Para a avaliação dos sistemas, foram coletadas amostras de efluentes em dois momentos (baterias) e enviadas para análises laboratoriais. Em cada bateria, foram coletadas amostras de efluentes no tanque séptico e na bacia de evapotranspiração para análises, e os resultados foram comparados aos parâmetros da Resolução CONAMA nº 357/2005 e 430/2011 (Federal) e da Resolução nº 21/2009 da SEMA (Estadual), que indica os valores permitidos para lançamento de efluentes de esgoto doméstico no ambiente. Os resultados obtidos indicam que o sistema BET apresentou importante papel na redução do potencial de contaminação de solos e águas, com média para eficiência de 73,13% para DBO e 69% DQO na primeira bateria e 66% para DBO e 62,28% para DQO na segunda bateria, realizada no segundo semestre de 2018.

Palavras-chave: agricultores; bacia de evapotranspiração; efluentes; saneamento ambiental; monitoramento.

* Doutor em Geografia pela Universidade Estadual de Maringá (UEM) e Agente Universitário. E-mail: tiagoathaydes@gmail.com

** Doutor em Geografia pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e Professor Associado do Colegiado de Geografia e do Programa de Pós-Graduação em Geografia (Mestrado e Doutorado). E-mail: lucianocandiotto@yahoo.com.br

*** Doutor em Geografia pela Universidade Estadual do Paraná (UFPR) e Professor Titular do Colegiado em Geografia. E-mail: jeffersoncrispim@hotmail.com

**** Doutora em Administração pela Universidade Positivo e Professora Adjunta do Colegiado de Administração. E-mail: eloisapauladeoliveira@gmail.com



Sewage treatment systems in rural areas: an evaluation of experiences in the municipality of Iretama and Campo Mourão – PR

ABSTRACT

The aim of this article is to present an evaluation of the efficiency of a sewage treatment model implemented in two municipalities in the state of Paraná. The system, called the Evaporation Basin, was evaluated in two cases in the municipality of Campo Mourão and two in Iretama. The methodology consists of a literature review, a presentation of the systems, considering materials, costs and an evaluation of the effectiveness of the BET system, by monitoring the effluents after they have passed through the collection and treatment systems. To evaluate the systems, effluent samples were collected at two points in time (batteries) and sent for laboratory analysis. In each battery, effluent samples were collected from the septic tank and the evapotranspiration basin for analysis, and the results were compared to the parameters of CONAMA Resolution No. 357/2005 and 430/2011 (Federal) and SEMA Resolution No. 21/2009 (State), which indicates the permitted values for discharging domestic sewage effluent into the environment. The results obtained indicate that the BET system played an important role in reducing the potential for soil and water contamination, with an average efficiency of 73.13% for BOD and 69% for COD in the first battery and 66% for BOD and 62.28% for COD in the second battery, carried out in the second half of 2018.

Keywords: farmers; evapotranspiration basin; effluents; environmental sanitation; monitoring.

Sistemas de tratamiento de aguas residuales en áreas rurales: evaluación de experiencias en el municipio de Iretama y Campo Mourão - PR

RESUMEN

Este artículo tiene como objetivo presentar una evaluación de la eficiencia de un modelo de tratamiento de aguas residuales implementado en dos municipios del estado de Paraná. El sistema, denominado Cuenca de Evaporación, fue evaluado en dos casos en el municipio de Campo Mourão y dos en Iretama. La metodología consiste en una revisión bibliográfica, una presentación de los sistemas, considerando materiales, costos y una evaluación de la eficacia del sistema BET por medio del monitoreo de los efluentes después de pasar por los sistemas de colecta y tratamiento. Para evaluar los sistemas, se recogieron muestras de efluentes en dos momentos (baterías) y se enviaron para análisis de laboratorio. En cada batería, fueron colectadas muestras de efluentes de la fosa séptica y de la pileta de evapotranspiración para análisis, y los resultados fueron comparados con los parámetros de las Resoluciones CONAMA 357/2005 y 430/2011 (Federal) y SEMA 21/2009 (Estatal), que indican los valores permitidos para descarga de efluentes cloacales domésticos en el medio ambiente. Los resultados obtenidos indican que el sistema BET desempeñó un papel importante en la reducción del potencial de contaminación del suelo y del agua, con una eficiencia media del 73,13% para la DBO y del 69% para la DQO en la primera batería y del 66% para la DBO y del 62,28% para la DQO en la segunda batería, realizada en el segundo semestre de 2018.

Palabras clave: agricultores; cuenca de evapotranspiración; efluentes; saneamiento ambiental; monitoreo.

INTRODUÇÃO

A preocupação sobre a qualidade do meio ambiente, principalmente nos locais onde as pessoas vivem, é algo que remonta várias sociedades ao longo do tempo, como Roma antiga, China, entre outras. Com a intensificação do uso dos recursos naturais e, conseqüentemente, da degradação ambiental, essa qualidade será reduzida, de modo que o próprio conceito de desenvolvimento, fundamentado no crescimento econômico, passou a ser questionado, surgindo a ideia de desenvolvimento sustentável. Até

então a natureza era considerada como uma fonte inesgotável de recursos, como vimos com o fordismo e sua crença numa sociedade de consumo de massas ilimitada (Porto-Gonçalves, 2012, p. 61).

O conceito de sustentabilidade definido aqui é por Gudynas (2011), que acrescenta que o surgimento do debate sobre as questões ambientais e os limites desse desenvolvimento fez com que surgissem algumas escolas de pensamento sobre esta temática.

Gudynas (2011) ainda propõe a existência de três tipos de sustentabilidade, sendo a sustentabilidade fraca, forte e superforte. A sustentabilidade fraca embasa sua teoria na economia clássica, pontuando a necessidade de custear o valor do impacto gerado, colocando preços nos elementos ambientais, enfatizando apenas o valor econômico dos recursos naturais, não considerando outros valores também necessários. Em suma ela é alvo de críticas dos adeptos dos demais tipos de sustentabilidade.

Na sustentabilidade forte, parte-se da ideia de que, por mais que se pague pela devastação ambiental e extração dos recursos naturais, a regeneração daquele impacto não acontece de forma tão rápida como uma transação monetária. Assim, a sustentabilidade forte coloca em concordância outros valores, como o valor ecológico, buscando assegurar o direito e respeito dos ecossistemas, colocando equidade entre os valores econômicos e ambientais.

A outra corrente destacada é a da sustentabilidade superforte, a qual é que se busca por meio da discussão deste artigo e que destaca também a importância dos valores sociais, culturais, estéticos, religiosos, etc. Para essa corrente, nenhum fator está acima de outro, sendo importante o debate entre as comunidades sobre estas questões. A sustentabilidade superforte só será consolidada quando for realizada de forma holística e integrada entre os diversos agentes e interesses, de modo que a redução das desigualdades sociais e da concentração do poder político e econômico são fundamentais.

Nesse contexto de necessidade de novas práticas e conhecimentos, que sejam menos impactantes ou que contribuam para reduzir a degradação ambiental, este artigo destaca o tema do esgoto doméstico no meio rural, a partir da preocupação com sua correta disposição e tratamento, e da avaliação de sistemas simples, que compõem as chamadas ecotécnicas (Silva e Silva, 2010; Candiotto, Grisa e Schimitz, 2015).

Sabe-se que a problemática do esgoto envolve, de forma integrada, as dimensões ambiental e da saúde humana, e que o esgoto é um dos pilares do saneamento básico. Discutir e analisar técnicas de disposição e tratamento, que sejam baratas, eficazes e de fácil implantação em estabelecimentos rurais, é importante, pois permite que as técnicas mais eficazes e adequadas possam ser divulgadas e replicadas.

A sua composição é essencialmente orgânica, compreendendo as águas que contêm a matéria originada pelos dejetos humanos no esgotamento de peças sanitárias e as águas servidas provenientes das atividades domésticas, tais como banho, lavagens de pisos, utensílios, roupas. Incluem também os efluentes das instalações sanitárias de

estabelecimentos comerciais, de empresas e instituições. O seu volume depende exclusivamente do número de pessoas atendidas (BRASIL, 2019, p. 156).

No meio urbano, existem formas integradas de coleta, disposição e tratamento de esgoto. Já no meio rural, pela falta de redes coletoras, faz-se necessário o desenvolvimento de outras técnicas de disposição e tratamento de dejetos humanos e de animais. Portanto, é imprescindível a criação e difusão de eco técnicas ou de tecnologias ecológicas alternativas, que sejam eficientes e de baixo custo. Dentre essas técnicas, destaca-se a fossa séptica biodigestora da EMBRAPA, o Sistema por Zona de Raizes e o sistema conhecido como *Wetlands*.

As Fossas Sépticas Biodigestoras são um sistema inovador de esgoto sanitário composto por três caixas coletoras com 1.000 litros cada uma. Ficam enterradas no solo, funcionam conectadas exclusivamente ao vaso sanitário e são interligadas entre si por tubos e conexões de PVC (EMBRAPA, 2010, p. 8). Tem-se também a difusão do Sistema de Zona de Raizes, cujo sistema físico-biológico tem a capacidade de filtrar por meio do uso de plantas o esgoto bruto gerado nas residências rurais. O sistema é vedado, evitando que o efluente entre em contato com o solo (Parolin, Crispim e Santos, 2010).

Os sistemas *Wetlands* são bem conhecidos no meio rural e apresentam semelhanças com os sistemas já citados. Os wetlands construídos (WC), também conhecidos como filtros plantados com macrófitas, são sistemas de engenharia projetados para utilizar os processos naturais que envolvem a vegetação, o solo e suas populações microbianas associadas ao tratamento de águas residuárias (Walzburiech, Schroeder e Sezerino, 2019, p. 1)

Desta forma, o artigo apresenta uma discussão sobre iniciativas de construção de sistemas para tratamento de esgotos modelo bacia de evapotranspiração em estabelecimentos rurais em dois municípios paranaenses, implementados a partir de projetos universitários coordenados por professores do curso de Geografia da Universidade Estadual do Paraná, com base em monitoramentos dos efluentes e análises laboratoriais realizadas, permitiram avaliar a eficiência nos parâmetros DBO e DQO de quatro sistemas instalados no ano de 2018.

METODOLOGIA

A pesquisa foi construída a partir de revisão bibliográfica, análise de normas legais sobre o saneamento básico (Federal e do Estado do Paraná), levantamento de informações sobre os sistemas construídos e análises laboratoriais dos efluentes dos sistemas.

Em relação aos parâmetros de efluentes consultados para se avaliar a eficácia do tratamento dos efluentes nos sistemas implantados, utilizou-se a Resolução nº 357/2005 e 430/2011 do Conselho Nacional

de Meio Ambiente (CONAMA) ao nível Federal. Utilizaram-se as duas resoluções do CONAMA, pois uma complementa a outra para os parâmetros analisados; e a Resolução nº 021/2009 da Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA), em nível estadual.

Apesar de usar as normas para o lançamento de efluente para aferir a eficiência e o enquadramento com os limites estabelecidos pelas Resoluções, os sistemas não realizam esse descarte, pois são sistemas fechados, ao quais, será realizado o processo de evaporação dos efluentes por meio da vegetação inserida nos sistemas. Portanto, o uso das Resoluções ajuda a compreender o funcionamento do sistema, uma vez que, os altos índices nos parâmetros analisados podem prejudicar a vida útil do sistema, como processos de eutrofização e entupimento, por exemplo.

Os sistemas foram desenvolvidos por meio de projetos desenvolvidos pelo Laboratório de Pesquisa Geoambiental (LAPEGE), ligado à Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR), nos municípios de Campo Mourão e Iretama, localizados na Mesorregião Centro Ocidental Paranaense.

A busca por criação de técnicas que visem a redução do uso de recursos naturais, ou que venham remediar os impactos gerados pelas atividades humanas, é algo que ganhou destaque no final do século XX, denominado assim de tecnologia ecológica ou ecotécnicas. “O debate sobre tecnologias ecológicas ou alternativas teve início na década de 1970 e, desde então, tem sido incorporado em análises filosóficas, pesquisas científicas, iniciativas populares e de ONGs, ações de extensão e, mais recentemente, em políticas públicas” (Candiotto *et al.*, 2015, p. 176).

Conforme Pereira (2010), as ecotécnicas são tecnologias sustentáveis a fim de conter e de reutilizar os recursos naturais, enfocando os conhecimentos históricos do homem, tanto a nível global, quanto local. Dentro do conceito de ecotécnicas podemos destacar que as mesmas correspondem a um “conjunto de intervenções tecnológicas no ambiente que se baseia na compreensão dos processos naturais e tem como foco a resolução de problemas com o menor custo energético possível e com uso eficiente de bens naturais” (BRASIL, 2012, p. 21).

Foram analisados quatro sistemas denominados Bacia de Evapotranspiração (BET), e realizadas análises físico-químicas dos sistemas desenvolvidos a fim de compreender a eficiência no tratamento do esgoto.

Para analisar a eficiência do sistema, foram coletados os esgotos brutos (interior do tanque séptico) e o esgoto tratado no final dos sistemas (bacia de evapotranspiração).

Os sistemas BET possuem duas etapas de tratamento, sendo o tratamento primário no tanque séptico (sólidos) e o secundário (líquido) na bacia de evapotranspiração.

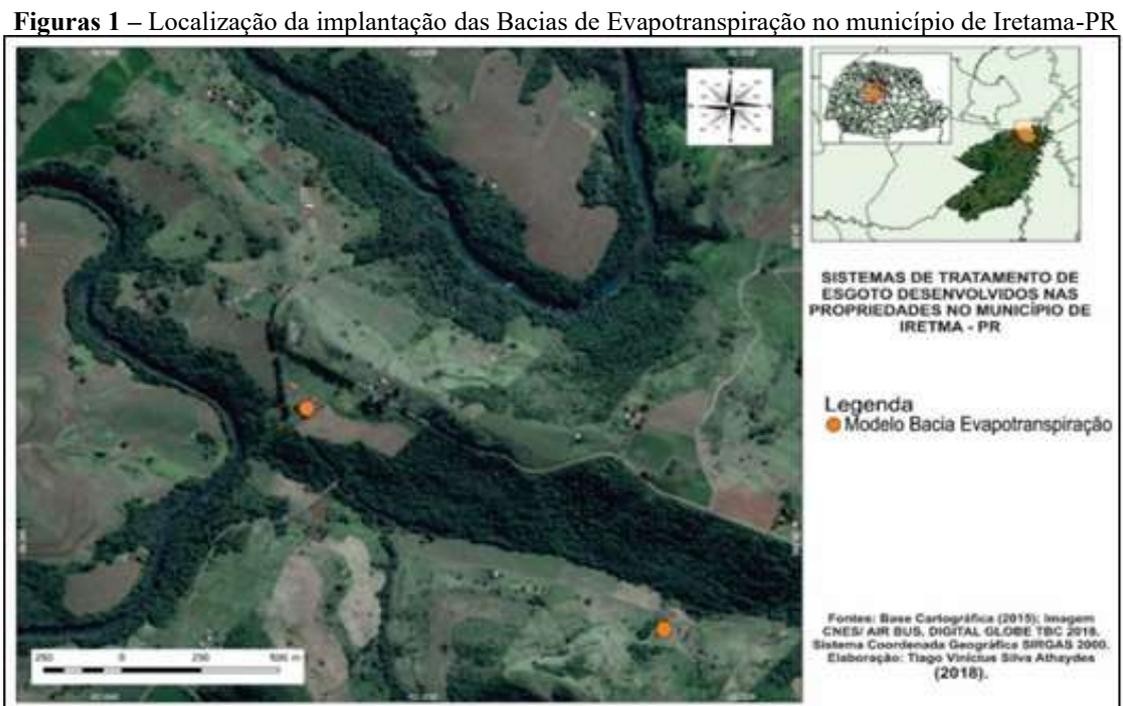
Para todas as BET's avaliadas, foram delimitados parâmetros para o lançamento do esgoto em conformidade com o CONAMA e a SEMA. Os parâmetros selecionados foram: Demanda Bioquímica de Oxigênio e Demanda Química de Oxigênio. As análises laboratoriais foram terceirizadas e seguiram a Metodologia *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* 22 (2012) e 23 (2017).

Foram realizadas duas baterias de coletas, uma no período do primeiro semestre de 2018 (março, abril) e outra no segundo semestre de 2018 (outubro, novembro).

Tanto as amostras de esgoto bruto (afluentes) quanto as amostras de efluentes (esgoto após passagem pelo sistema) foram comparadas com os parâmetros legais. Isso permitiu entender se os efluentes estão sendo tratados, não prejudicando a vida útil do sistema.

Sistema Bacia de Evaporação (BET)

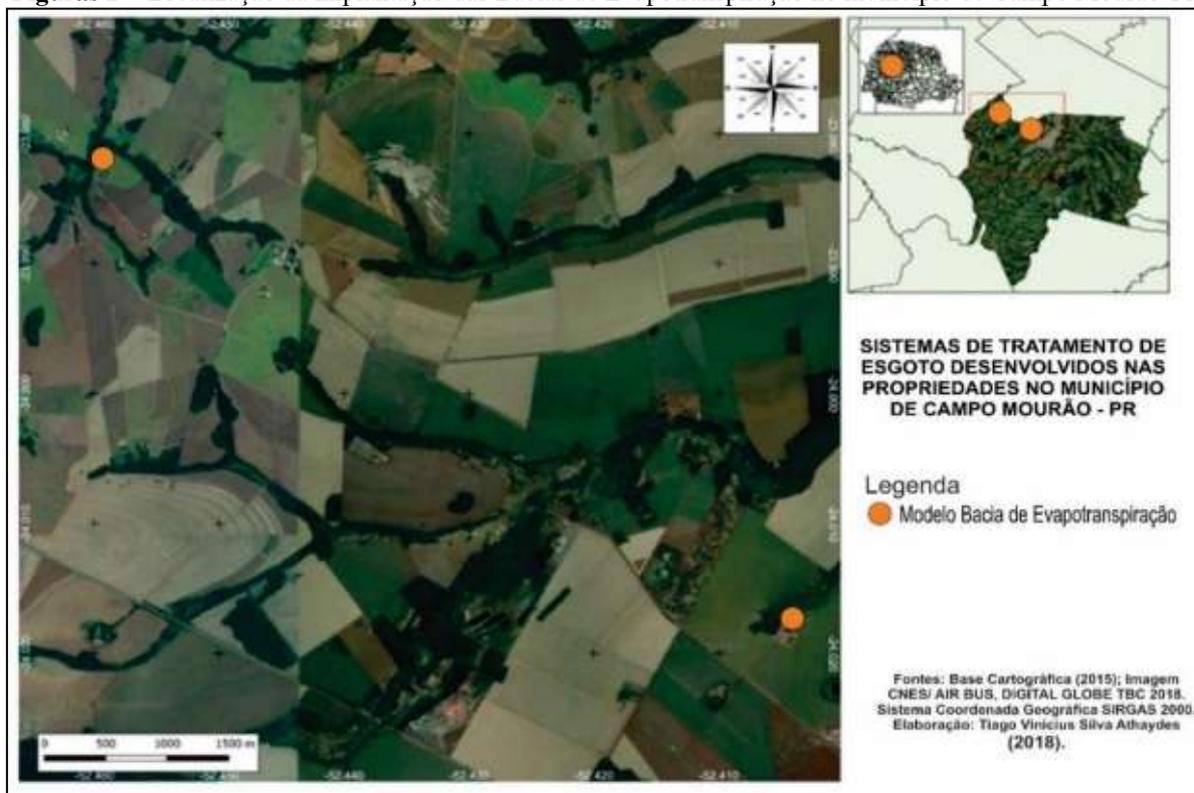
O modelo denominado bacia de evaporação foi caracterizado como BET 1, BET 2, BET 3 e BET 4. Os sistemas BET 1 e 2 foram construídos em Iretama – PR, no Assentamento Muquidão (figura 1).



Fonte: Organizado pelos autores.

Os sistemas BET 3 e 4 foram desenvolvidos no município de Campo Mourão – PR. Outros dois sistemas foram construídos no município de Campo Mourão, na comunidade KM 128 e Vila Franciscana (figura 2).

Figuras 2 – Localização da implantação das Bacias de Evapotranspiração no município de Campo Mourão-PR



Fonte: Organizado pelos autores.

O sistema bacia de evaporação é dividido em duas partes. A primeira consiste no tanque séptico construído em alvenaria, seguindo a NBR 7229/1993. Possui a função de reter o material sólido na parte inferior e transferir o material líquido para a bacia de evapotranspiração, onde será realizado o processo de evaporação pelo sol e plantas. A bacia funciona como um filtro de fluxo horizontal, o qual realiza o processo de evapotranspiração do efluente para a atmosfera.

As dimensões do tanque séptico são de 2,50m de comprimento, 1,50 m de profundidade e 1 m de largura para a fossa séptica (Crispim, Mendes e Athaydes, 2016). O dimensionamento da bacia de evapotranspiração é de 2 m³ por habitante.

O material sólido fica retido no tanque séptico e o efluente líquido vai para a bacia de evapotranspiração, porém existe um período de retenção do efluente líquido no interior do tanque, conforme a Tabela 1. O processo de tratamento nesta primeira etapa dá-se por meio do tratamento anaeróbico. “A digestão anaeróbia é um processo biológico de decomposição de matéria orgânica que, através do metabolismo dos microrganismos, é convertida em lodo biológico, líquido e gases” (Costa *et al.*, 2014, p. 7). Esse processo de tratamento primário é realizado sem a presença de oxigênio, sendo as bactérias os agentes responsáveis pela decomposição de matéria orgânica.

Tabela 1 – Período de detenção do efluente líquido, por faixa de contribuição diária.

CONTRIBUIÇÃO DIÁRIA (L)	TEMPO DE DETENÇÃO	
	Dias	Horas
ATÉ 1.500	1,00	24
DE 1.501 A 3.000	0,92	22
DE 3001 A 4500	0,83	20
DE 4501 A 6000	0,75	18
DE 6001 A 7500	0,67	16
DE 7501 A 9000	0,58	14
MAIS QUE 9000	0,50	12

Fonte: Associação Brasileira de Normas e Técnicas – ABNT NBR 7229 (1993)

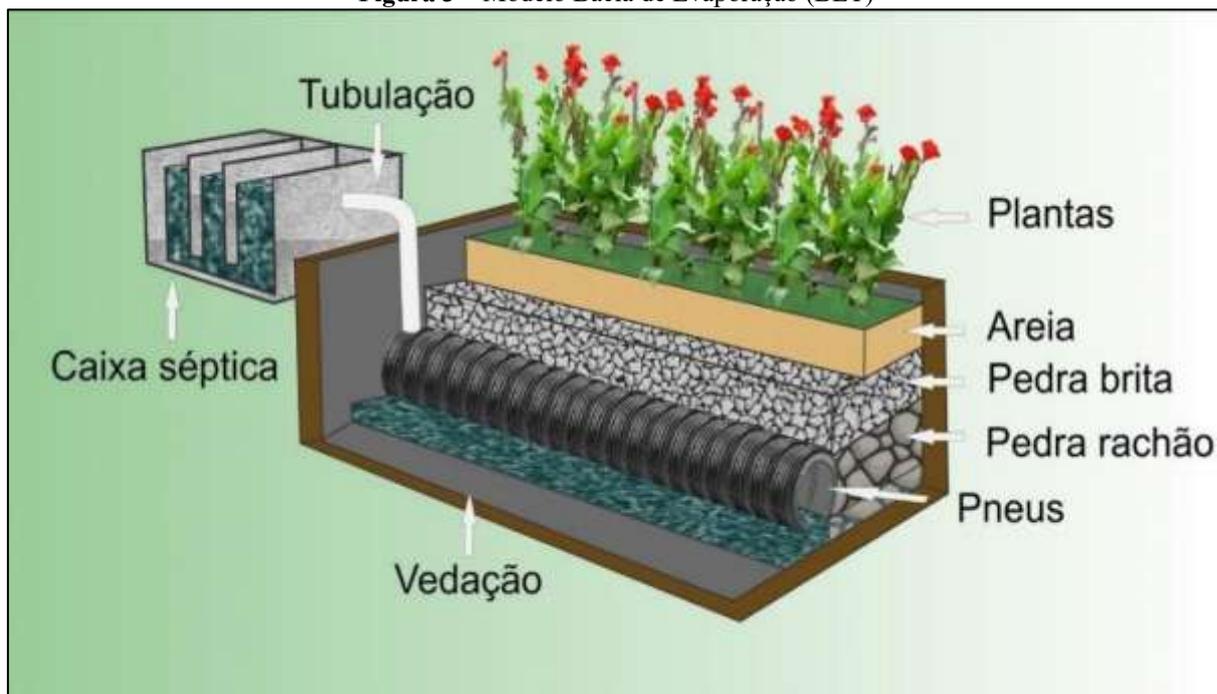
O sistema projetado possui capacidade de 3,75 m³, e detenção de 0,83 dias ou 20 horas no interior do tanque séptico, antes de adentrar no sistema de evaporação.

A segunda etapa do sistema consistiu na construção da bacia de evapotranspiração (Figura 3). No modelo BET, delimita-se 2 m³ por habitante, e a profundidade da área escavada é padrão 1 m, a largura e o comprimento irão variar conforme a quantidade de usuários. Na sequência, a área escavada é impermeabilizada com duas camadas de lona plástica de 200 micras para impedir a infiltração no solo (Athaydes e Crispim, 2016).

Segundo os autores, após feita a impermeabilização, realiza-se o preenchimento da bacia de evapotranspiração. O primeiro passo consistiu em conectar a tubulação do tanque séptico à BET, com tubo de PVC de 100 mm. Na sequência, preenche-se com pneus de automóvel colocados lado a lado, na vertical, formando uma tubulação de recepção do efluente líquido. Para a finalização do preenchimento do sistema, foram utilizados: entulhos, pedra brita n° 02, areia grossa e solo. “As laterais entre os pneus e a parede da BET são preenchidas com 50 cm de entulhos de construção e, sobre esta, uma camada de 20 cm de pedra brita, 20 cm de areia grossa e, por fim, uma camada de 10 cm de terra”.

Após o preenchimento da bacia, foram plantadas as espécies *Heliconia velloziana* (Caeté) que se alimentam do substrato da BET.

Figura 3 – Modelo Bacia de Evaporação (BET)



Fonte: Os autores (2018).

Os sistemas BET 1 e 3 foram dimensionados para famílias com dois moradores e delimitados em 3 m de comprimento, 2 m de largura e 1 m de profundidade. O sistema BET 2 teve um dimensionamento para quatro moradores, sendo 4 m de comprimento, 3 m de largura e 1 m de profundidade.

O sistema BET 4 foi dimensionado para seis moradores, tendo medidas de 4m de comprimento, 3 m de largura e 1,5 m de profundidade, e todos projetados para receber águas cinzas e negras.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise dos efluentes dos sistemas

A análise dos efluentes ocorreu em duas baterias, no primeiro e segundo semestre de 2018, com objetivo de monitorar o funcionamento do sistema, após construção e uso (figura 3).

Figura 3 – Coleta de efluente na bacia de evapotranspiração.



Fonte: Os autores (2019)

O monitoramento é importante para compreender o funcionamento e eficácia dos sistemas, e serve para verificar se o sistema funcionando adequadamente e se os efluentes estão dentro dos padrões do CONAMA nº 430/2011 e sendo acomodados adequadamente, pois são sistemas fechados. Com o monitoramento, é possível identificar problemas e aperfeiçoamentos possíveis, para se melhorar o processo de gestão ambiental e a vida útil do sistema.

Para analisar a eficiência dos sistemas implementados, foram selecionados para as análises laboratoriais os parâmetros: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO). Esses parâmetros são avaliados em efluentes que posteriormente podem ser lançados novamente no ambiente, sobretudo em rios.

Os valores permitidos para lançamento se encontram na Resolução CONAMA nº 430/2011, em nível federal, e na Resolução nº 21/2009 da SEMA, em nível estadual (Tabela 2).

O uso das resoluções para lançamento de efluente serve para analisar a eficiência, a qual contribui para o entendimento e vida útil do sistema, uma vez que a alta quantidade de óleos e graxas no sistema pode contribuir para o entupimento dele, formando capa de gordura nas tubulações.

Tabela 2 – Parâmetros e limites para lançamentos de efluentes.

Parâmetros (Standard Methods)	Limites estabelecidos para lançamento Resolução 357/2005 e 430/2011 do CONAMA	Limites estabelecidos para lançamento SEMA/IAT
DBO	90 mg/L	120 mg/L
DQO	225 mg/L	-

Fonte: Adaptado de SEMA (2011); Resolução 357/2005 e 430/2011 do CONAMA (2011).

Para o teste da DBO, “a tratabilidade biológica de um efluente é avaliada por um parâmetro operacional denominado Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Quanto máximo o valor de DBO, maior a labilidade dos compostos orgânicos presentes num dado efluente” (Jardim; Canela, 2004).

O teste da DQO visou medir o consumo de oxigênio para oxidar compostos orgânicos, bio e não biodegradáveis, com oxidação exclusivamente química, não sendo afetado pela nitrificação, dando-nos uma indicação apenas da matéria orgânica carbonácea (Nuvolari *et al.*, 2003).

Sant’Ana *et al.* (2003) destacam que, com o consumo de água contaminada com coliformes totais, coliformes fecais, *Escherichia coli* e *Pseudomonas aeruginosa*, pode ocorrer o alojamento de doenças no organismo humano. Desta maneira, a principal finalidade é estabelecer melhor condição de vida para os moradores da zona rural, evitando assim a proliferação de doenças provocadas pela falta de saneamento devido à contaminação do lençol freático por meio de infiltração no solo (Santos; Crispim, 2013).

A Resolução nº 21/2009 da SEMA/IAT (Secretaria do Meio Ambiente do Paraná) exige que os índices de lançamento devem ser inferiores a 90 mg/L para o DBO e a 225 mg/L para o DQO.

Desse modo, o objetivo dos sistemas consistiu em reduzir os parâmetros de DBO e DQO que apresentam níveis elevados quando não tratados e acabam por acarretar problemas à saúde humana e ao meio ambiente. A Resolução nº 357/2005 e 430/2011 do CONAMA impõe que os índices de lançamento devem ser inferiores a 120 mg/L para o DBO, e não propõe metas para o DQO. Portanto, foram considerados os parâmetros da Resolução nº 21/2009 da SEMA/IAT, pelo fato de serem mais restritivos que os nacionais.

Os parâmetros analisados acabam por apresentar uma percepção geral do funcionamento dos sistemas e sua capacidade de tratar os efluentes. Assim, quando identificados níveis baixos do DBO e DQO, os outros parâmetros também irão apresentar uma redução significativa (Quadro 1).

Quadro 1 – Resultado das análises dos efluentes da Bacia de Evapotranspiração.

PARÂMETROS (mg/l) 1º semestre	DBO	DQO	PARÂMETROS (mg/l) 2º semestre	DBO	DQO
BET 1 - entrada	160,22	531,57	BET 1 - entrada	440	611
BET 1 - saída	62,11	213,33	BET 1 - saída	185	353
Eficiência - %	61,23%	59,86%	Eficiência - %	57,95%	42,22%
BET 2 - entrada	140,89	476,67	BET 2 - entrada	360	609
BET 2 - saída	44,67	170,0	BET 2 - saída	190	244
Eficiência - %	68,28%	64,33%	Eficiência - %	47,22%	59,93%
BET 3 – entrada	698,11	2133,33	BET 3 – entrada	840	1034
BET 3 – saída	17,89	86,67	BET 3 – saída	56	84
Eficiência - %	97,43%	95,93%	Eficiência - %	93,33%	91,87%
BET 4 – entrada	59,10	213,33	BET 4 – entrada	80	147
BET4 – saída	20,22	96,67	BET4 – saída	28	66
Eficiência - %	65,78%	54,68%	Eficiência - %	65,00%	55,10%

Fonte: Quadro organizado com base nos dados obtidos.

As coletas na BET 1 apresentaram-se dentro dos padrões das Resoluções n.º 21/2009 da SEMA e n.º 357/2005 e 430/2011 do CONAMA, o DBO foi de 62,11 mg/L, a DQO foi de 213,33 mg/L.

Na segunda bateria de coletas, a BET 1 apresentou elevações nos índices dos parâmetros, com DBO de 185 mg/L, DQO de 353 mg/L.

O sistema BET 2 estava adequado na primeira bateria de coletas perante as Resoluções n.º 21/2009 da SEMA e n.º 357/2005, 430/2011 para os parâmetros de DBO que foi de 44,67 mg/L, a DQO que foi de 170 mg/L, pH que apresentou 6,22 mg/L. O nitrogênio neste sistema também apresentou índices elevados de 29,52 mg/L.

Em relação à segunda bateria de coletas, o sistema BET 2 só estava adequado perante as Resoluções n.º 21/2009 da SEMA e n.º 357/2005 e 430/2011. A DBO apresentou 190 mg/L, a DQO foi de 244 mg/L.

O sistema BET 3 apresentou-se adequado para todos os parâmetros em conformidade com as Resoluções n.º 21/2009 da SEMA e n.º 357/2005 e 430/2011 na primeira e na segunda bateria de coletas. A DBO foi de 17,89 mg/L na primeira bateria de coletas e 56 mg/L na segunda bateria de coletas, a DQO foi de 86,67 mg/L na primeira e 84 mg/L na segunda, o pH foi de 6,36 na primeira coleta e 6,49 na segunda.

O sistema BET 4 esteve de acordo com as Resoluções n.º 21/2009 da SEMA e n.º 357/2005 e 430/2011 nos parâmetros da DBO que foi de 20,22 mg/L, a DQO foi de 96,67 mg/L. Na segunda bateria, a DBO foi de 28 mg/L e DQO de 66 mg/L, de acordo com as Resoluções n.º 21/2009 da SEMA e n.º 357/2005 e 430/2011 do CONAMA.

Em relação à eficiência média dos quatro sistemas BET na primeira bateria de coletas, foi comparado o efluente na entrada do tanque séptico e da caixa de evapotranspiração, obtendo eficiência de 73,18% para a DBO e 68,70% para a DQO. Na segunda bateria, a eficiência média foi de 66% para a DBO e 62,28% para a DQO.

A redução na eficiência na segunda bateria de coletas em relação à primeira está relacionada à diminuição no processo de evapotranspiração, realizada pelas plantas, e ao sombreamento realizado pelas árvores, em desconformidade com o projeto proposto que indica a construção da bacia em área que recebe o máximo de insolação para auxiliar na evaporação.

No caso das plantas, a zona de raiz contribui com a remoção de poluentes, interagindo com o meio suporte, a água, os microrganismos e os contaminantes, com ocorrência de filtração, volatilização, adsorção, oxidação e degradação.

Na coleta dos efluentes, foi possível observar que os sistemas estão em funcionamento de forma correta e eficaz, não encontrando problemas de entupimentos nem vazamentos. Analisou-se também que o efluente bruto que entra no tanque séptico e o efluente que se encontra na bacia de evaporação não possuem odor (figuras 4).

Figura 4 – Efluente coletado na entrada da caixa séptica (alta turbidez) e efluente na bacia de evapotranspiração (efluente incolor)



Fonte: dos autores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As práticas de despejo dos efluentes produzidos nos estabelecimentos rurais ainda são realidades no Brasil, no Paraná e nos dois municípios da pesquisa. Essa falta de disposição e tratamento adequado do esgoto doméstico no meio rural pode levar à contaminação de corpos hídricos. Com isso, torna-se cada vez mais necessária a intervenção do poder público e de órgãos competentes para disseminar e desenvolver ações para o manejo correto do esgoto rural. É preciso desenvolver o saneamento básico rural, mas também é importante que os moradores entendam o porquê dessas práticas, para que se tornem sujeitos ativos no processo.

Após os resultados alcançados por meio do desenvolvimento dos sistemas de tratamento de esgoto e da análise de sua eficiência, conclui-se que os projetos desenvolvidos representam um avanço para se reduzir a degradação ambiental e problemas de saúde para os moradores contemplados com os sistemas analisados.

Ao avaliar os dados de eficiência em relação à legislação vigente para o lançamento de efluentes tratados, foi possível observar que o sistema BET apresentou eficiência no tratamento do esgoto, com efluentes analisados dentro dos padrões de lançamentos de efluentes do CONAMA e SEMA.

O sistema analisado é recomendado para estabelecimentos rurais, pois pode ser construído com materiais que virariam lixo, como pneus velhos e entulhos, além de serem fechados, é altamente positivo para se evitar o contato com o ambiente e contaminações.

Na bacia de evapotranspiração, as plantas são um importante indicador de funcionamento, pois o crescimento e desenvolvimento são uma forma de monitoramento. Por outro lado, a realização de poda das plantas mais velhas é importante, para que elas se renovem e possam se desenvolver de forma adequada, e atuem na absorção dos nutrientes.

Portanto, o princípio da decomposição biológica, presente no sistema BET, apresenta-se ecologicamente correto e economicamente viável para áreas rurais, pois reduz os impactos ambientais que o esgoto pode gerar para o meio ambiente em áreas rurais.

AGRADECIMENTOS

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. **NBR 7229**: Projetos, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.

ATHAYDES, T.V.S; CRISPIM, J. de Q. **Saneamento rural por meio de estação de tratamento de esgoto por zona de raízes modelo bacia de evapotranspiração (BET) no município de Iretama – Paraná**. In: II Encontro Anual de Iniciação Científica da Unespar, 2016. p. 1-9.

BRASIL. Conselho Nacional Do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº430, de 13 de maio de 2011**, Ministério do Meio Ambiente -MMA, 2011. Disponível: <https://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em 15 de setembro de 2009.

Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento**. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – 5. ed. – Brasília: Funasa, 2019.545 p.il.

BRASIL. **Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005**. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfeda_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf. Acesso em: 17 de setembro de 2021.

CANDIOTTO, L. Z. P.; GRISA, F. F. ; SCHIMITZ, L. A. Considerações sobre a experiência de construção de cisternas em Unidades de Produção e Vida Familiares (UPVFs) do município de Francisco Beltrão - Paraná. **Revista NERA (UNESP)**, São Paulo, ano 18, nº 29, p. 174-193, jul/dez, 2015.

CRISPIM, J. de Q.; MENDES, T. A. M.; ATHAYDES, T.V.S. **Melhoria na qualidade de água de nascentes no município de Mato Rico – PR pela técnica do solo-cimento.** In: II Encontro Regional de Geografia – XXIV Semana de Geografia – UEM. Universidade Estadual de Maringá. Maringá. 2016.

COSTA, E. S.; BARBOSA FILHO, O.; GIORDANO, G. **Reatores anaeróbios de manta de lodo (UASB): uma abordagem concisa.** 1. ed. Rio de Janeiro - RJ: FEN / UERJ, 2014. v. 1. 121p.

DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO DE UBERLÂNDIA. DMAE. **Fossa séptica sustentável.** Uberlândia, 2014. Disponível em: http://www.uberlandia.mg.gov.br/uploads/cms_b_arquivos/13916.pdf. Acesso em 20 de janeiro de 2018.

EMBRAPA. **Tecnologia Social, Fossa Séptica Biodigestora: Saúde e Renda no Campo.** Brasília: Fundação Banco do Brasil, 2010.

GUDYNAS, Eduardo. Ambiente, sustentabilidad y desarrollo: una revisión de los encuentros y desencuentros, In: REYES, Ruiz; ROSALES, E. Castro (Orgs). **Contornos educativos de la sustentabilidad.** México – Guadalajara: Editorial Universitaria, Universidad de Guadalajara. p. 109-144. 2011.

JARDIM, J.F; CANELA, M. C. **Fundamentos da oxidação química no tratamento de efluentes e remediação de solos. Instituto de Química – Laboratório de Química Ambiental.** Universidade de Campinas–Unicamp. Campinas, 2004. Disponível em: <http://lqa.iqm.unicamp.br/cadernos/caderno1.pdf>. Acesso em: 04 de fevereiro de 2016.

NUVOLARI, A. *et al.* **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola.** Edgard Blucher: São Paulo, 2003.

PAROLIN, M.; CRISPIM, J. de Q.; SANTOS, M. S. dos. **Avaliação das estações de tratamento de esgoto por zona de raízes instaladas em pequenas propriedades rurais.** In: Encontro de Produção Científica e Tecnológica – V EPCT. Campo Mourão, 2010.

PEREIRA, D. M. **Processo Formativo em Educação Ambiental: Escolas Sustentáveis e com vida: Tecnologias Ambientais** Universidade Federal de Ouro Preto. 2010.

PESSOA, C. A.; JORDÃO, E. P. **Tratamento de esgotos domésticos: concepções clássicas de tratamento de esgotos.** 2. ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental: BNH, 1982. 536 p.

PORTO-GONÇALVES, C. W. **A globalização da natureza e a natureza da globalização.** 4º Ed. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira. 2012.

SANT'ANA, A. de S.; SILVA, S. C. F. L.; FARANI, I. O. Jr.; AMARAL, C. H. R. Qualidade microbiológica de águas minerais. **Revista Ciênc. Tecnol. Aliment.,** Campinas, 23 (Supl): 190-194, dez. 2003. 2003.

SANTOS, B.S.; CRISPIM, J.Q. **Monitoramento de estações de tratamento de esgotos por zona de raízes instaladas no município de Campo Mourão - PR.** In: Encontro Anual de Produção Científica e Tecnológica – EPCT, Campo Mourão, 2013. Disponível em: http://www.fecilcam.br/nupem/anais_viii_epct/PDF/TRABALHOS-COMPLETO/Anais-CET/GEOGRAFIA/Srutkowiskitrabalhocompleto.pdf. Acesso em 20 de agosto de 2017.

SEMA. Secretaria do Meio Ambiente do Paraná. **Resolução nº 21/2009-Sema/IAP**, 2009. Disponível em: http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/RE.

SILVA, E. A; SILVA, R. S. da. **Ecotécnicas urbanas e regeneração ambiental das cidades**. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Anais do ENTAC, Canela-RS, 2010. p. 1-10. Disponível em: <https://livrozilla.com/doc/810870/ecot%C3%A9cnicas-urbanas-e-regenera%C3%A7%C3%A3o-ambiental-das-cidades>. Acesso em 12 de agosto de 2018.