



## ESTUDO SOBRE O USO DE BACIA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO COMO ALTERNATIVA PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES

**Heitor Soares Machado, Saulo Paulino Salgado, Andréia Boechat Delatorre (\*), Beatriz Rohden Becker, Cristiane De Jesus Aguiar**

\* Universidade Estácio de Sá – Campus Macaé (Bolsista de pesquisa e produtividade UNESA)

e-mail: andreiadelatorre@hotmail.com

### RESUMO

A bacia de evapotranspiração (BET) é um sistema de tratamento e reaproveitamento do efluente proveniente de vasos sanitários. Esse sistema é fechado, não há saída de água, seja para filtros ou sumidouros. Nele ocorre a decomposição anaeróbica da matéria orgânica, mineralização e absorção dos nutrientes e da água, pelas raízes dos vegetais. Os nutrientes deixam o sistema incorporando-se a biomassa das plantas e a água é eliminada por evapotranspiração, isto é, não há deflúvio, evitando assim a poluição do solo ou o risco de algum microrganismo patogênico sair do sistema. Esse trabalho tem por objetivo estudar a Bacia de Evapotranspiração, que se apresenta como uma solução individual empregável para o tratamento de esgotos domiciliares, podendo ser facilmente construído e implantado em construções residenciais. O estudo mostrou que para cada morador é necessário 2m<sup>3</sup> de bacia para que o sistema funcione sem extravasamento. No dimensionamento deve ser implementado 2m de largura, 1m de profundidade e o comprimento deve ser igual ao número de moradores. Além disso, vala de infiltração (conforme NBR 13969/1997) para disposição final do efluente extravasado. A BET é um método alternativo sustentável, pois reduz a poluição e a contaminação das águas, promovendo a segregação das águas negra (provenientes do vaso sanitário) e das águas cinza (não contaminadas com fezes), realizando o tratamento simplificado e descentralizado dos diferentes tipos de efluentes domésticos, possibilitando o reuso de água e nutrientes contidos no esgoto. O sistema ainda apresenta baixo custo, fácil construção e não necessita de manutenção, tornando sua implementação uma vantagem, pois o sistema apresenta diversos processos biológicos que produzem nutrientes que alimentam plantas em seu topo e com isso, geram frutos saudáveis para consumo, tornando-a um substituto eficaz do tratamento de esgoto convencional.

**PALAVRAS-CHAVE:** Bacia de Evapotranspiração; tratamento de efluente; BET.

### ABSTRACT

The evapotranspiration basin (BET) is a system for the treatment and reuse of effluent from toilets. This system is closed, there is no water outlet, either for filters or sinks. It contains anaerobic decomposition of organic matter, mineralization and absorption of nutrients and water by the roots of vegetables. The nutrients leave the system incorporating the biomass of the plants and the water is eliminated by evapotranspiration, that is, there is no defluvia, thus avoiding soil pollution or the risk of some pathogenic microorganism leaving the system. This work aims to study the Evapotranspiration Basin, which presents itself as an individual solution that can be used for the treatment of domestic sewage and can be easily built and implemented in residential buildings. The study showed that for each resident, 2m<sup>3</sup> of basin is necessary for the system to work without overflow. When dimensioning, 2m wide, 1m deep and the length must be equal to the number of residents. In addition, infiltration ditch (according to NBR 13969/1997) for final disposal of the overflowing effluent. BET is a sustainable alternative method, as it reduces water pollution and contamination, promoting the segregation of black water (from the toilet) and gray water (not contaminated with faeces), performing simplified and decentralized treatment of different types domestic effluents, enabling the reuse of water and nutrients contained in the sewage. The system still has low cost, easy construction and does not require maintenance, making its implementation an advantage, since the system has several biological processes that produce nutrients that feed plants at the top and, with that, generate healthy fruits for consumption, making it an effective substitute for conventional sewage treatment.

**KEYWORDS:** Evapotranspiration Basin; effluent treatment; BET.

### INTRODUÇÃO

No Brasil os investimentos no setor de saneamento, principalmente no tratamento de esgoto, ocorreram mais especificamente entre as décadas de 1970 e 1980. Porém, ainda hoje o país apresenta uma grande insuficiência no tratamento da água por meio da rede de esgoto e na coleta do mesmo, principalmente nas áreas rurais de agricultura familiar, que afeta de modo direto a relação entre saúde e saneamento. Essa falha na implantação de sistema de esgoto age no contexto do processo de desenvolvimento social, pois ocorre contaminação dos rios, lençóis freáticos, nascentes e



lagos, além de produzir odores desagradáveis com a presença de insetos e podendo haver desmoronamentos laterais com riscos de acidentes. Tornando-se indispensável à criação de tecnologias alternativas para a recuperação dessas questões no campo, essencialmente em patrimônios agrícolas que se encontram próximas as margens de rios e nascentes.

Atualmente, o país tem sido mais atencioso com as questões ambientais investindo em projetos sustentáveis, pois os sistemas convencionais de tratamento de esgotos provocam impactos ao meio ambiente e à saúde das populações, pelo lançamento de esgotos parcialmente tratados em corpos de água.

Segundo o IBGE (2017), somente 38,2% dos municípios informaram ter Política Municipal de Saneamento Básico em 2017, apesar dos baixos índices, quando comparados há um aumento de 35,4% em relação a 2011. Por outro lado, 68,3% dos domicílios com esgotamento sanitário (Rede geral ou fossa séptica ligada à rede). Embora o número de municípios com Política Municipal de Saneamento Básico ainda não tenha atingido a metade dos municípios do País, a Lei Federal do Saneamento Básico (Lei n. 11.445, de 05.01.2007) e o Decreto n. 7.217, de 21.06.2010, que a regulamenta, demonstram ser instrumentos importantes na promoção de melhorias no arcabouço institucional dos municípios em relação à gestão de seus serviços de saneamento básico. Quase metade das cidades do país (47,8%), não existe órgão de fiscalização de qualidade da água (IBGE, 2019).

O esgoto doméstico é composto essencialmente por água de banho, excretas, papel higiênico, restos de comida, sabão, detergentes e águas de lavagem, oriundos das águas servidas de residências, instituições, estabelecimentos comerciais ou quaisquer edificações que disponham de instalações de banheiros, lavanderias e cozinhas (MINISTÉRIO DA SAÚDE *et al.*, 1999).

De acordo com sua origem e composição, o esgoto pode ser classificado em: i) água negra, esgoto proveniente do vaso sanitário, composto principalmente por água, urina e fezes; ii) águas servidas de pias, chuveiro, lavadora de roupas e iii) água cinza. A maior parte da carga orgânica e de patógenos é derivada da água negra, apesar de ser produzida em menor volume, apresenta maior risco de contaminação. Visando à simplificação o tratamento da água negra em sistemas mais compactos e descentralizados e do tratamento de esgoto doméstico, a segregação na fonte é um passo que possibilita a reutilização da água cinza (OTTERPOHL *et al.*, 2001).

O lançamento de esgotos, tratados ou não, em córregos e rios é uma das principais causas da degradação de mananciais de água potável, sendo necessária a pesquisa de maneiras eficientes de tratamento do esgoto domicílio e reuso do mesmo (OTTERPOHL *et al.*, 2001).

A principal característica marcante da indústria de saneamento é a presença de custos fixos elevados em capitais altamente específicos. A falta de saneamento rural é uma das principais causas de insalubridade e degradação hídrica, caracterizando-se pela disposição inadequada de resíduos sólidos e líquidos, demandando estudos acerca do tema para melhoria da qualidade de vida da população, por isso hoje os estudos envolvendo os recursos hídricos têm como princípio analisar toda a bacia hidrográfica, suas características físicas, as atividades nela desenvolvida, o tipo de manejo empregado entre outros (VILLWOCK *et al.*, 2014).

Segundo Macaço *et al.*, (2019), os principais objetivos no processo de tratamento de esgoto doméstico: remover o material sólido; reduzir as substâncias químicas indesejáveis; exterminar micro-organismos patogênicos; reduzir a demanda bioquímica de oxigênio. O que indicará um tratamento ideal para cada tipo de efluente será de acordo com a carga poluidora e a presença de contaminantes.

Um dos métodos que podem ser eficazes é a Bacia de Evapotranspiração que se refere a um sistema de tratamento de água usada na descarga de sanitários convencionais, chamada água negra. Consiste em um sistema que não gera nenhum efluente e evita a poluição do solo, das águas superficiais e do lençol freático. Através dele os resíduos humanos são transformados em nutrientes para plantas e a água só sai por evapotranspiração, portanto completamente limpa (GLEYSOON *et al.*, 2014). A técnica desenvolvida e difundida por permacultores de diversas nacionalidades referentes à bacia de evapotranspiração, mostra que seu potencial permite a aplicação no tratamento domiciliar de águas negras em zonas urbanas e periurbanas (PAMPLONA & VENTURI, 2004; MACHADO *et al.*, 2019).

Sendo assim, esse trabalho tem por objetivo estudar a Bacia de Evapotranspiração (BET), que se apresenta como uma solução individual empregável, analisando sua eficácia e mostrando a viabilidade econômica e social deste equipamento para o tratamento de esgotos domiciliares, podendo ser facilmente construído e implantado em cada residência.

## ESTUDO DE CASO

O Estudo de caso dessa pesquisa foi desenvolvido pensando na instalação de um sistema de tratamento de água negra por meio do uso de bacia de evapotranspiração, que pudesse atender a demanda da Universidade Estácio de Sá - Campus Macaé. Para tanto, a metodologia utilizada foi fundamentada por meio de referências extraídas da internet e em pesquisas bibliográficas. O caso em si estudado se caracteriza com um grande número de alunos, que utilizam diariamente os sanitários da Instituição. No entanto, o uso diário é variado devido ao fluxo de alunos presentes. Sendo assim, quanto maior a quantidade de pessoas que serão usuárias da BET, mais espaço será necessário para efetuar a instalação do sistema na universidade.

O sistema foi estudado de forma empírica, simulando como seria a implementação real de um sistema de tratamento por evapotranspiração (BET). Para tanto, projetou-se uma bacia de tratamento que atenderia um dos banheiros da Universidade Estácio de Sá- Campus Macaé. A escolha do banheiro se deu visando onde a hidráulica facilitasse a aplicação do sistema. Na pesquisa foi destinado à BET apenas o esgoto do vaso sanitário (água negra), encaminhando-se as águas cinza (pias e chuveiro) para a fossa já existente na Instituição.

## Etapas de implementação de uma bacia de evapotranspiração



Um dos maiores obstáculos é o dimensionamento da área necessária devido à grande variabilidade de usuários e isso dificulta os cálculos referentes ao dimensionamento do sistema. Para se ter uma garantia do sistema de tratamento eficaz, seria necessário uma alta estimativa de usuários, tornando assim o comprimento da BET muito extenso e sendo totalmente inviável para a instalação no Campus. Para a implementação desse sistema, alguns passos devem ser analisados para que possa obter o melhor desempenho do sistema.

### Orientação em relação ao sol

O sol tem uma grande influência em questão à evapotranspiração, a bacia deve ser orientada para a face norte (no hemisfério sul) e sem obstáculos como árvores altas próximos à bacia, tanto para permitir a ventilação como para não fazer sombra.

### Dimensionamento da BET

Na prática, observa-se que 2m<sup>3</sup> de bacia para cada morador é o suficiente para que o sistema funcione sem extravasamentos. A forma de dimensionamento da bacia é: comprimento é igual ao número de moradores usuais da casa, largura de 2m e profundidade de 1m. Para uma casa com cinco moradores, a dimensão será dada por:

$$(L \times P \times C) 2 \times 1 \times 5 = 10 \text{m}^3$$

**Equação (1)**

Para uma faculdade será necessário pegar o número total de pessoas, que varia em torno de 1400, entre administrativo, alunos, professores, pessoas que prestam serviços em cantina, estacionamento, laboratório, limpeza, manutenção e etc, multiplicar por 2 (largura) e depois por 1 (profundidade), mas como podemos notar, o sistema teria que ocupar uma área muito grande para uma faculdade. Portanto, a maior adaptação da BET será em um meio residencial (número reduzido de usuários) com um espaço adequado para sua instalação.

### Construção da BET

Entre inúmeras maneiras de se construir a bacia de evapotranspiração, mas, analisando a parte econômica e sem perder a segurança do sistema, o método mais indicado de construção das paredes e do fundo é o ferrocimento. As paredes ficam mais leves, levando menos materiais. O ferrocimento consiste em uma técnica de construção com grade de ferro e tela de “viveiro” coberta com argamassa. A argamassa da parede deve ser a mistura de duas partes de areia por uma parte cimento e argamassa do piso deve ser de duas partes de areia por uma parte cimento. Pode-se usar uma camada de concreto sob o piso, caso o solo não seja muito firme.

### Câmara anaeróbia

Após o término da construção da bacia e testado a sua impermeabilidade, mantendo-a úmida por três dias, poderá se iniciar a construção da câmara, onde será executada com o uso de pneus usados e entulhos de obras. A câmara é composta do duto de pneus e de tijolos inteiros alinhados ou cacos de tijolos, telhas e pedras, colocados até a altura dos pneus. Isto cria um ambiente com espaço livre para a água e beneficia a proliferação de bactérias que irão transformar os sólidos em moléculas de micronutrientes.

### Dutos de inspeção

Após a câmara finalizada, junto com a parte interna, pode-se iniciar a fixação dos 3 dutos de 50mm de diâmetro, para a inspeção e coletas de amostras de água.

### Camadas de materiais

De acordo com o desgaste de um pneu usado, a sua altura gira em torno de 55 cm, que juntamente com a colméia de tijolos de cada lado vão formar a primeira camada de preenchimento da bacia de evapotranspiração, irão restar ainda 45 cm em média para completar a altura da BET e serão necessárias mais 4 camadas de materiais. A segunda camada é a de brita (com +/- 10 cm), logo após, uma manta de Bidim para evitar que a areia desça e feche os espaços da brita, pois a camada superior é de areia (com +/- 10 cm). E a quarta é a do solo (com +/- 25 cm) que vai até o limite superior da bacia. Importante se atentar ao uso de um solo rico em matéria orgânica e mais arenoso do que argiloso. A última camada é a palha que recobrirá todo o solo com as plantações.

### Proteção

Como temos uma tampa natural como o solo no topo do sistema, é necessário evitar alagamento para não gerar problemas na evapotranspiração, sendo assim, a necessidade da camada superior ser de palha. Portanto, deverá dispor sobre o solo matérias orgânicas que irão auxiliar para evitar o alagamento, como aparas de grama e folhas que caem das plantas para formar um colchão por onde a água da chuva escorre para fora do sistema. Para evitar a entrada da água que escorre pelo solo, é colocada uma barreira de tijolos ou blocos de concreto, ao redor da bacia para que ela fique levemente mais alta que o nível do terreno.

### Cobertura (Plantio)

Por fim, as plantas que mais se enquadram na necessidade da bacia, são as espécies que tem por característica folhas grandes, como bananeiras, taiobas, mamoeiro, entre outros. É indicado utilizar o rizoma (raiz que cresce horizontalmente) inteiro ou uma cunha (parte de um rizoma) com uma gema visível. Após efetuar a escavação dos buracos que serão utilizados no plantio (no mínimo 30x30x30 cm) deve-se enchê-las com matéria orgânica. O rizoma deve ficar há uns 10 cm, em média, abaixo do nível do solo. Quando plantada a partir de rebentos (mudas), posicione-os inclinados para fora, isso facilitará a colheita e o manejo das bananeiras.



**Figura 1: (A) Disposição dos pneus de forma linear, a fim de criar um túnel (câmara bio-séptica) e na parte externa, complementação com cascalhos, material com alta porosidade para facilitar na transferência natural do efluente; (B) Câmara Bio-Séptica; (C) Instalação do cano de PVC que irá efetuar a transferência da água negra do vaso até o interior da câmara séptica, (D) Camadas restantes e plantio**

A Disposição de todas as outras camadas no sentido de ascensão, com cascalho, bidim, areia, terra, plantio e palha. Cada elemento tem sua finalidade, o cascalho, juntamente com a areia e o bidim, efetua um sistema de filtragem do efluente. A terra, necessária para o plantio e auxílio na absorção do efluente pelas plantas, que devem ter folhas largas para facilidade da evapotranspiração e por fim, a palha, para evitar alagamentos no local (Figura 1). Após a construção, as etapas que tratam o efluente estão apresentadas no Quadro 1.

**Quadro 1: etapas do tratamento**

<b>Fermentação</b>	O efluente é decomposto pelo processo de fermentação (digestão anaeróbia) realizado pelas bactérias na câmara bio-séptica de pneus (neste caso) e nos espaços criados entre as pedras e tijolos colocados ao lado da câmara.
<b>Segurança</b>	Como não há como garantir a eliminação completa dos microorganismos patogênicos, os mesmos ficam enclausurados no sistema. Pode ser observado, visto que a bacia é um sistema fechado. É necessário ter espaços livres para o volume total de água e resíduos recebidos durante um dia, deverá ser construído de uma maneira que evite as infiltrações causadas pela chuva e os vazamentos causados pelo excesso de efluente dentro da câmara. Sendo assim, a necessidade do auxílio e acompanhamento de um engenheiro ou técnico qualificado, para garantir que seja uma unidade totalmente vedada.
<b>Capilaridade</b>	Visto que a água está presa na bacia, ela se move por meio de capilaridade de baixo para cima, ocorrendo uma filtração ao passar pelas camadas superiores, como a brita, areia e solo, chegando as plantas.
<b>Evapotranspiração</b>	Nesse processo é possível observar o tratamento final que a água recebe, onde só sairá do sistema em forma de vapor e sem nenhum contaminante. A evapotranspiração é realizada pelas plantas que foram colocadas na parte superior da BET e além desse processo, as mesmas efetua um segundo auxílio ao sistema, consumindo os nutrientes em seu processo de crescimento, permitindo que a bacia não encha. Os principais processos biológicos, químicos e físicos envolvidos no funcionamento do TEv são: degradação microbiana anaeróbia, decomposição aeróbia; precipitação e sedimentação de sólidos; movimentação da água por capilaridade; absorção de água e nutrientes pelas plantas.

### AValiação DO DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

Levando em consideração que, em média, cada pessoa utilize o vaso sanitário cerca de quatro vezes por dia e o volume de cada descarga varie entre 7 e 20 litros, variando com o tipo de equipamento, pode-se estimar que o consumo de água médio por pessoa, relativo ao uso do vaso sanitário, varie entre 28 e 80 litros por dia. Se espelhando para ter como base

de cálculo uma caixa de descarga com capacidade para 8 litros, estima-se um consumo per capita de 32 litros por dia. Pode-se então propor a seguinte equação para o cálculo de dimensionamento do sistema:

Eq. (2)

$$A = \frac{n \cdot Qd}{(ETo \cdot Ktepvat) - (P \cdot Ki)} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

A = área superficial do tanque ou bacia, em m<sup>2</sup>;

n = número médio de usuários do sistema;

Qd = vazão diária por pessoa, em l.d<sup>-1</sup>, de acordo com o tipo de descarga e o número de utilizações por pessoa;

ktepvap = coeficiente do tanque, adotado como 2,71, para as condições da realização da pesquisa (GALBIATI, 2009);

ET0 = evapotranspiração de referência média do local, em mm.d<sup>-1</sup>;

P = pluviosidade média do local, em mm por dia;

ki = coeficiente de infiltração, variando de 0 a 1.

O valor de ktepvap = 2,71 foi adotado para as condições da realização da pesquisa (GALBIATI, 2009). Esse coeficiente pode variar de acordo com fatores como condições de insolação sobre o tanque e incidência de ventos.

De acordo com o Parreira e Santos (2016), o balanço hídrico entre os anos de 2012 a 2015, a pluviosidade média do local (P) do município de Rio Verde, foi de 4,29 mm/dia, e a evapotranspiração média do local (ET0), foi de 3,92 mm/dia.

Por não haver influência da vegetação, considerou-se 1 para o coeficiente de infiltração (Ki).

Na Tabela 1, temos indicações da área necessária para construção da BET, levando em consideração a equação do dimensionamento Eq (2).

**Tabela 1: Determinação da área necessária para construção da BET**

Determinação da área necessária para a construção da BET, a partir da equação de dimensionamento eq (1).

Entrada		A (m <sup>2</sup> )		
N	Consumo l/d96	Ki = 1	Ki = 0,5	Ki = 0,2
2	64	8,1	6,5	5,8
3	96	12,1	9,7	8,7
4	128	16,1	13,0	11,6
5	160	20,1	16,2	14,5
6	192	24,2	19,4	17,4

Fonte: (GALBIATI 2009)

O volume útil da câmara de pneus da bacia de evapotranspiração na residência seguiu-se as recomendações propostas pela NBR 7.229/1993 (Eq. 3):

$$V = 1000 + N (C \cdot Td + K \cdot Lf) \quad \text{Equação (3)}$$

Em que: V = Volume útil (L);

N = Número de pessoas ou unidades de contribuição;

C = Contribuição de despejos, em L/pessoa x dia ou em L/unidade x dia (Tabela 5);

Lf = Contribuição de lodo fresco, em L/pessoa x dia. (Tabela 9);

Td = Período de detenção (dias) (Tabela 2);

K = Taxa de acumulação total de lodo, em dias (Tabela 3).

Na Tabela 2, pode ser observado o período de detenção dos despejos por faixas de contribuições diárias.

**Tabela 2 - Período de detenção dos despejos, por faixas de contribuição diária.**

Contribuição Diária (L)	Tempo de detenção (Td)	
	Dias	Horas
Até → 1.500	1,00	24
De 1.501 a 3.000	0,92	22



De 3.001 a 4.500	0,83	20
De 4.501 a 6.000	0,75	18
De 6.001 a 7.500	0,67	16
De 7.501 a 9.000	0,58	14
Mais que 9.000	0,50	12

Fonte: ABNT 7.229/1993

O sistema da bacia de evapotranspiração não necessita de limpeza como nas fossas sépticas, que variam de 1 a 5 anos, então para a taxa de acumulação de lodo (K), foi utilizado o maior intervalo entre limpezas disponível na NBR 7.229/1993, que é a de 5 anos e a temperatura ambiente é acima de 20°C (Tabela 7).

Na tabela 7, as informações são relacionadas com a taxa de acumulação de Iodo, em dias, por intervalos entre limpezas e temperatura do mês mais frio.

**Tabela 3: Taxa da acumulação do Iodo (K), em dias, por intervalos entre limpezas e temperatura do mês mais frio.**

Intervalos entre limpezas (anos)	Valores de K por faixa de temperatura ambiente (T), em °C		
	T ≤ 10	10 ≤ T ≤ 20	T > 20
1	94	65	57
2	134	105	97
3	174	145	137
4	214	185	177
5	254	225	217

Fonte: ABNT 7.229/1993

Após a resolução do cálculo do volume útil (V), determinou-se a profundidade mínima e máxima da bacia de evapotranspiração, como pode ser visualizado na Tabela 4.

**Tabela 4 - Profundidade mínima e máxima por faixa de volume útil.**

Volume útil (m³)	Profundidade útil mínima (m)	Profundidade útil máxima (m)
Até 6,0	1,20	2,20
De 6,0 a 10,0	1,50	2,50
Mais que 10,0	1,80	2,80

Fonte: ABNT 7.229/1993

Na Tabela 5, pode ser observada a contribuição diária de esgoto e de lodo fresco por tipos de prédios e de ocupantes.

**Tabela 5 - Contribuição Diária de Esgoto (C) e de Lodo Fresco (Lf) por Tipo de Prédio e de Ocupante**

Prédio	Unidade	Contribuição de esgotos (C)	Contribuição de Iodo fresco (Lf)
Ocupantes permanentes:			
Residência			
Padrão alto	Pessoa	160	1
Padrão Médio	Pessoa	130	1
Padrão Baixo	Pessoa	100	1
Hotel	Pessoa	100	1
Alojamento Provisório	Pessoa	80	1
Ocupantes temporários:			
Fábrica em geral	Pessoa	70	0,30
Escritório	Pessoa	50	0,20
Edifícios públicos ou comerciais	Pessoa	50	0,20
Escolas e locais de longa permanência	Pessoa	50	0,20
Bares	Pessoa	6	0,10
Restaurantes e similares	Pessoa	25	0,10
Cinemas, teatros e locais de curta permanência	Pessoa	2	0,02



Sanitários públicos	Pessoa	480	4,0
---------------------	--------	-----	-----

## FUNCIONAMENTO

A digestão anaeróbica irá ocorrer na água negra através de bactérias dentro da câmara bio-séptica de pneus e nos espaços criados entre as pedras e tijolos colocados ao lado da câmara. A camada de entulhos é poroso e naturalmente colonizado por bactérias que complementam a digestão. De acordo com o preenchimento com esgoto na bacia, o conteúdo preenche também as camadas superiores, de brita e areia, até atingir a camada de solo acima, através da qual se move por ascensão capilar até a superfície, de onde evapora. Ao percorrer o trajeto, o efluente é filtrado e mineralizado, através de processos aeróbios de decomposição microbiana. As raízes das plantas na superfície se desenvolvem em busca de água e dos nutrientes disponibilizados pela decomposição da matéria orgânica. Ao chegar ao topo, ocorrerá a evapotranspiração, onde a água é eliminada do sistema, enquanto que os nutrientes presentes são absorvidos pelas plantas.

Na camada mais inferior da câmara, irá ocorrer à digestão anaeróbica, o mesmo consiste em um processo que por meio de um grupo de micro-organismos agem interativamente na conversão da matéria orgânica complexa em compostos mais simples, como água, metano, gás carbônico, gás sulfídrico e amônia, além de gerar novas células bacterianas. O processo ocorre em duas fases. Na primeira, os compostos orgânicos complexos como lipídios, proteínas e carboidratos serão fermentados e biologicamente convertidos em materiais orgânicos simples, principalmente ácidos voláteis, por um grupo de bactérias anaeróbias e facultativas, denominadas acidogênicas ou fermentativas. Na segunda fase, ocorre a conversão dos hidrogênio, gás carbônico e ácidos orgânicos em produtos finais gasosos, como o metano e o gás carbônico. Esta conversão é efetuada por um grupo específico de bactérias, denominadas metanogênicas, as quais são estritamente anaeróbias e irão depender dos substratos fornecidos pelas acidogênicas (CHERMICHAO, 2007).

Ao decorrer da ascensão do efluente do leito da bacia, em direção à superfície - onde é maior a presença de oxigênio - teremos os processos aeróbios de degradação da matéria orgânica. A massa microbiana envolvida nos processos aeróbios é constituída basicamente por bactérias e protozoários, sendo que as bactérias têm uma maior influencia no tratamento de esgoto. A conversão aeróbia da matéria carbonácea consome oxigênio do meio, gerando água, gás carbônico e energia. No ambiente aeróbio, os compostos orgânicos nitrogenados passam pelo processo de nitrificação, no qual a amônia é convertida em nitrito e, em seguida, em nitrato. O nitrogênio na forma de nitrato pode ser absorvido pelas raízes das plantas presentes na bacia (VON SPERLING, 1996).

A insaturação em água deve ser vista na parte superior da bacia. Nessa parte, a água continua ascendendo até a superfície, por capilaridade, que nada mais é que a interação dos fenômenos de coesão entre as moléculas de água e de adesão das mesmas em relação às partículas do solo, com finalidade de preencher seus poros menores. Também ocorre o fenômeno de adsorção da água pelas partículas do solo, onde serão carregadas eletricamente. Com a absorção da água do solo pelas raízes das plantas, irá estabelecer uma diferença de potencial nas regiões próximas às raízes e as regiões mais distantes. A água agirá de forma espontânea à procura de estados mais baixos de energia, se movendo em direção às raízes. Em condições climáticas propícias como a radiação solar, vento e umidade do ar abaixo da saturação. O potencial da água será diferente com relação à parte aérea da planta, que será menor do que nas raízes, o que provoca a translocação da água dentro da planta em direção às folhas, passando dessas para a atmosfera, tal fenômeno chamado de evapotranspiração (FERRI, 1985).

A evapotranspiração é mais comumente estudada e estimada com o objetivo de se dimensionar sistemas de irrigação de culturas agrícolas. Existem inúmeras referências (ET<sub>o</sub>) de um determinado local (PEREIRA *et al*, 1997).

O método mais adequado irá depender dos objetivos desejados e das vantagens e limitações de cada um deles. AET<sub>o</sub> é definida como a taxa de evapotranspiração de uma cultura hipotética, com uma altura de 0,12 m, resistência aerodinâmica da superfície de 69 s.m-1 e albedo de 0,23, sem falta de água. A evapotranspiração de cultura (ET<sub>c</sub>) é a evapotranspiração de uma cultura, nos seus diferentes estágios de desenvolvimento. A razão entre a evapotranspiração de cultura e a evapotranspiração de referência é:  $K_c = ET_c / ET_o$ , definido como coeficiente da cultura (K<sub>c</sub>). Quanto maior o coeficiente de uma cultura, maior sua evapotranspiração. Isso irá afetar diretamente na escolha das espécies a serem utilizadas na BET (PEREIRA *et al*, 1997); (SMITH, 1991).

Um dos métodos analisados é o de Hargreaves-Samani (1985), que foi desenvolvido para estudar e estimar a evapotranspiração de referência em clima semiárido, utilizando apenas dados de radiação extraterrestre como a temperatura máxima diária, temperatura mínima diária e temperatura média diária. Os dados utilizados são fornecidos pelas estações meteorológicas locais, razão pela qual o método foi escolhido para utilização neste trabalho (PEREIRA *et al*, 1997).

## CUSTOS

Os valores abaixo serão baseados em uma bacia de 1x2x1 metro, totalizando um volume de 2m<sup>3</sup>.

Para construção da parede de cimento, teremos as medidas externas de 1 metro de comprimento, 2 metros de largura, 1 metro de profundidade e 0,05m de espessura das paredes, totalizando 0,26 m<sup>3</sup> de volume.

Para esse volume, serão necessários os seguintes materiais:

- Cimento; 100 kg – R\$ 43,80

- Areia; 0,288 m<sup>3</sup> - R\$ 51,56



- Brita nº 1; 0,396 m³ - R\$ 36,90

- Impermeabilizante; 1% do cimento – R\$5,16

A parte interna será baseada na doação dos pneus que não se podem ser mais utilizados e nem comercializados, portando, o volume (0,312m³) que o mesmo ocupa, será descartado e não entrará no cálculo de custos.

- Tijolo; 0,312 m³ - R\$ 72,96 (o valor só será aplicado, caso não se consiga entulho, o melhor substituto é o tijolo ou telha comprados em lojas de materiais de construção.

- Brita nº 1; 0,01 m³ - R\$ 0,93

- Areia; 0,01 m³ - R\$ 1,79

- Bidim; 0,06 m³ - R\$ 14,22

O total aproximado para se construir uma BET será de R\$ 227,32. Caso se queira efetuar a construção da BET para mais pessoas, será necessário usar como base os valores em metros cúbicos e utilizar a Eq. 4:

$$V_T = \left( \frac{68,71xV_P}{0,14} \right) + \left( \frac{82,79xV_I}{0,392} \right) \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

$V_T$  = Valor total;

$V_P$  = Volume da parede;

$V_I$  = Volume interno;

Esses seriam os custos aproximados para efetuar a construção da BET e a fórmula para se chegar a um valor aproximado, caso seja necessário a construção de uma bacia maior.

Abaixo, na Tabela 10, temos um esquema de uma das composição necessárias para se construir a BET.

**Tabela 6: Quantidade de materiais necessários para construção da bacia de evapotranspiração.**

Material Utilizado	Quantidade
Cimentos	4 pc / 50Kg
Areia	1 m³
Brita (cascalho)	1 m³
Entulho (diversos)	3 m³
Pneus	20 pneus
Tela de galinheiro	15m x 1,5m
Cano PVC 100mm	6 metros
Joelho PVC 100mm	1 unidade
Tijolo	40

Foi constatado, em uma BET construída por alunos da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, durante os ensaios de verificação da variação do nível do tanque, que, abaixo do nível de 55 cm, o efeito da evapotranspiração é praticamente nulo, provavelmente pelo fato dos substratos – entulho cerâmico, pneus e brita - não permitirem a ascensão capilar da água contida nessas camadas (PROPP *et al.*, 2008/09).

Os resultados obtidos das análises físico-químicas do efluente desse mesmo tanque e foi feito uma comparação em relação aos resultados obtidos por (REBOUÇAS *et al.*, 2007) para amostras de água negra bruta, cada uma composta por 6l de água, papel higiênico, fezes e 250 ml de urina. Resultados podem ser observados na Tabela 7. Apesar da BET não ser considerada um sistema de tratamento de esgoto para o qual se possa aplicar o conceito de “eficiência” onde se trata de avaliar a diferença entre a qualidade do esgoto que entra e o que sai do tanque, a observação dos valores obtidos nas análises físico-químicas auxiliam na compreensão do funcionamento do sistema.

É possível observar uma boa remoção de sólidos suspensos totais e turbidez, provavelmente devido ao seu fluxo ascendente, onde ocorre a passagem pela camada de areia e solo. O mesmo pode-se dizer dos níveis de DQO e DBO<sub>5,20</sub>. Não se pode afirmar, comparando os dados, que houve uma concentração maior do efluente de saída, em relação ao conteúdo do interior do tanque. A evaporação contínua da água apresenta valores menores para os parâmetros analisados, em comparação com os encontrados na água negra bruta, apresentados por (REBOUÇAS *et al.*, 2007). Isso pode significar que os processos de decantação, sedimentação, decomposição da matéria orgânica e filtragem pelo solo e pelas raízes das plantas, que ocorrem no tanque, exercem a função de tratamento do efluente, demandando futuras pesquisas para a determinação dos seus índices de eficiência (PROPP *et al.*, 2008/09).

Na Tabela 11 a seguir, temos os resultados das análises físico-químicas do efluente do interior e da saída da BET, que foram comparados com dados encontrados na bibliografia.

**Tabela 7: Resultados das análises físico-químicas do efluente do interior e da saída da BET, comparado com dados encontrados na bibliografia**

	Interior do tanque	Saída



Parâmetro	Unidade	Média	Desvio padrão	Média	Desvio Padrão	Rebouças (2007)
pH		7,84 (9)*	0,28	7,81 (10)	0,14	7,84
Condutividade	$\mu\text{S cm}^{-1}$	2,22 (9)	0,53	2,45 (10)	0,52	
Turbidez	NTU	481,04 (9)	291,35	88,01 (10)	44,22	
CT	NMO 100 m L <sup>-1</sup>	$1,65 \times 10^7$ (3)	$1,47 \times 10^7$	$3,24 \times 10^7$ (7)	$6,91 \times 10^7$	$1,5 \times 10^9$
E. coli	NMO 100 m L <sup>-1</sup>	$5,15 \times 10^6$ (3)	$4,72 \times 10^6$	$3,71 \times 10^6$ (6)	$5,27 \times 10^6$	
DQO	mg L <sup>-1</sup>	723,46 (9)	363,41	406,05	257,85	6619
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	mg L <sup>-1</sup>	54,46 (5)	20,27	43,18 (6)	30,68	
NH <sub>3</sub>	mg L <sup>-1</sup>	326,85 (5)	81,04	46,21 (5)	96,74	
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0,03 (5)	0,02	0,44 (5)	0,66	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0,17 (5)	0,04	0,17 (5)	0,08	
NTK	mg L <sup>-1</sup>	335,40 (5)	89,30	227,01 (5)	145,44	365
OD	mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	0,00 (1)	0,00	0,00 (1)	0,00	
DBO <sub>5,20</sub>	mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	360,88 (5)	237,37	72,74 (5)	24,92	1893
ST	mg L <sup>-1</sup>	1137,58 (6)	249,24	746,75 (6)	205,04	
SST	mg L <sup>-1</sup>	385,69 (9)	200,01	37,74 (9)	11,50	2365
Cloreto	mg L <sup>-1</sup>	141,38 (4)	83,31	154,01 (4)	88,86	
Alcalinidade	mg L <sup>-1</sup>	816,04 (5)	341,11	1061,56 (5)	251,10	

\* (nº de amostras)

NMP = Número Mais Provável

NTU = Unidades Nefelométricas de Turbidez

Ao analisar o efluente final, onde são encontrados nutrientes como fósforo e nitrogênio observa-se a conveniência de sua utilização como fertilizante, como em valas de infiltração, onde futuramente sejam introduzidas plantas.

A detecção de coliformes totais detectada, referente à análise efetuada de amostras da parte aéreas da taioba plantadas no tanque foi de número mais provável por grama (NMP g<sup>-1</sup>) de  $1,1 \times 10^4$ , já nas amostras de partes externas de taioba plantadas no interior do tanque foi de NMP g<sup>-1</sup> =  $1,2 \times 10^2$ . No entanto, não foi detectada presença de coliformes termotolerantes nas amostras de dentro do tanque, sendo que as amostras de plantas de fora do tanque apresentaram NMP g<sup>-1</sup> =  $3,9 \times 10$  de coliformes termotolerantes. A partir dessas informações preliminares, pode-se afirmar que o consumo dessas das plantas que estão presentes no tanque, podem ser destinadas para fins alimentícios, desde que se proceda à higienização das folhas com hipoclorito de sódio ou ácido peracético, como se procede com outras hortaliças, conforme Srebernich (2007) (PROPP et al, 2008/09).

## CONCLUSÃO

Conclui-se que a bacia de evapotranspiração tem uma fácil construção, de forma econômica e não necessita de manutenção, tornando sua obtenção uma vantagem. Ecológica e com diversos processos biológicos, a mesma produz os nutrientes que alimentam plantas em seu topo e com isso, geram frutos saudáveis para consumo, tornado-a um substituto eficaz do tratamento de esgoto convencional.

O sistema tem suas dificuldades devido à suas necessidades de espaço, mas com o estudo adequado e um dimensionamento do tanque correto, o sistema pode ser extremamente útil, prático e ecologicamente correto.

Com relação ao estudo de caso efetuada na Universidade Estácio de Sá, campus Macaé-RJ, conclui-se que a BET não tem a possibilidade de ser implementada no local devido a extensão necessária para que se tenha um bom funcionamento do sistema, pois o número de alunos é alto e com constante variabilidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 357, 17 de março de 2005**. Estabelece normas e padrões para qualidade das águas, lançamentos de efluentes nos corpos receptores e dá outras providências.
2. Dias, I. C. A. **A influência das águas pluviais no sistema de esgotamento sanitário**. V Exposição de experiências municipais em saneamento. Assem. Santo André, 2004. Disponível em [http://www.semasa.sp.gov.br/Documentos/ASSEMAE/Trab\\_59.pdf](http://www.semasa.sp.gov.br/Documentos/ASSEMAE/Trab_59.pdf). Acesso: 16 de dezembro de 2009.
3. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). **Habituação e meio ambiente: assentamentos urbanos precários**. Anais do Seminário de Avaliação de Projetos IPT. São Paulo: IPT, 2002.



4. Machado, H.S., SALGADO, S.P., Junior, L.G.F., Delatorre, A.B., Lima, B.D., Junior, A.D., David, W.P. **Bacia de evapotranspiração: uma alternativa viável para tratamento de efluentes em zonas rurais.** Engenharia sanitária e ambiental [recurso eletrônico]: tecnologias para a sustentabilidade, vol. 2, capítulo 18, Ponta Grossa (PR), 2019.
  5. Loureiro, P. **Estudo de tanque de evapotranspiração para tratamento domiciliar de águas negras,** Departamento de Hidráulica e Transportes e Fernando Silva Bernardes, UFMS - Coordenadoria de Pesquisa – PROPP, 2008/09.
  6. Otterpohl, R.U. Black, brown, yellow, grey - the new colors of sanitation. *Water*, v.21, 2001
  7. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Anuário Estatístico do Brasil em 2019. Brasília: Ministério de Planejamento, 2019.
  8. SNIS (SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES EM SANEAMENTO). Disponível em: <www.snis.gov.br/>. Acesso em: 10 julho 2020.
  9. Chernicharo, C.A.L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; reatores anaeróbios.** ed 1. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 1997. v. 5.
  10. Pereira, A. R.; Villa Nova, N. A.; Sedyama, G. C. Evapo(transpi)ração. Piracicaba: FEALQ, 1997.
  11. Pereira, A. B.; Santos, G. O. **Balço hídrico climatológico para o município de Rio Verde, Goiás.** Rio Verde – GO: Universidade de Rio Verde, UniRV. Trabalho de Conclusão de Curso, 2016.
  12. Rebouças, M. M. P. S. **Caracterização de água cinzas e negras de origem residual e análise da eficiência de reator anaeróbicos com chincanas.** Tese de doutorado do programa de pós graduação em recursos hídricos e saneamento da Universidade Federal de Alagoas, 2011.
  13. Ferri M.G. **Fisiologia Vegetal.** Editora Pedagógica e Universitária Ltda. São Paulo. JORDÃO EP, PESSOA CA (1995) Tratamento de Esgotos Domésticos. 4ª Ed. Rio de Janeiro: ABES, 1985.
  14. GALBIATI, A. F. **Tratamento Domiciliar de Águas Negras através de Tanque de Evapotranspiração.** Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009.
  15. Von Sperling, M. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgoto.** Editora UFMG, 1996.
- Villwock, F. H.; Crispim, J.Q.; Rocha, J. A.; Malysz, S. T.; Cristófoli, A. **Projeto socioambiental mil árvores.** In: XI Congresso nacional do meio ambiente de poços de caldas, Poços de Caldas. Edição atual. Poços de Caldas: GSC Eventos, v. 6. p. 1-364, 2014.