

Soluções baseadas na Natureza para um novo paradigma no tratamento de esgoto em áreas urbanizadas

Cecilia Polacow Herzog¹

Resumo

Nesse artigo, são abordadas Soluções baseadas na Natureza (SbN) e híbridas, para tratamento de esgoto, que podem ser instaladas em diversas situações urbanas e periurbanas, com múltiplos benefícios ambientais, econômicos e para a saúde da população. O esgoto tratado de forma descentralizada e circular oferece oportunidades para o aproveitamento das águas, do lodo e gás emitido, com redução no consumo de energia e nas redes coletoras. SbN aumentam habitats para biodiversidade local, contribuindo para mitigar a emissão de gases efeito estufa. Sistemas de tratamento de esgoto baseados na natureza ou híbridos podem integrar parques urbanos. Em áreas mais extensas, podem ser implantados alagados construídos e, para áreas com restrição de espaço, sistemas compactos de baixo impacto. Tais soluções inovadoras são apresentadas ao longo do artigo.

Abstract

This paper presents hybrid and nature-based solutions (NBS) for wastewater treatment that may be applied to diverse urban and peri-urban contexts. They offer multiple environmental and economic benefits, with the enhancement of human health, and lower energy consumption. Decentralized and circular sewage treatment enables to recycle water, transform sludge in compost, and use gas to generate energy. NBS promotes habitats for biodiversity and contributes to mitigate GHG emissions. Hybrid or NBS systems may integrate urban parks. In large areas constructed wetlands are viable, in more restricted spaces compact low impact systems are smart options. Some innovative examples are also presented.

¹ Paisagista urbana, professora da graduação e pós-graduação do Departamento de Arquitetura e Urbanismo e coordenadora da pós-graduação em Paisagismo Ecológico: planejamento e projeto da paisagem, na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio). Pesquisadora, palestrante, perita e consultora em temas relacionados a Urbanismo Ecológico e Soluções baseadas na Natureza para cidades sustentáveis e resilientes.

Palavras-chave: Soluções baseadas na natureza. Tratamento de esgoto sustentável. Alagados construídos.

Keywords: *Nature-based Solutions (NBS). Sustainable wastewater treatment. Constructed wetlands.*

Mensagens principais

- O tratamento de esgoto é uma questão emergencial no Brasil.
- A água é um recurso essencial à vida. Como compõe quase a totalidade do esgoto, pode e deve ser tratada e reutilizada.
- O esgoto tem o potencial de gerar riqueza por meio de seus subprodutos sólidos e gasoso produzidos durante o processo de tratamento: o lodo pode se transformar em adubo para agricultura e regeneração de ecossistemas e, também, gerar energia térmica para aquecimento de água e cocção; o gás pode ser captado para uso como fonte de energia renovável.
- Soluções baseadas na Natureza oferecem múltiplos benefícios para as pessoas e sua qualidade de vida. A natureza e sua biodiversidade, oferecerem inúmeros cobenefícios, como a contribuição para a adaptação às crises climática e sanitária.
- O tratamento adequado de esgoto possibilita mitigar as emissões de gases efeito estufa (GEE) causadas pelo despejo indevido e impactante de esgoto nos corpos d'água, reduzindo a emissão de gás metano (CH₄), que é aproximadamente 30 vezes mais poluente que o dióxido de carbono (CO₂), e óxido nitroso (N₂O) (KOSSE *et al.*, 2018), que é centenas de vezes mais potente que os outros GEE (RIBEIRO *et al.*, 2013).
- Existem inúmeras tecnologias inovadoras para o tratamento de esgoto: Soluções baseadas na Natureza ou sistemas híbridos de alto desempenho que podem chegar a tornar a água balneável e até mesmo potável.

- Os tratamentos feitos por Soluções baseadas na Natureza (principalmente as etapas finais de fitorremediação²/biorremediação³, lagoas de polimento) podem ser inseridos em projetos de parques públicos multifuncionais, para usufruto por parte da população e *habitat* para a biodiversidade.
- A descentralização da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) é ideal, pois baixa os custos de implantação por demandar redes coletoras de pequenas extensões, gerando redução no consumo de energia e fechamento de ciclos no local.
- A adoção de sistemas compactos e inovadores demanda menor área para a sua instalação, sem impactar o ambiente do entorno, possibilitando melhor aproveitamento multifuncional de espaços nas cidades.
- O reuso da água limpa (para usos secundários ou até mesmo como insumo), do lodo para adubo e do gás para combustível é uma realidade e uma necessidade urgente a ser adotada como política pública para enfrentar os desafios contemporâneos.

1. Introdução

A qualidade das águas no Brasil é uma questão que se tornou emergencial devido ao contínuo lançamento de esgoto nos corpos d'água, por décadas, por uma população urbana crescente. Isso levou à contaminação por meio do lançamento de excessiva carga de matéria orgânica que potencializa o desenvolvimento de algas e bactérias nocivas à saúde humana e à vida aquática. Esses impactos têm causado imensos prejuízos à população, com ênfase à atual situação do fornecimento de água potável para os grandes aglomerados urbanos, como o exemplo da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, que depende da transposição de águas do rio Paraíba do Sul para o sistema Guandu, recebendo contaminação durante todo o seu percurso. O rio Paraíba

2 **Fitorremediação** é uma técnica de utilização de plantas em um local para a redução ou total remoção permanente de contaminantes de solos, águas, sedimentos e ar poluídos. É um processo que não demanda energia, é esteticamente agradável e tem ótimo custo-benefício. Retira tanto elementos orgânicos quanto inorgânicos, como zinco, cobre e magnésio, entre outros. A quantidade de poluentes retirados pelas plantas deve ser considerada na hipótese de uso desses vegetais para consumo por parte de animais, pois podem se tornar tóxicos (WAYBACKMACHINE, 2019).

3 **Biorremediação** é o processo biológico provocado naturalmente por organismos que vivem no solo, como bactérias, fungos e plantas (raízes), que metabolizam os contaminantes e degradam os poluentes encontrados na água ou no solo, além de capturar carbono (UNIFESP, 2020).

do Sul nasce no Estado de São Paulo e percorre a área conurbada⁴ entre as duas metrópoles, absorvendo despejo de esgoto e efluentes industriais⁵, com áreas de risco de contaminação de metais pesados em vários pontos de seu curso. Desde o final de 2019, as cidades que dependem dessa Estação de Tratamento de Águas (ETA) enfrentam uma situação calamitosa, com água insalubre, contendo alto teor de cloro, saindo das torneiras de milhões de brasileiros residentes no Grande Rio.

A situação dos mananciais e do tratamento de esgoto e outros efluentes em cidades menores e áreas rurais também é crítica no País.

A dependência de grandes ETE e ETA demanda extensas, ineficientes e caras redes para a condução tanto da água, da planta de tratamento até o ponto de consumo, quanto do esgoto, que leva o efluente da fonte geradora até o sistema de tratamento. Com isso, há uma imensa demanda de energia e desperdício no trânsito dos líquidos, por meio de vazamentos, falta de manutenção adequada, envelhecimento da rede, dentre outros fatores⁶.

Os dados fornecidos pelo Painel de Saneamento no Brasil, do Instituto Trata Brasil (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2019), revelam uma situação alarmante, não apenas pelos números expostos no Quadro 1, mas por conta da baixa qualidade do tratamento que, em sua maioria, é primário. Isso quer dizer que apenas os sólidos são retirados por gradeamento⁷ e a água retorna com contaminantes para os corpos d'água ou essas substâncias são conduzidas para o mar, por meio de emissários submarinos. Em ambos os casos, a vida aquática é comprometida e os ecossistemas fluvial e marinho são negativamente impactados.

4 **Conurbação** é um termo que foi cunhado por Patrick Geddes no início do século 20, quando as cidades começaram a se expandir e se conectar, formando extensas áreas urbanizadas, de todos os tamanhos e interdependentes. No caso brasileiro, a maior conurbação se encontra no eixo Rio-São Paulo, com todas as outras áreas metropolitanas a ele relacionadas.

5 **Efluentes industriais** correspondem a líquidos provenientes de processos industriais que podem vir com diversos componentes químicos e até mesmo metal pesado.

6 No sistema Guandu a perda é de 40% (WRI BRASIL, 2018).

7 **Gradeamento** - O esgoto passa por uma filtragem feita por grades que retêm os sólidos grosseiros, posicionadas transversalmente na entrada do esgoto (UFC, 2019).

Quadro 1. Dados de coleta e tratamento esgoto no Brasil

Coleta

- 53% dos brasileiros têm acesso à coleta de esgoto.
- Quase 100 milhões de brasileiros não têm acesso a este serviço.
- Cerca de 13 milhões de crianças e adolescentes não têm acesso ao saneamento básico.
- 3,1% das crianças e dos adolescentes não têm sanitário em casa.
- 36 municípios entre as 100 maiores cidades do País têm menos de 60% da população contando com coleta de esgoto.

Tratamento

- 46% dos esgotos do País são tratados.
- Somente 21 municípios dentre as 100 maiores cidades do País tratam mais de 80% dos esgotos.
- Em 2017, o País lançou aproximadamente 5.622 piscinas olímpicas de esgoto não tratado na natureza.

Fonte: Instituto Trata Brasil.

Os impactos na saúde humana são imensos, mesmo em cidades onde o esgoto é parcialmente coletado e até mesmo tratado. Em dias de chuvas intensas, ocorrem inundações e alagamentos contaminados pelo esgoto que é jogado diretamente em corpos d'água canalizados. Estes, por sua vez, transbordam, afetando a população (BONAIUTO; ALBERS, 2020), especialmente a mais carente e que muitas vezes mora em áreas vulneráveis a inundações e alagamentos. Os dados da saúde são alarmantes e os custos desse impacto não são contabilizados.

O esgoto doméstico é 99,9% composto por água, apenas 0,01% por contaminação de origem orgânica e inorgânica, tanto em suspensão quanto dissolvidos (UNICAMP, 2005). Com o

tratamento adequado, o potencial do reuso de água é imenso, bem como o do lodo e do gás metano emitido no processo de tratamento.

Visto por esse prisma, o esgoto é um patrimônio a ser tratado com a devida atenção, especialmente nos tempos atuais, em que a crise climática tem: por um lado, agravado os episódios de seca, colocando em risco a segurança hídrica; e, por outro, provocado chuvas intensas, que causam inundações, alagamentos e deslizamentos, com consequentes impactos na saúde. Esses eventos acarretam danos e perdas econômicas recorrentes, demandando um novo olhar sobre o potencial do tratamento de esgoto.

2. Sistemas de tratamento de esgoto inovadores e economia circular

Dentro do contexto de inovação, o tratamento de efluentes tem demonstrado um imenso potencial para a geração de uma nova economia verde e circular (MCDONOUGH; BRAUNGART, 2002), com a produção de água, adubo e combustível. Isso é possível por meio da adoção de ETE baseadas na natureza ou híbridas, sistemas que utilizam tecnologias aplicadas de modo a atender aos requisitos de contextos locais, tanto em áreas urbanas e periurbanas como rurais.

Estações de Tratamento de Esgoto sustentáveis e baseadas na natureza estão sendo alvo de pesquisa no Brasil e no mundo. Existem sistemas inovadores implantados trazendo benefícios e cobenefícios para a sociedade e a natureza. Contudo, tais sistemas ainda enfrentam diversas barreiras para a sua universalização devido: ao (1) desconhecimento de novas tecnologias e das Soluções baseadas na Natureza com essa finalidade; (2) à falta de ampla divulgação de suas potencialidades, de seu baixo custo e alto desempenho ecológico e social; (3) às reduzidas fontes de financiamento; e (4) ao reduzido número de tomadores de decisão com conhecimento técnico para a adoção e aprovação de projetos, dentre outras razões.

Há uma miríade de soluções com possibilidade de substituir as ETE convencionais, as quais normalmente ficam distantes dos locais da geração dos efluentes, o que demanda a implantação de redes de esgoto com elevatórias, exigindo altos investimentos e gerando perdas em seu curso, contaminando as águas superficiais e subterrâneas, além do solo. No Brasil, a perda durante o percurso do esgoto até a ETE, quando essa existe, é considerável (MORAIS; CAVALCANTE; ALMEIDA, 2010). A maioria das redes de coleta são distantes das ETE, antigas e sem adequada manutenção.

No Brasil, o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto (INCT ETEs Sustentáveis) tem encabeçado pesquisas em ETE sustentáveis, cuja definição é “que são concebidas e operadas segundo os preceitos da economia circular e do desenvolvimento sustentável, considerando as dimensões econômica, social e ambiental” (BREISSANI-RIBEIRO *et al.*, 2020).

Em Lisboa, a transformação de esgoto em água devidamente tratada levou à criação da *Fábrica de Águas* (Imagem 1), com vistas à mudança de paradigma no setor que destina água para diferentes finalidades, como irrigação, reuso em descarga sanitária e lavagem de ruas. Essas diferentes finalidades requerem distintos tratamentos da água de efluentes e, atualmente, evidenciam a capacidade daquele país de produzir água com as diferentes especificidades.

Recentemente, com um tratamento complementar, por meio de ozonização e osmose inversa, a companhia Águas do Tejo Atlântico firmou parceria com a Moinhos Água e Ambiente (água+) e a fábrica de cerveja artesanal “Cerlinx” para produzir a cerveja Vira. O objetivo é “virar” os hábitos e costumes, acabando com o preconceito de tornar esgoto em água potável (ÁGUAS DO TEJO ATLÂNTICO, 2020). Além do aproveitamento e da manutenção da qualidade da água do rio Tejo, as parceiras também separam os resíduos sólidos e dão destino aos diferentes componentes, com ênfase para a produção, a partir do lodo, de adubo destinado à agricultura. O projeto é focado na geração de uma economia circular, com o conceito do *Cradle-to-Cradle* (do Berço ao Berço), ao invés do paradigma atual, *Cradle-to-Grave* (do Berço ao Túmulo, ou seja, lixo ou aterro sanitário).

Além desses benefícios, a própria Fábrica de Águas de Alcântara, em Lisboa, é um projeto impressionante, com o maior teto verde da Europa cobrindo a estação de tratamento que recebe o esgoto produzido por aproximadamente 1 milhão de pessoas, moradoras das proximidades da bacia hidrográfica que perpassa a capital portuguesa e mais duas cidades vizinhas. A cobertura verde é biodiversa e faz parte do Corredor Verde de Alcântara, dando multifuncionalidade à ETE.

O modelo ideal é o de descentralização das ETE, de modo que atendam a bacias de coleta de fontes que estão próximas, de preferência, à montante. Desse modo, o material coletado pode descer por gravidade até a ETE, gerando redução dos custos de implantação, tanto pela eliminação de extensas e caras redes de esgoto quanto pela queda no consumo de energia. Podem também ser localizadas em parques e áreas com lagos de tratamento que oferecem numerosos serviços ecossistêmicos, com oferta de lazer para a população, ao mesmo tempo em que criam habitats para a biodiversidade (RIZZI; STEFANAKIS, 2020). As ETE têm um imenso potencial de se tornar parte de equipamentos públicos visíveis que oferecem múltiplos benefícios para a cidade, o bairro ou a área onde se localiza.

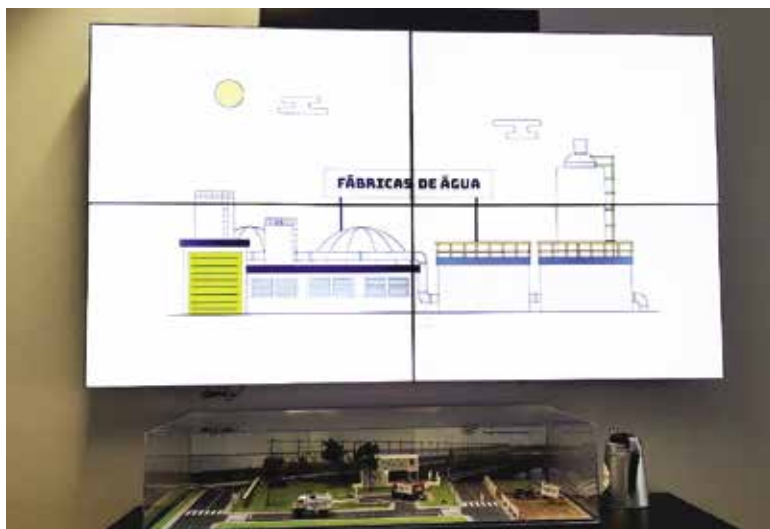


Foto 1. Esquema projetado da Fábrica de Água de Alcântara, com a maquete embaixo

Fonte: Registro da autora.

Existem ETE compactas que têm potencial para atender a diferentes demandas. Inúmeros sistemas estão sendo desenvolvidos e ofertados no mercado brasileiro, conforme explanado a seguir⁸.

Outro ponto importante é a implantação de coleta separada de águas residuais (chamadas cinzas, vindas de pias, chuveiros, lavagem de pisos, etc.) e das águas negras provenientes de esgoto sanitário. Isso aumenta a capacidade de tratamento específico para tipo de contaminação e melhora a coleta de nutrientes para o reuso em agricultura. Esse ponto tem se tornado importante em áreas urbanas, em razão do aumento de produção de alimentos em cidades, com o objetivo de tornar próximos a fonte produtora e o consumidor.

3. Soluções baseadas na Natureza e Tratamento de Água e Esgoto

As intervenções feitas nas paisagens – urbanas, periurbanas e rurais –, com alterações na cobertura do solo e nos processos naturais, eliminaram ou alteraram ecossistemas que mantinham as funções ecológicas dessas áreas, o que tem levado, muitas vezes, a consequências dramáticas. Os impactos do excesso (inundações e alagamentos) ou da falta de água; a poluição generalizada do ar, das

⁸ Veja os estudos de caso neste artigo.

águas e do solo, com impactos diretos sobre a saúde e o bem-estar das pessoas; e as emissões de gases de efeito estufa que aceleram o aquecimento global, têm levado à busca por alternativas mais harmoniosas com a natureza e seus processos e fluxos. As mudanças climáticas estão tornando a transição para cidades sustentáveis e resilientes mais urgente e crítica. Nesse contexto multiescalar, as Soluções baseadas na Natureza (SbN) estão se tornando alternativas cada vez mais aceitas e aplicadas para enfrentar os diversos desafios e manter o funcionamento das cidades.

O planejamento e desenvolvimento de projetos de SbN têm evoluído com muita rapidez e vêm atender às necessidades da urgente mudança de paradigma, que vai da tentativa de controle da natureza, por meio de técnicas que alteram os processos e fluxos naturais, para uma nova visão de convívio mais harmonioso com as águas, a biodiversidade e o suporte geofísico local. SbN são inovações que buscam regenerar processos e fluxos naturais em ambientes transformados, permitindo e estimulando a conectividade entre áreas verdes, fragmentos de ecossistemas e margens de corpos d'água, de forma a dar mais sustentabilidade e resiliência ao sistema urbano. São soluções inspiradas e mantidas pela natureza, oferecendo múltiplas funções, ao mesmo tempo e no mesmo local, com benefícios explícitos para a população. Os objetivos das SbN são proteger, restaurar e manejar, de forma sustentável, os ecossistemas essenciais para a manutenção da vida (EU, 2015).

As Soluções baseadas na Natureza estão ganhando mais visibilidade por conta dos imensos benefícios que trazem para a sociedade. São soluções sistêmicas que atendem a diversas necessidades e propiciam o fechamento de ciclos, tanto das águas como da produção de alimentos, no lugar onde é necessário, dentre outros serviços ecossistêmicos.

Novas formas de resolver a questão do tratamento de esgoto têm sido alvo de pesquisas e novos processos em que os insumos poluentes são transformados em ativos essenciais à vida e ao funcionamento do sistema urbano. Alagados construídos (*constructed/built wetlands*), também conhecidos como jardins filtrantes, são essencialmente Soluções baseadas na Natureza que tratam as águas poluídas. Podem ser localizados em áreas receptoras de corpos d'água contaminados por poluição pontual⁹ e poluição difusa¹⁰. Os processos de tratamento por fito e biorremediação podem variar de acordo com o contexto. A ETE de Araruama, um projeto

9 **Poluição pontual** é gerada em um ponto onde pode ser coletada e conduzida, por meio de redes, até a estação de tratamento ou, o que é muito comum no Brasil, direcionada ao corpo d'água mais próximo ou ao sistema de drenagem de águas pluviais.

10 **Poluição difusa** é gerada quando os primeiros minutos de chuva lavam as superfícies impermeáveis das cidades, escoando sobre os pavimentos ou telhados até o corpo d'água ou sistema de drenagem mais próximo. Essa água da chuva, que carrega a poluição, reúne diversos contaminantes, inclusive metais pesados, uma vez que as ruas recebem óleos e resíduos de borracha dos pneus de veículos, materiais de construção que são jogados nas suas margens, partículas de poluição que ficam depositadas sobre as áreas impermeáveis, além de outros resíduos, como fezes de animais e detritos diversos.

pioneiro no Brasil, de tratamento em alagado construído, é um modelo exemplar (HERZOG; ROZADO, 2019).

Jardins filtrantes são eficazes e viáveis em inúmeras situações, inclusive para o tratamento de efluentes sanitários combinados com resíduos de processos industriais, como é o caso do Ecoparque da Natura (Foto 2), na cidade de Benevides, no Pará. O sistema de tratamento é totalmente baseado na natureza, não havendo entrada de produtos químicos, com todo o processo de filtragem sendo feito por fitorremediação, caixas de areia e aeração.



Foto 2. Jardim filtrante no Ecoparque da Natura, em Benevides, Pará

Fonte: *Phytorestore*, 2014.

Atualmente, existem alagados construídos verticais que demandam menor área para a sua implantação, mantendo o desempenho de alagados construídos horizontais (RIZZI; STEFANAKIS, 2020; STEFANAKIS; AKRATOS; TSIHRINTZIS, 2014).

Tecnologias mais compactadas, que concentram etapas necessárias ao tratamento seguro de esgoto e a utilização dos insumos sólido e gasoso, também são importantes inovações a serem aplicadas em áreas urbanas, com grande potencial para descentralizar o tratamento, reduzindo perdas e custos de implantação de redes coletoras e de manutenção, entre outras vantagens¹¹.

¹¹ Ver o exemplo ACS Ambiental.

Técnica de biodigestor associado a caixa de brita e areia e, na sequência, zona de raízes, tem sido adaptada para uso em áreas montanhosas. Por seu baixo custo de instalação e manutenção, tem sido empregada em áreas de comunidades de baixa renda, com grandes vantagens e cobenefícios ecológicos e sociais, como lazer, recreação e contemplação por parte dos moradores.¹²

Bacias de Evapotranspiração são muito eficientes e atendem a necessidades em áreas residenciais, tanto urbanas como rurais, onde há espaço para implantação desse sistema de baixo custo e alta eficácia. A sua superfície ainda é utilizada na produção de alimentos¹³.

Sistemas compactos e integrados de tratamento de esgoto, com tamanhos de *container*, podem ser utilizados de forma modular, atendendo a diversas demandas, desde as geradas por condomínios até as demais áreas urbanas. Podem ser consorciados com alagados construídos, que fazem o polimento final da água e se tornam parte de parques públicos multifuncionais. Esse sistema foi calculado para atender até 90 mil pessoas em área de instalação de apenas 24 mil m² (ACS AMBIENTAL).

4. Considerações finais

O esgoto, que tem sido compreendido como problema, passa a ser resposta, por meio da adoção de inovadoras soluções para múltiplas as escalas urbanas, periurbanas e rurais.

É urgente a mudança de paradigma com relação à importância do esgoto dentro do sistema urbano. Grandes e distantes ETE não respondem aos desafios contemporâneos, além de se tornarem, muitas vezes, inviáveis economicamente e insustentáveis, pelo alto custo de implantação e manutenção de grandes redes de coleta e das próprias estações. A localização de ETE próxima às fontes geradoras de esgoto e de outros efluentes dá maior resiliência ao sistema, pois, se houver um problema, este será localizado e de mais fácil e rápido manejo e retorno à operação. A redução nos custos também deve ser considerada.

O tipo de ETE a ser planejada e projetada depende do contexto do local de instalação. Não existe solução única que atenda a todas as situações. É importante ter conhecimento técnico e científico a respeito das inúmeras possibilidades, além de poder contar com equipes inter e transdisciplinares, competentes e atualizadas com as mais recentes soluções, desde as que

¹² Ver o exemplo Quarteirão Brasileiro.

¹³ Ver o exemplo Bacia de Evapotranspiração.

envolvem a tomada de decisão até a implantação, a manutenção e o monitoramento da estação de tratamento, seja esta baseada na natureza ou híbrida.

O reuso da água para usos secundários reduz a demanda por água potável, que deve ser exclusiva para consumo humano. É necessário reduzir os desperdícios gerados no atual sistema utilizado pelas cidades brasileiras. O esgoto pode tornar a cidade mais resiliente à falta d'água em períodos de seca prolongada, quando o tratamento da água nele contida é feito de modo circular e seguro para a vida humana, com a eliminação de patógenos. O tratamento de esgoto está intrinsecamente conectado à segurança hídrica.

As soluções mais localizadas podem ser integradas aos espaços urbanos disponíveis ou com vocação para se tornarem espaços públicos. Por exemplo, parques têm possibilidade de fazer parte desse sistema, ao abrigarem em seus projetos as lagoas construídas (*wetlands*) para filtragem das águas. Estas, por sua vez, podem ser consorciadas a sistemas de tratamento compactos, de modo que, além do usufruto de áreas verdes e azuis pelos usuários, ainda ofereçam oportunidade de educação e conscientização da população sobre o destino e reuso do esgoto produzido por cada pessoa.

Atualmente, é tabu se falar sobre o esgoto, entretanto, cada dia mais, o uso do esterco humano para a geração de energia se torna uma realidade a ser incluída na agenda de sustentabilidade e economia circular (GRAY, 2017).

O potencial de Soluções baseadas na Natureza e híbridas, descentralizadas, com reuso dos insumos água, lodo e gás, é imenso e urgente, de modo a integrar as ETE no tecido urbano de cidades inovadoras. Tecnologias que atendem a diferentes demandas para contextos distintos estão disponíveis, são seguras e vêm sendo implantadas em diversas cidades do mundo.

O tratamento adequado de esgoto também contribui para evitar a emissão de GEE e, nos casos de Soluções baseadas na Natureza que utilizam plantas, é ainda uma fonte de captação desses gases, contribuindo para a mitigação dos efeitos de mudanças climáticas (UN, 2019).

Cidades “verdes”, do mesmo modo, são bem-sucedidas economicamente por atraírem empresas que precisam de colaboradores que, por sua vez, buscam maior conforto e locais saudáveis para uma vida igualmente saudável.

5. Alguns sistemas de tratamento de esgoto

5.1. Urbana

- 5.1.1. **Nome:** Revolution – tratamento compacto que reúne as vantagens dos sistemas aeróbios e anaeróbios em um equipamento do tamanho de um container, com tecnologia avançada e *design* que permite a inserção em espaços públicos.



Foto 3. Sistema Revolution instalado no condomínio *Golf Ville*, em Fortaleza

Fonte: Registro da autora.

Fabricante: ACS Ambiental

Custo de manutenção: baixo custo de manutenção e necessidade de poucas pessoas para a sua operação, dependendo de quantas unidades de tratamento são acopladas, de acordo com a necessidade de tratamento do local.

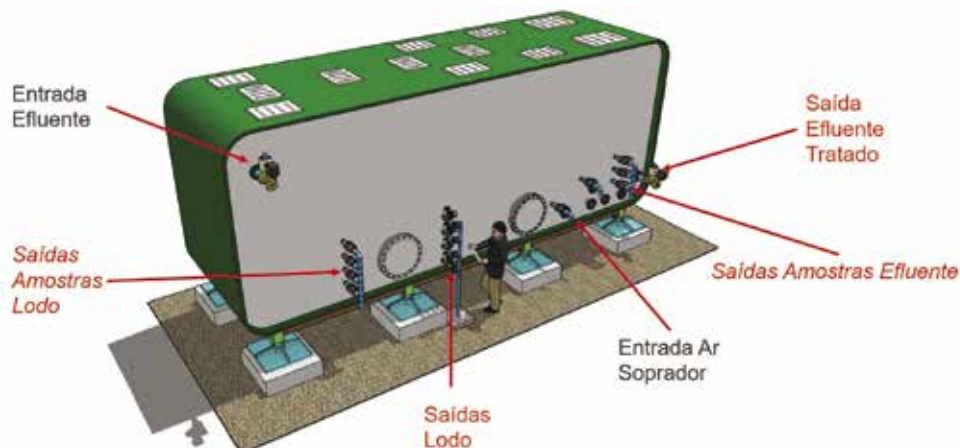


Figura 1. Funcionamento do ETE Revolution

Fonte: ACS Ambiental.

Capacidade de Tratamento: Oferece excepcionais índices de eficiência na remoção de DBO, DQO, nutrientes (P e N)¹⁴ e Amônia, baixa produção de lodo, ausência de odor e simplicidade operacional.

Uso: Urbano

Vantagens:

- Sistema compacto que pode ser utilizado para descentralizar o tratamento de esgoto em áreas já urbanizadas.
- Ocupa pequena área para a sua instalação modular, de acordo com a demanda.
- Permite a descentralização do tratamento de esgoto, com a localização perto das fontes produtoras de esgoto.
- Pode funcionar por gravidade quando posicionado em áreas mais baixas.
- Permite ser adesivado, o que pode proporcionar uma melhor incorporação do equipamento na paisagem urbana.
- Permite o reuso de água, lodo e gás.

¹⁴ Demanda bioquímica de Oxigênio ou demanda biológica de oxigênio (DBO); Demanda química de Oxigênio (DQO); Fósforo (P); Nitrogênio (N).



Figura 2. Sistema Revolution compacto, pode ser incorporado a espaços públicos distribuídos pelo tecido urbano

Fonte: ACS Ambiental.

Limitações técnicas:

- Capacidade de vazão por módulo, podendo ser acrescido de acordo com a demanda.
- Acima de 6 módulos, há necessidade de automação.
- Não deve ser utilizado enterrado (*underground*).

Vantagens:

- Permite o tratamento próximo ao local da geração dos resíduos.
- Não demanda extensa rede de drenagem.
- Pode ser acoplado a um sistema que integre o aproveitamento da água em parques que são utilizados pela população.
- Dá visibilidade ao tratamento de esgoto, possibilitando educação e conscientização da população.

Permite reuso de água, lodo gás? Sim

- Em relação à água, necessita a aplicação de filtros adequados para garantir a qualidade.

- O lodo é compactado no próprio sistema e pode ser retirado, tratado e reutilizado.
- O gás pode ser reaproveitado, se coletado adequadamente.

Multifuncionalidade: Por seu tamanho e *design*, pode ser colocado em áreas públicas e associado a lagos (*wetlands*) que recebem a água para polimento final. Com isso, oferece área de lazer e recreação às pessoas e, ao mesmo tempo, pode ser *habitat* para a biodiversidade.

5.1.2. Nome: Sistema híbrido – gradeamento-biodigestor-caixa de retenção de sedimentos-zona de raízes



Foto 4. Vista da ETE com a caixa de gradeamento, uma tampa de acesso a um dos biodigestores aberta. Ao fundo, o parquinho sobre a caixa de areia e, depois, a zona de raízes com as plantas macrófitas.

Fonte: Registro da autora.

Fabricante: Águas do Imperador, Petrópolis.

Custo de implantação: R\$ 400.000,00

Custo de manutenção: baixo. Por funcionar por gravidade, não demanda energia nem manutenção cotidiana. Necessita de limpeza da caixa de gradeamento.

Capacidade de tratamento: esgoto produzido por 2 mil pessoas.

Etapas de tratamento:

- Gradeamento para reter os resíduos maiores.
- Caixa de areia horizontal.
- 3 biodigestores de modelo chinês, feitos com tijolos, com 3,6 metros de diâmetro.
- Filtro biológico para retenção de impurezas, feito com garrafas PET amassadas (sob a área do parquinho).
- Zona de raízes.

Uso: Urbano em área montanhosa de baixa renda.

Limitações técnicas:

- Instalação de acordo com as técnicas próprias do sistema e da construção civil.
- Cada etapa deve ser separada para o funcionamento correto do tratamento.
- O lodo poderia ser reutilizado para adubo, porém, há limitações legais que demandam alterações nas normas de modo a permitir tal aproveitamento.

Vantagens:

- Permite o tratamento próximo ao local da geração dos resíduos.
- Não demanda extensa rede de drenagem.
- Funciona por gravidade.
- Baixo custo de implantação e manutenção.
- Multifuncionalidade.

Permite reuso de água, lodo e gás? Sim

- A água limpa volta para o rio que está ao lado, mas poderia ser reutilizada.
- O lodo é retirado por caminhão, uma vez ao ano.

- O gás é coletado para uso na cozinha da escola pública, que fica do outro lado da rua.

Multifuncionalidade:

- A ETE está em área pública, em local que era foco de despejo irregular de resíduos.
- Atualmente, trata o esgoto, oferece área para descanso à beira rio, recreação infantil e *habitat* para biodiversidade.
- Melhoria da qualidade de vida dos moradores da comunidade, dando mais dignidade e valorização para o local.



Foto 5. Vista da zona de raízes com parquinho e, ao fundo, a escola (em azul) que recebe o gás canalizado por baixo da rua

Fonte: Registro da autora.



Foto 6. Vista da relação da ETE multifuncional com o córrego que recebe a água tratada

Fonte: Registro da autora.

5.2. Residencial/Escolar

5.2.1. Nome do processo: Bacia de Evapotranspiração (BET)

Processo de limpeza:

- Decomposição anaeróbia
- Filtro de areia
- Capilaridade
- Evapotranspiração (pelas folhas largas das bananeiras e outras plantas adequadas para esse fim)

Fabricante: Sol Soluções Holísticas

Custo de implantação: R\$ 6 mil (para custeio de projeto, mão de obra e material) para uma residência de 4 pessoas.

Custo de manutenção: em geral, a manutenção se dá pelo serviço de jardinagem, que inclui manejar a bananeira, colher seus frutos e podar indivíduos velhos.

Capacidade de tratamento: 128 L/dia (para uma dimensão de 4 pessoas usando o sistema).

Usos (urbano e rural): este sistema foi elaborado para zonas rurais, mas, é perfeitamente aplicável em zonas urbanas, desde que se respeite as dimensões para a construção (2 metros cúbicos por pessoa).

Requisitos técnicos:

- Necessidade de fazer uma construção de caixa de concreto abaixo do solo (2l X 4c X 1,5h) para 4 moradores. A cada morador a mais, deve ser adicionado 1 metro linear, mantendo as mesmas dimensões de altura e largura.
- Área disponível no terreno.
- Trata apenas água negra (proveniente e esgoto) das residências.
- O sistema fica inviável para prédios.

Vantagens:

- Permite o tratamento no mesmo local da geração dos resíduos.
- Não demanda rede de drenagem exterior.
- Baixo custo de implantação e manutenção.
- Multifuncionalidade.

Permite reuso: o sistema devolve água limpa por evaporação feita pelas bananeiras. O que se utiliza é a biomassa das bananeiras para criação de novos canteiros, suas folhas para cobertura vegetal e seus frutos para alimentação.

Consumo energético: zero. Funciona por gravidade. É um sistema natural e autorregulável. Não necessita aporte de energia para o seu funcionamento.

Multifuncionalidade: Pode ser inserida no jardim, integrada com plantio de alimentos.



Foto 7. Sistema de tratamento de esgoto com câmara anaeróbica em cerâmica, na cidade de Batalha, Alagoas - Projeto Rondon, PUC-Rio

Fonte: Sol -Soluções Holísticas.



Foto 8. Foto ao final do mutirão de construção da BET, na cidade de Batalha, Alagoas - Projeto Rondon, PUC-Rio

Fonte: Sol -Soluções Holísticas.

5.3. Residencial/Condominial/Comercial

5.3.1. Nome: Sistema de sanitário meio litro Ecotelhado.

Fabricante: Ecotelhado soluções em infraestrutura verde Ltda. Empresa de pesquisa e desenvolvimento de soluções de infraestrutura verde e Soluções baseadas na Natureza, para os problemas urbanos, por meio do *design* biofílico¹⁵.

Custo de implantação: Variável de acordo com necessidade de cada projeto. Em geral, tem custo menor que o de soluções convencionais. O sistema implica em obrigatoriamente separar as águas cinzas e águas negras. As águas cinzas são conduzidas ao Ecotelhado, jardim ou lago, para reaproveitamento.

¹⁵ **Design biofílico** refere-se a projetos que trazem a natureza como sua base de desenvolvimento. A expressão foi popularizada por Stephen Kellert, professor da Universidade de Yale. **Biofilia** – Sentimento inerente de pertencimento a natureza que cada pessoa tem. O conceito de biofilia foi promovido por Edward O. Wilson, um dos maiores cientistas vivos, professor da Universidade de Harvard.

Custo de manutenção: Manutenção esporádica a cada ano, com simples troca de saco de composteira, podendo ser efetuada pelo proprietário.

Capacidade de tratamento: Ilimitada, pois cada módulo residencial possui sua composteira independente, que transforma o lodo em adubo orgânico. É uma solução descentralizada.

Uso urbano ou rural: Ambos

Sobre o sistema:

- A cada descarga feita por meio do acionamento do pedal de cada vaso sanitário (ver Foto 9), o sólido desce por gravidade, usando apenas meio litro de água por tubulação específica.
- O conteúdo desce até o receptor, que possui um saco biodegradável. Este, por sua vez, filtra o líquido e separa o sólido que será destinado a compostagem.
- O líquido é conduzido por um tubo, na parte inferior do receptor, até uma zona de raízes, podendo ser destinado a um lago construído para a filtração por fitorremediação, onde ocorre o polimento (*constructed wetland*).
- No caso de instalações maiores, o que pode ser feito é o projeto por colunas, considerando que um banheiro é instalado em cima de outro.
- Cada coluna tem sua composteira.
- A parte líquida pode ser unificada e conduzida a um lago construído (*constructed wetland*) único, se for o caso, o que tem o potencial de criar novos *habitats* para biodiversidade.
- A água cinza proveniente de pias, chuveiros, tanques e ralos vai direto para a zona de raízes ou o lago de filtração e serve para reuso secundário (irrigação, descarga, lavagem de carros, etc.).



Foto 9. Vaso sanitário meio litro

Fonte: *Ecotelhado*.

Requisitos técnicos:

- As águas cinzas e negras precisam ser separadas por tubulações específicas e tratadas de forma diferente.
- O ideal é que o sistema seja implantado desde o planejamento e projeto da obra.
- Os sanitários precisam estar próximos à composteira ou ligados por tubos com declividade superior a 8%. No caso de não ser possível, pode ser usada uma bomba trituradora de elevação.
- É preciso ter uma estabilidade no saco para que haja retenção da parte sólida, por meses e até anos. Depois, o saco biodegradável é incorporado ao ambiente, por meio do uso de plantas que vão colonizar este material. A composteira também pode ser usada para a geração de adubo.

Vantagens:

A vantagem é resolver o problema no próprio local, não o transferindo para outro ambiente. Assim, não há a necessidade de uma ETE pública de grande escala, que requer rede coletora e um sistema caros e complexos.

Limitações técnicas:

Edificações existentes precisam ser adaptáveis ao sistema, que separa as águas negras (vaso sanitário) das outras águas residuais (cinzas), para que passem por tratamentos distintos.

Permite reuso de água, lodo ou gás? Sim.

- A água é direcionada ao lago para reuso.
- O lodo vai para a composteira.
- Pode ser acoplada à unidade de geração de gás.

Multifuncionalidade:

- O tratamento da água permite a inserção de lagos para usufruto dos moradores, com criação de peixes.
- Aumento da biodiversidade.
- Fecha os ciclos das águas residenciais, retornando a água, o lodo e potencialmente os gases emitidos aos processos naturais de reaproveitamento, ciclo da água, adubo orgânico, etc.
- Reduz a emissão de GEE gerados no processo de esgotamento sanitário.

Referências

ACS AMBIENTAL. **Revolution**. Disponível em: <http://www.acs.eng.br/solucao.php?id=3>. Acesso em: 05 fev.2020

ÁGUAS DO TEJO ATLÂNTICO. **VIRA** - Uma Cerveja Produzida com Água Reciclada. 2020. Disponível em: <https://www.aguasdotejoatlantico.adp.pt/content/vira-uma-cerveja-produzida-com-agua-reciclada>. Acesso em: 30 jan. 2020.

BARÓ, F.; GÓMEZ-BAGGETHUN, E. Assessing the potential of regulating ecosystem services as nature-based solutions in urban areas. *In*: KABISCH, N.; KORN, H.; STADLER, J.; BONN, A. (eds), **Nature-based solutions to climate change adaptation in urban areas** — Linkages between science, policy and practice, Suíça: Cham, Springer Open, p. 139-158. 2017. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-56091-5_9

BONAIUTO, M.; ALBERS T. Nature based solutions and health in urban areas: the restorative and buffering effect of blue spaces. Soluções baseadas na Natureza e Saúde em Áreas Urbanas: os efeitos restauradores e de amortecimento dos espaços azuis. *In*: HERZOG, C.P.; FREITAS, T.; WIEDMAN, G. (eds.). **Soluções baseadas na natureza e os desafios da água: acelerando a transição para cidades mais sustentáveis**. Brussels: European Commission, 2020.

BRESSANI-RIBEIRO, T.; LOBATO, L.C.S.; CHAMHUM-SILVA L.A.; CHERNICHARO, C.A.L. Estações sustentáveis de tratamento de esgoto e políticas públicas no Brasil. *In*: HERZOG, C.P.; FREITAS, T.; WIEDMAN, G. (eds.). **Soluções baseadas na natureza e os desafios da água: acelerando a transição para cidades mais sustentáveis**. European Commission, Brussels, 2020.

EUROPEAN UNION - EU. **Towards an EU research and innovation policy agenda for nature-based solutions & re-naturing cities** — Final report of the Horizon 2020 expert group on nature-based solutions and re-naturing cities. Luxemburgo: Serviço das Publicações da União Europeia, 2015. Disponível em: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/fb117980-d5aa-46df-8edc-af367cddc202>

GRAY, R. Movido a urina e fezes: o potencial dos dejetos humanos como combustíveis do futuro. **BBC News**, Brasil. 26 out. 2017. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/vert-fut-41743336>. Acesso em: 10 fev. 2020.

HERZOG, Cecília; ROZADO, Carmen A. **The EU – Brazil Sector Dialogue on nature-based solutions: contribution to a Brazilian roadmap on nature-based solutions for resilient cities**. European Commission, Brussels, 2019. Disponível em: <https://oppla.eu/sites/default/files/docs/EU-Brazil-NBS-dialogue-2409-light.pdf>

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Esgoto**. 2019. Disponível em: <http://tratabrasil.org.br/saneamento/principais-estatisticas/no-brasil/esgoto>. Acesso em: 20 jan. 2020.

KOSSE, Pascal *et al.* Methane emissions from wastewater treatment plants - Assessment and review of quantification methods. **WaterSolutions**. v. 159. 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/323308510_Methane_emissions_from_wastewater_treatment_plants_-_Assessment_and_review_of_quantification_methods

MCDONOUGH, B.; BRAUNGART, M. **Cradle-to-Cradle** — Remaking the way we make things. Nova Iorque: North Point Press, 2002. 208 p.

MORAIS, D. C.; CAVALCANTE C.A. V.; ALMEIDA A.T. Priorização de áreas de controle de perdas em redes de distribuição de água. **Pesquisa Operacional**, v. 30, n.1, p.15-32, 2010. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0101-74382010000100002&script=sci_arttext

PHYTORESTORE. **Novas fotos dos jardins filtrantes para tratamento de efluentes no ecoparque Natura em Benevides/PA**. Fotos 02/07/2014. Disponível em: <https://www.facebook.com/phytorestore.brasil/posts/novas-fotos-dos-jardins-filtrantes-para-tratamento-de-efluentes-no-ecoparque-nat/648410298574308/>. Acesso em: 03 fev.2020.

RIBEIRO, R.P. *et al.* Emissões de óxido nitroso do tanque de aeração de uma estação de tratamento de esgotos com sistema de lodos ativados convencional. **Química Nova**, v. 36, p. 998-1003. 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013000700013>.

RIZZI, D.; STEFANAKIS, A. Saneamento, aproveitamento e reuso de águas residuais em cidades. *In*: HERZOG, C.P.; FREITAS, T.; WIEDMAN, G. (eds.). **Soluções baseadas na natureza e os desafios da água: acelerando a transição para cidades mais sustentáveis**. European Commission, Brussels, 2020.

STEFANAKIS, A.; AKRATOS, C.; TSIHRINTZIS, V. **Vertical flow constructed wetlands: eco-engineering systems for wastewater and sludge treatment**. Elsevier Science, 2014. 392 p. ISBN: 9780124046870

UNITED NATIONS. UN CLIMATE ACTION SUMMIT. **Compendium of contributions nature-based solutions**. Compiled by the nature-based solutions (NBS) facilitation team with the entrustment of China and New Zealand, the co-lead countries of the nature-based solutions coalition of the 2019 UN Climate Action Summit. Disponível em: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/29988/Compendium_NBS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP. Base Didática de Tecnologias Ambientais. **Características do esgoto sanitário**. 2005. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~bdta/esgoto/esgotocaracteristicas.htm>. Acesso em: 23 jan. 2020.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO – UNIFESP. **Biorremediação**. 2020. Disponível em: <https://www.unifesp.br/campus/san7/ppgbb-linhas-de-pesquisa/579-ppgbb-biorremediacao>

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ - UFC. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. **Tratamento preliminar de esgotos**. PowerPoint. 2019. Disponível em: http://www.deha.ufc.br/login/usuarios/td945a/Tratamento_de_esgotos_graduacao_Tratamento_preliminar.pdf

WAYBACKMACHINE. **What is phytoremediation**. 2019. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20110719022451/http://arabidopsis.info/students/dom/mainpage.html>

WRI BRASIL. **Infraestrutura natural para água no sistema Guandu, Rio de Janeiro**. 2018. 72 p. Disponível em: <https://wribrasil.org.br/sites/default/files/InfraestruturaNaturalGuanduRJ.pdf>