

## **II-624 - CONCEPÇÃO E AVALIAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES SOLAR AUTÁRQUICA (ETSA) DE PEQUENO PORTE OPERADA EM REGIÕES TROPICAIS**

### **Karen Juliana do Amaral<sup>(1)</sup>**

Engenheira Civil, Mestre e Doutora em Engenharia Civil, com ênfase em Recursos Hídricos, pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ) e *Universität Stuttgart*, Alemanha. Iniciou suas atividades como pesquisadora da Universidade de Stuttgart em 2010, alocada no Brasil. Desde 2001 participa de diversos projetos de cooperação nacionais e internacionais realizados entre Instituições de Ensino, órgãos públicos e indústria, de natureza nacionais e internacionais, com foco em parcerias Brasil-Alemanha. Professora do Programa de Pós-Graduação - Mestrado Internacional em Meio Ambiente Urbano e Industrial (PPGMAUI) da UFPR, *Universität Stuttgart* e SENAI-PR.

### **Daniela Neuffer<sup>(2)</sup>**

Engenheira Civil e pós-graduada em Engenharia Civil pela *Universität Stuttgart*, Alemanha. Doutora em Técnicas de Proteção Ambiental pela *Universität Stuttgart*. Atualmente é pesquisadora e consultora da *Universität Stuttgart* no *Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte und Abfallwirtschaft* (Instituto de Engenharia Sanitária, Qualidade da Água e Resíduos Sólidos, ISWA) na *Universität Stuttgart* e na empresa TTI GmbH. Coordenadora da Dupla Diplomação e professora do Programa de Pós-Graduação - Mestrado Internacional em Meio Ambiente Urbano e Industrial (PPGMAUI) da UFPR, *Universität Stuttgart* e SENAI-PR. Membro do comitê assessor AK-11.6 (Resíduos de óleo e graxas) da *Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall* (Associação Alemã para Gerenciamento de Água, Águas Residuárias e Resíduos, DWA).

### **Uwe Menzel<sup>(3)</sup>**

Engenheiro Civil e pós-graduado em Engenharia Civil pela *Universität Stuttgart*, Alemanha. Doutor em Técnicas de Proteção Ambiental pela Universidade de Stuttgart. Diretor Acadêmico da Universidade de Stuttgart no Instituto de Engenharia Sanitária, Qualidade da Água e Resíduos Sólidos (*Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte und Abfallwirtschaft, Universität Stuttgart (ISWA)*). Chefe do Departamento Tecnologia de Águas e Efluentes Industrial (IWT) na ISWA, Professor da Dupla Diplomação e professor do Programa de Pós-Graduação - Mestrado Internacional em Meio Ambiente Urbano e Industrial (PPGMAUI) da UFPR, *Universität Stuttgart* e SENAI-PR. Vice-Presidente da Plataforma de Tecnologias Ambientais (PU) na Federação das Indústrias do Estado de Baden-Württemberg (LVI). Consultor e Avaliador no Instituto Alemão de Engenharia de Estruturas (*Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt)*) em Berlin, no qual participa do Comitê para aprovação de sistemas de recirculação no campo de águas residuais contendo óleo mineral.

### **Lukas Dufner<sup>(4)</sup>**

Engenheiro Ambiental pela *Universität Stuttgart*, Alemanha. Atualmente cursando mestrado em Engenharia Ambiental no *Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte und Abfallwirtschaft* (Instituto de Engenharia Sanitária, Qualidade da Água e Resíduos Sólidos, ISWA) na *Universität Stuttgart*, com parte do mestrado sendo realizado tanto na Universidade do Porto, quanto na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

### **Tamil Sakthi Silva Selvam<sup>(5)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), com parte da graduação realizada na Newcastle University, UK. Atualmente cursando mestrado em Engenharia Sanitária no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental da UFRN.

**Endereço<sup>(1)(2)(3)(4)</sup>:** Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft (ISWA), Universität Stuttgart (USTUTT), CEP: 70569, Stuttgart - Baden-Württemberg – Alemanha. Tel: +49 (178)3375848 – e-mail: karenjamara@gmail.com

## **RESUMO**

A busca por soluções para a universalização do saneamento no Brasil é um dos mais importantes desafios dos próximos anos. A coleta e manejo inadequados das águas residuárias vêm causando contaminação das águas superficiais e subterrâneas e consequentes problemas na área da saúde. A situação é agravada em áreas remotas, como as rurais, onde se enfrenta ainda circunstâncias como populações alocadas em regiões distantes, limitações financeiras, falta de mão de obra e infraestrutura, como, por exemplo, ligações de energia. De posse de tal constatação, faz-se necessário que se investigue novas tecnologias, para que se consiga tratar com

qualidade satisfatória os efluentes produzidos, visando sempre o menor custo. Sendo assim, o presente trabalho vem relatar a descrição da concepção e um planejamento para avaliação de uma estação de tratamento de efluentes, que deve operar de forma autônoma em regiões tropicais, alimentada por energia solar, denominada estação de tratamento de efluentes solar autárquica (ETESA) de pequeno porte. A primeira parte do trabalho foi a concepção, em que foi realizado o dimensionamento, a escolha do local, a construção e o início da operação da ETESA de pequeno porte. Posteriormente foi realizada a fase de avaliação, com o objetivo de se constatar a eficiência da estação. Observou-se que a construção e adaptação do sistema ocorreram de forma satisfatória, entretanto, o sistema ainda deve ser validado sob diferentes condições na prática, em especial: avaliação para uso otimizado dos painéis solares e baterias, suprimento de materiais por fornecedores locais e adequação da operação do sistema em condições reais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Efluentes, Estação de tratamento de efluentes, solar, autárquica.

## INTRODUÇÃO

A água ser indispensável para a sobrevivência dos organismos vivos e é insumo essencial também para a maioria das atividades humanas da atualidade. Ao se considerar somente água para consumo humano, segundo a WHO (2018), atualmente, aproximadamente 2,1 bilhões de pessoas vivem sem acesso à água potável. Isso corresponde a 29% da população mundial. Além disso, em torno de 2,9 bilhões de pessoas carecem de instalações sanitárias, e, conseqüentemente, as águas residuárias produzidas por essas pessoas não são tratadas adequadamente. Indiretamente, essa falta de acesso ao saneamento causa cerca de 280.000 mortes anuais em todo o mundo, devido à falta de água (WHO, 2018).

O Brasil é um dos países mais ricos em recursos hídricos no mundo, mas muitas regiões sofrem com a escassez de água devido à má distribuição da mesma dentro do território nacional. Além da dificuldade de acesso, a coleta e o tratamento de águas residuárias possuem baixas taxas de cobertura nacional (SNIS, 2016).

O Nordeste do Brasil apresenta a segunda pior infraestrutura de esgotamento sanitário as cinco regiões do Brasil, com aproximadamente 23,4% da sua população sendo atendida por uma rede de coleta de esgoto. Esse cenário é ainda mais grave quando se analisa a zona rural, onde menos de 1% da população é atendida por rede de esgotamento sanitário na região (SNIS, 2016).

Dessa forma, a maior parte da população esgota seus dejetos via fossas sépticas não ligadas à rede, fossas rudimentares ou outras formas alternativas, como ligações diretas para uma vala, rio, lago ou mar. A região conta ainda com 5,3% de seus domicílios sem qualquer forma de esgotamento (ABES, 2015).

O uso desses sistemas, em especial as fossas rudimentares e as disposições alternativas, vêm causando a contaminação das águas superficiais e subterrâneas além de trazer riscos quanto à proliferação de vetores (COSTA; GUILHOTO, 2014).

Portanto, a busca por soluções com objetivo de atingir a universalização do saneamento no Brasil é um desafio dos próximos anos.

Nesse contexto, este artigo apresenta uma descrição da concepção e um planejamento para avaliação de uma estação de tratamento de efluentes, que deve operar de forma autônoma em regiões tropicais, alimentada por energia solar, denominada estação de tratamento de efluentes solar autárquica (ETESA) de pequeno porte.

A partir dessa concepção e dos resultados futuros da avaliação da operação dessa estação em regiões tropicais, essa pode se mostrar uma solução interessante para zonas rurais, hotéis e regiões com pouca infraestrutura de esgotamento sanitário no Brasil.

O objetivo geral desse trabalho é apresentar a concepção e a avaliação de uma estação de tratamento de efluentes solar autárquica (ETESA) de pequeno porte, a fim de operá-la em regiões tropicais.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O planejamento para operação da estação de pequeno porte foi composto de duas fases, assim denominadas:

A. Concepção: fase na qual foi realizado o dimensionamento da ETESA de pequeno porte, a escolha do local, a construção e o início da operação da planta.

B. Avaliação: fase na qual foi desenvolvido um planejamento de coleta e análises em diversos pontos do tratamento, a fim de avaliar sua eficiência. A metodologia adotada para cada fase está descrita a seguir.

### A. Concepção

#### A.1 Dimensionamento

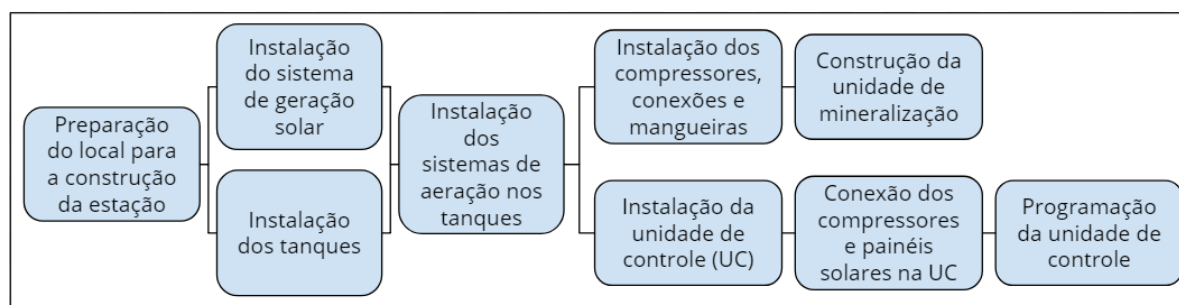
A ETESA de pequeno porte foi calculada com base para o equivalente populacional de 50 pessoas. Este é, normalmente, o tamanho máximo adotado na Alemanha para uma estação compacta de tratamento de esgoto, país onde a tecnologia foi inicialmente concebida. Para o cálculo e dimensionamento da estação, as seguintes normas alemãs foram consideradas: ATV-M 210, a planilha DWA-M 210, a planilha ATV-DYWK-A 131, a planilha ATV-DVWK do DWA, DIN 4261 e os princípios de aprovação das normas do DIBt para estações compactas de tratamento de águas residuais (DIBt, 2014).

#### A.2 Escolha do local

O local escolhido para construção da ETESA de pequeno porte foi dentro do campus da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), em Natal-RN. A região se destaca por apresentar elevada temperatura média anual, que é um parâmetro importante na eficiência do sistema, baixa infraestrutura de esgotamento sanitário (SNIS, 2016) e o elevado potencial de geração de energia solar da região (PEREIRA, 2006). Além disso, esse local de instalação oferece infraestrutura para o processo, incluindo a realização de análises laboratoriais, a instalação dos componentes nos tanques e a programação da unidade de controle.

#### A.3 Construção da planta

A construção da planta seguiu as atividades apresentadas na Figura 1.



**Figura 1: Etapas do processo de construção da estação.**

Cada fase foi iniciada a partir do cumprimento de trâmites de importação e também baseada nos prazos de entrega dos equipamentos produzidos dentro do país, bem como preparo do local para instalação.

#### A.4 Operação da planta

Para a operação da planta foram determinadas duas fases experimentais com operações diferentes. A unidade de controle permite a determinação da duração de cada parte do processo, o que foi denominado ciclo. O resumo dos valores a serem utilizados nas fases experimentais 1 e 2 pode ser encontrado na Tabela 1.

**Tabela 1: Valores das principais variáveis dos processos nos tanques para as fases experimentais 1 e 2.**

Variáveis dos processos nos tanques	Fase experimental 1	Fase experimental 2
Tempo de alimentação	15 min/ciclo	>15 min/ciclo
Tempo de recirculação	6 min / ciclo	<6 min / ciclo
Concentração de O <sub>2</sub> após aeração do tanque 1	1 mg/LO <sub>2</sub>	1 mg/LO <sub>2</sub>
Concentração de O <sub>2</sub> após aeração do tanque 2	2 mg/LO <sub>2</sub>	6-10 mg/LO <sub>2</sub>
Tempo de pausa	30 min	< 30min
Tempo de remoção do efluente tratado	30 min	> 30 min

### **B. Avaliação**

O parâmetro mais importante para avaliar o funcionamento do sistema são as curvas de oxigênio nos dois tanques, pois refletem a ação dos microrganismos, que absorvem parte do carbono, nitrogênio e fósforo presentes na água e a incorporam em sua estrutura celular. No tanque 1 ocorre a desnitrificação e a eliminação do fosfato, portanto, a concentração de oxigênio deve se manter zero na maioria do tempo, e não deve exceder a concentração de 1 mg/L após a aeração. No tanque 2 ocorre a nitrificação, portanto, um novo ciclo de aeração deve ocorrer antes do valor da concentração de oxigênio chegar próximo de zero, ação controlada pelo ajuste dos tempos de aeração nos tanques.

## **RESULTADOS ESPERADOS E ANÁLISE**

A seguir serão descritos os resultados esperados da operação e avaliação da estação de tratamento de pequeno porte autárquica, operada com painéis solares.

### **A. Concepção**

#### **A.1 Dimensionamento**

A ETESA de pequeno porte é composta por reatores operados em batelada sequencial (SBR) de dois estágios modificados. O resumo das principais características da planta piloto se encontra na Tabela 2.

É importante destacar uma adaptação na construção realizada para áreas tropicais, que é o dimensionamento dos aeradores, pois o mesmo é diretamente dependente da temperatura da água. Quanto maior a temperatura, mais oxigênio dissolvido nela, fato que deve ser considerado especialmente no Nordeste, onde a temperatura da água nas estações de tratamento de efluentes (ETEs) está na faixa de 25-30 °C (medição no local). Assim, foi importante considerar a necessidade de tempos de aeração mais longos (FLUGGE, 1958).

**Tabela 2: Principais características dos sistemas da estação piloto.**

Informações da estação	
Equivalente populacional	50 pessoas
Consumo per capita	150 L/pessoa.dia
Volume diário	7,5 m <sup>3</sup>
Volume tanque 1	8 m <sup>3</sup>
Volume tanque 2	8 m <sup>3</sup>
Vazão de aeração do tanque 1	30 m <sup>3</sup> /h
Vazão de aeração do tanque 2	30 m <sup>3</sup> /h
Vazão do compressor 3	12 m <sup>3</sup> /h
Área da unidade de mineralização	3,14 m <sup>2</sup>
Volume da unidade de mineralização	3,14 m <sup>3</sup>
Área dos painéis solares	18 m <sup>2</sup>
Capacidade de acumulação de energia das baterias	1,6 dias

Cada sistema possui diversos componentes, cujas características estão detalhadas na Tabela 3.

**Tabela 3: Função, quantidade e origem principais unidades da estação de tratamento.**

Unidade	Qt.	Origem	Função
Taques de fibra de vidro	2	Fornecedor local	Armazenar o efluente durante todas as etapas de seu tratamento
Unidade de mineralização	1	Fornecedor local	Secagem do lodo produzido pela estação para descarte
Painel solar	18	Fornecedor local	Conversão de energia solar para energia elétrica
Bateria 24V	8	Fornecedor local	Fornecimento de energia para o sistema quando os painéis não estiverem em operação.
Inversor solar 24v - 220v	1	Importado da Alemanha	Converter a energia elétrica gerada pelos painéis, de corrente contínua para corrente alternada.
Unidade de controle BonBloc	1	Importado da Alemanha	Controlar o funcionamento dos compressores de ar, e consequentemente o transporte de efluentes e os sistemas de aeração. Também verifica o nível de água no tanque 2.
Compressor de ar 1 e 2(30m³/h)	2	Importado da Alemanha	Bombeamento de ar para os sistemas de aeração dos dois tanques
Compressor de ar 3 (12m³/h)	1	Importado da Alemanha	Bombeamento de ar para o sistema de movimentação do efluente entre os dois tanques, e para a saída de efluente tratado e lodo do tanque 2.
Difusores de membrana	32	Importado da Alemanha	Tem a função de liberar o ar bombeado pelos compressores por meio de bolhas finas uniformemente distribuídas em toda a área dos tanques.
Conexões dos sistemas de aeração	-	Importado da Alemanha	Distribuir o ar proveniente dos compressores para os difusores de membrana no fundo dos tanques.
Mangueira PVC flexível reforçada	-	Fornecedor local	Transporte de ar dos compressores 1 e 2 para os sistemas de aeração, e do compressor 3 para as tubulações de transporte de efluente.
Tubulações de transporte de efluentes (PVC-U)	-	Importado da Alemanha	Transporte de efluente do tanque 1 para o tanque 2, do 2 para o 1, remoção do efluente tratado do tanque 2 e remoção de lodo do tanque 2. O transporte ocorre por meio do bombeamento de ar nos tubos parcialmente submersos, fazendo com que o efluente seja levado junto com o ar pressurizado.
Tubo de filtragem	1	Importado da Alemanha	Impedir a entrada de impurezas e certas partículas nas tubulações que transportam efluentes do tanque 1 para o tanque 2.

## A.2 Escolha do local

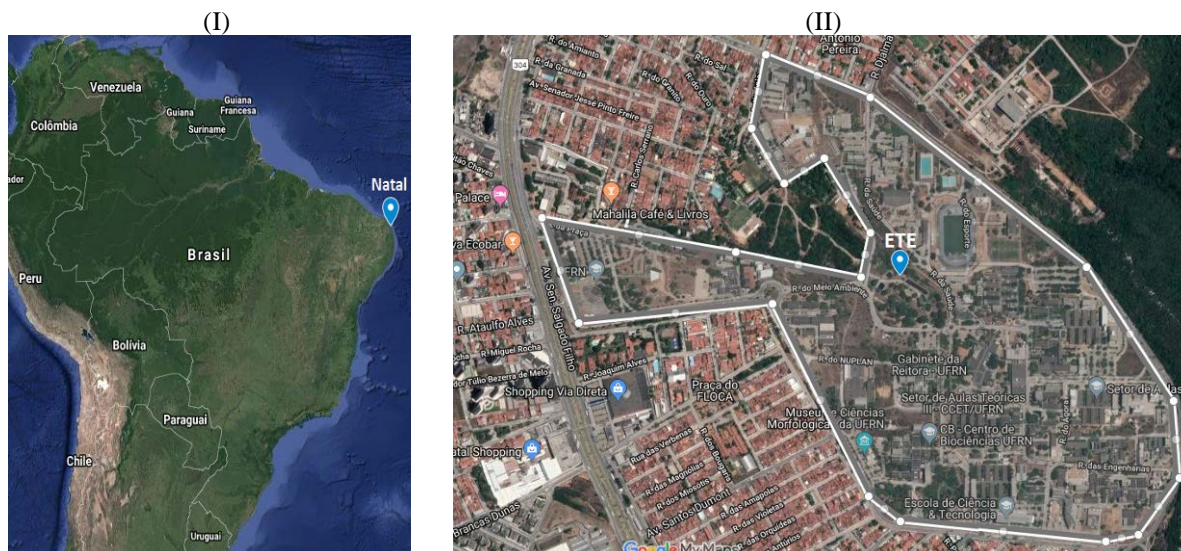
Ao se comparar diretamente valores de radiação solar incidentes em cada região do país, a região Nordeste se destaca apresentando os maiores índices, e assim maior disponibilidade energética, com valores bem elevados. De fato, a região possui valores de radiação solar diária e anual comparáveis às regiões com os maiores potenciais do mundo (TIBA, 2000).



Além disso, as variações sazonais de irradiação solar diária para o Nordeste são as menores do país, com valores entre 5,5 e 6,1 kWh/m<sup>2</sup>, o que pode resultar em importantes vantagens técnicas e econômicas dos sistemas solares instalados nesta região (PEREIRA, 2006).

Para o Rio Grande do Norte, Colle e Pereira (1998) afirma que a irradiação solar no estado atinge três faixas de valores, com a maior parte do estado estando entre 5,7 e 5,9 kWh/m<sup>2</sup>, e algumas localidades nas faixas entre 5,5-5,7 kWh/m<sup>2</sup> e 5,9-6,1 kWh/m<sup>2</sup>.

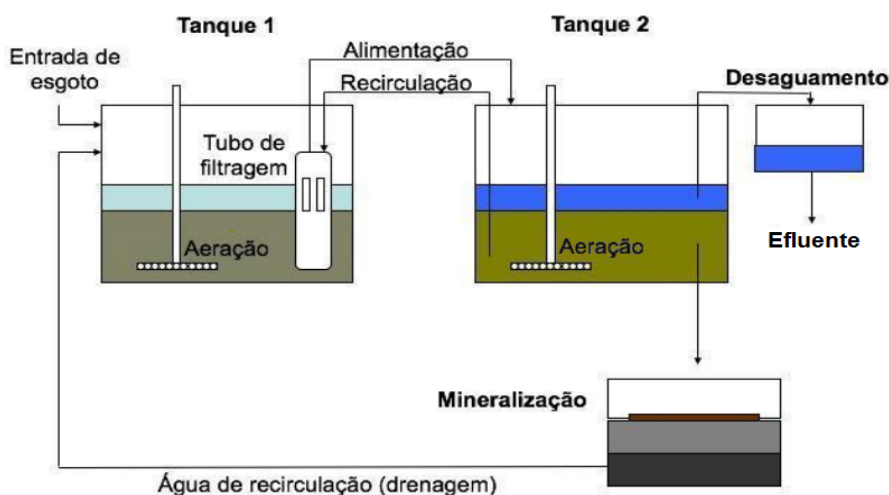
A instalação da planta se deu dentro do câmpus da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (Figura 2).



**Figura 2: Localização de Natal, na Região Nordeste do Brasil, onde a ETE piloto foi instalada (I). Localização da ETE piloto e a delimitação da área do campus da UFRN (II).**

### A.3 Construção da planta e operação

A Figura 3 mostra o fluxograma resumido com as unidades e instalações planta piloto.



**Figura 3: Fluxograma de operação da ETESA de pequeno porte**

Para a construção da estação, tanto os tanques de fibra de vidro quanto os componentes do sistema de geração de energia solar, como as dezoito placas fotovoltaicas e as oito baterias, foram adquiridos e instalados com o auxílio de fornecedores locais. A maioria dos demais componentes foram importados da Alemanha.

A primeira etapa da instalação do sistema de tratamento consistiu na montagem e fixação do sistema de aeração no fundo dos tanques. Em segundo lugar foi instalado o sistema de conexões, mangueiras e bombas que possibilitam a movimentação de efluentes entre os tanques e com o exterior. Como último passo foi realizado a conexão das bombas e do sistema de geração de energia solar com a unidade de controle que, ao ser programada, faz o controle de todas as etapas de tratamento da estação.

Os tanques 1 e 2 foram apoiados em uma superfície plana de areia previamente nivelada e separados por uma distância de 1 m. As conexões de alimentação do tanque 1 para o 2 e de recirculação do tanque 2 para o 1 estão na extremidade superior dos tanques, a uma altura de aproximadamente 1,95 m. O tanque 2 (Figura 4, esquerda) possui dois furos adicionais para a saída de efluente tratado e para a saída de lodo em excesso. O tanque 1 (Figura 4, direita) tem dois furos para aeração e um para a entrada de esgoto bruto.



**Figura 4: Disposição dos tanques na área de instalação da ETESA de pequeno porte**

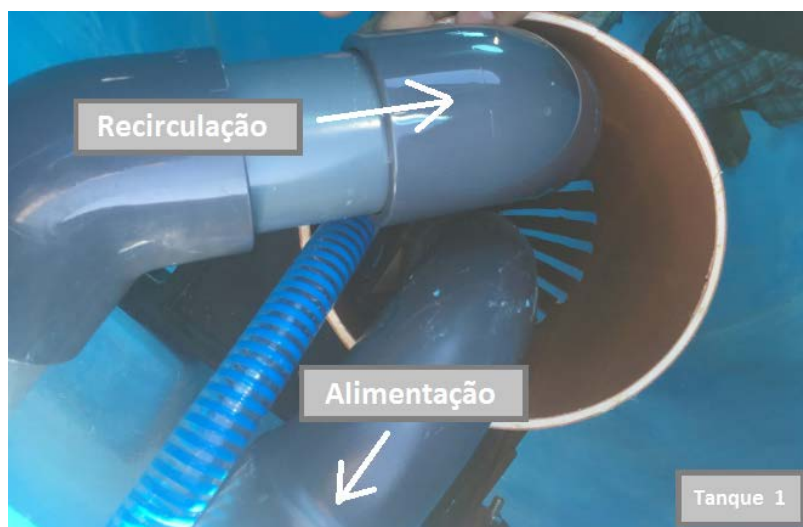
Conexões de aço inoxidável foram utilizados para conectar os aeradores de membrana na mangueira de aeração (conectada aos compressores de ar). A Figura 5 mostra um detalhe do sistema de aeração dos tanques 1 e 2 e um detalhe dos tubos de recirculação, alimentação e filtragem no tanque 1 (Figura 6 e Figura 7).



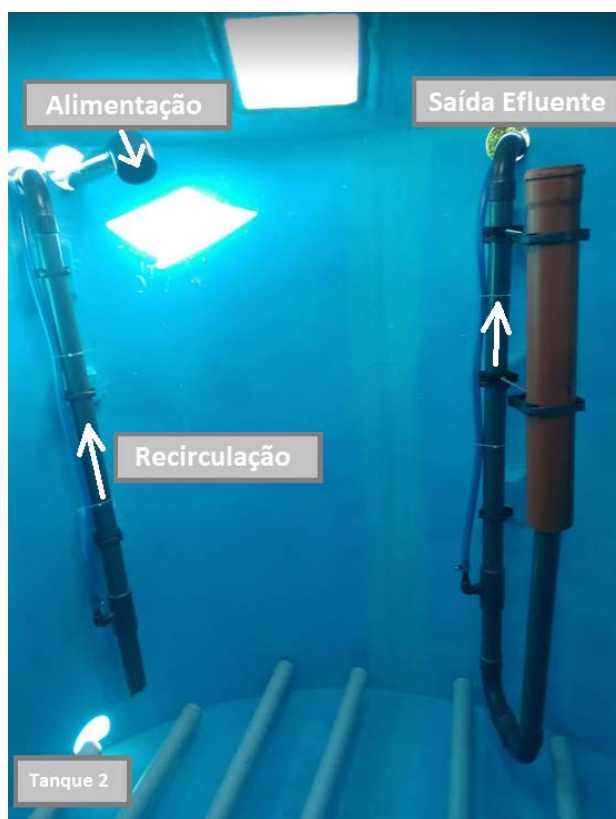
**Figura 5: Detalhe do sistema de aeração utilizado no fundo dos tanques da ETESA**



Na entrada do tanque 1 foi instalado um filtro de sólidos grosseiros. As figuras que seguem mostram a disposição dos tubos de alimentação, recirculação no tanque 1 e 2.

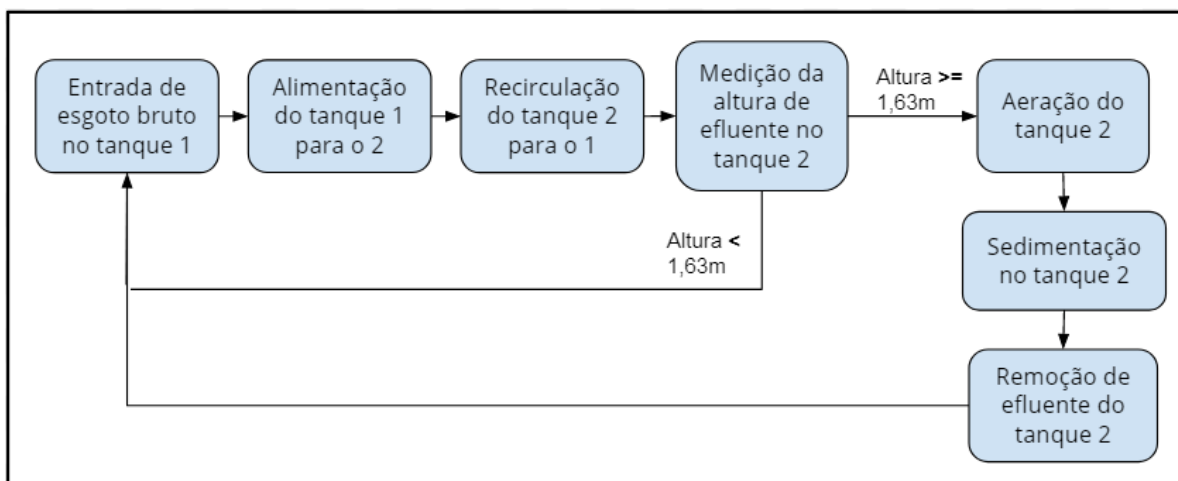


**Figura 6: Detalhe dos tubos de recirculação, alimentação e filtragem no tanque 1 da ETESA**



**Figura 7: Detalhe dos tubos de recirculação, alimentação e saída do efluente no tanque 2.**

O sistema é operado por uma unidade de controle, seguindo as etapas da figura que segue.



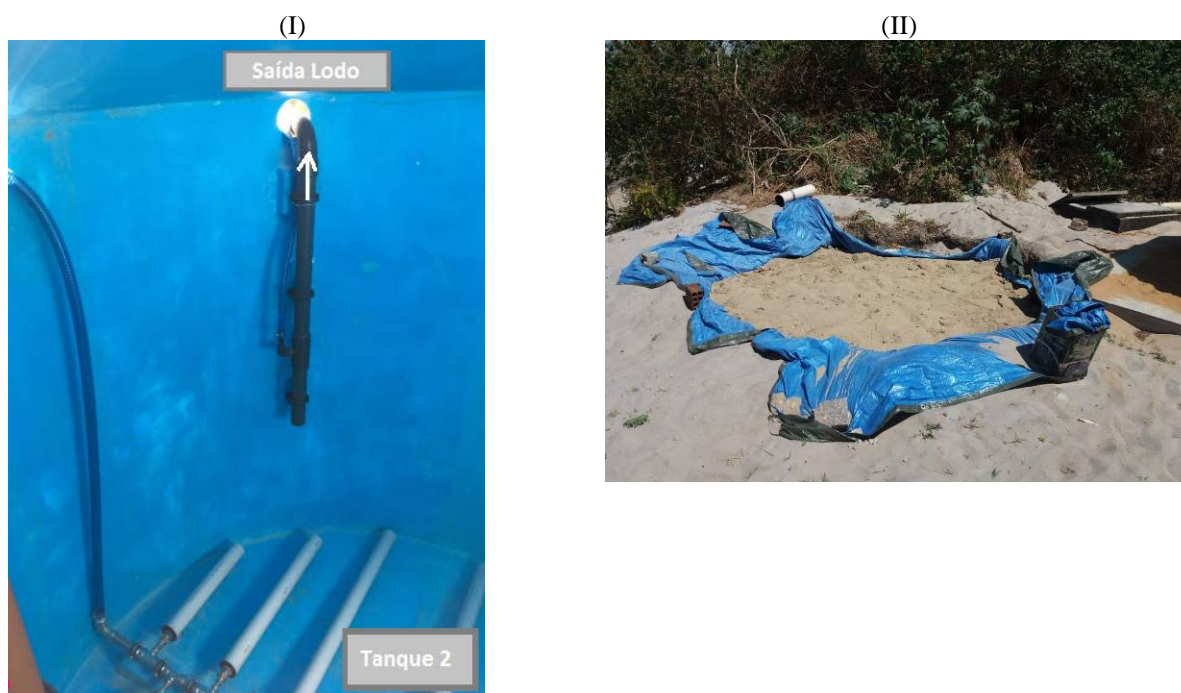
**Figura 8: Funcionamento do sistema da ETESA de pequeno porte**

Para que o sistema opere de acordo com o fluxograma apresentado, foi necessário o desenvolvimento de uma programação da unidade de controle, a qual se mostrou bastante flexível e de fácil adaptação às condições locais. A Figura 9 mostra a construção da unidade de controle da ETESA e seus componentes.



**Figura 9: Conexão das bombas na unidade de controle, baterias do sistema e inversor elétrico em azul da ETESA**

A retirada de lodo do tanque 2 é feita manualmente (figura 10 - I) e o lodo é depositado no local representado na figura 10 - II para o processo de mineralização.



**Figura 10: Detalhe do tubo de saída de lodo no tanque 2 (I) e local de disposição do lodo para mineralização (II) da ETESA**

A Figura 11 mostra a disposição dos tanques da estação e dos painéis solares.



**Figura 11: Painéis solares e tanques da ETESA.**

## **B. Avaliação**

O parâmetro mais importante para avaliar o funcionamento do sistema são as curvas de oxigênio nos dois tanques. Com o objetivo de adaptar a tecnologia a regiões tropicais, a ETESA de pequeno porte deve operar durante, no mínimo, 2 meses.

Elas refletem a ação dos microrganismos, que absorvem parte do carbono, nitrogênio e fósforo presentes na água e a incorporam em sua estrutura celular. No tanque 1, ocorre a desnitrificação e a eliminação do fosfato, portanto a concentração de oxigênio deve se manter zero na maioria do tempo, e não deve exceder a

concentração de 1 mg/L após a aeração. No tanque 2 ocorre a nitrificação, portanto, um novo ciclo de aeração deve ocorrer antes do valor da concentração de oxigênio chegar próximo de zero, ação controlada pelo ajuste dos tempos de aeração nos tanques.

Espera-se que, com a adaptação do sistema, sejam alcançados valores dentro dos limites exigidos em legislação, buscando um consumo mínimo de energia.

A análise dos valores de entrada e saída só deve ser iniciada quando os valores de concentração de O<sub>2</sub> nos tanques atingirem os valores adequados. As principais análises que devem ser realizadas no esgoto bruto são DQO, NO<sub>3</sub>, N<sub>total</sub> e P<sub>total</sub>, e no efluente tratado as análises de DQO, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub> e P<sub>total</sub>. Com os valores de entrada e saída dessas substâncias, as taxas de remoção e conversão das mesmas podem ser calculadas.

Durante a execução das fases experimentais, todos esses parâmetros devem ser continuamente analisados e comparados. Casos em que a biologia estiver passando por algum tipo de estresse, especialmente no desligamento noturno da aeração, podem ser detectados a tempo. Para a análise da qualidade do lodo e comparação com valores locais, os principais parâmetros de controle devem ser o teor de sólidos total (TS), Teor de sólidos orgânicos, e o volume de lodo.

Assim que a ETESA atingir a operação desejada, ou seja, concentração de O<sub>2</sub> após aeração de 1 mg/L no tanque 1 e 2 mg/L no tanque 2 (ZINK, 2018), será iniciada a programação para o uso dos painéis solares. Para minimização do gasto de energia, a partir dessa etapa, será reduzida a injeção de O<sub>2</sub> em 12, 5% por semana, a fim de se encontrar a condição ótima, definida como aquela que garante condições para o tratamento apresentar bons resultados com o gasto mínimo de energia e alimentação com vazão constante.

### B.1 Operação do sistema, medições e curvas de O<sub>2</sub>

Na etapa de operação do sistema, espera-se que o crescimento e estabilização da biomassa ocorra com a ajuda da inoculação de lodo da estação municipal local de tratamento de esgoto. A alimentação nesta fase deve corresponder a 10 e.p.. Como controle, as concentrações de oxigênio serão medidas diariamente durante e após a aeração. O controle dos parâmetros deve ocorrer após essa condição ser alcançada.

Para a operação da planta foram determinadas duas fases experimentais com operações diferentes. A unidade de controle permite a determinação da duração de cada parte do processo, o que é denominado ciclo. O resumo dos valores utilizados nas fases experimentais 1 e 2 pode ser encontrado na Tabela 4.

**Tabela 4: Valores das principais variáveis dos processos nos tanques para as fases experimentais 1 e 2.**

Variáveis dos processos nos tanques	Fase experimental 1	Fase experimental 2
Tempo de alimentação	15 min/ciclo	>15 min/ciclo
Tempo de recirculação	6 min / ciclo	<6 min / ciclo
Concentração de O <sub>2</sub> após aeração do tanque 1	1 mg/L (O <sub>2</sub> )	1 mg/L (O <sub>2</sub> )
Concentração de O <sub>2</sub> após aeração do tanque 2	2 mg/L (O <sub>2</sub> )	6-10 mg/L (O <sub>2</sub> )
Tempo de pausa	30 min	< 30min
Tempo de remoção do efluente tratado	30 min	> 30 min

Na fase experimental 1, os tempos de aeração dos tanques são aumentados até que se obtenha os valores ótimos de concentração de O<sub>2</sub> (Tabela 4). Nesta fase, o sistema é totalmente automatizado, com a unidade de controle gerindo a operação. Apenas a descarga do lodo em excesso deve ser realizada pelo operador do sistema. Essa etapa raramente ocorre mais do que uma vez por ano, e depende muito da região e da qualidade do lodo no sistema. O tempo de alimentação e de recirculação são determinados a partir de valores empíricos, de forma que aproximadamente um terço do volume é sempre retornado para o tanque 1. A pausa após a



aeração nos tanques faz com que os microrganismos tenham tempo para processar o oxigênio que foi adicionado na mistura.

Na fase experimental 2, o sistema deve ser desligado manualmente à noite e ligado novamente pela manhã. Com esse desligamento noturno, há menos tempo para o mesmo fluxo diário de águas residuárias (7,5 m<sup>3</sup>), e, portanto, é necessário encurtar ou ampliar diferentes etapas do processo de tratamento. As principais possibilidades são aumentar o tempo de alimentação, diminuir o tempo de recirculação e diminuir o tempo de pausa. A remoção do lodo em excesso é realizada como na fase experimental 1.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A condução do projeto até o momento contou com a infraestrutura fornecida pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte, considerada muito importante para a construção e operação da ETESA de pequeno porte e para a rápida resolução de problemas que surgiram, como a necessidade de diversas ferramentas e do suporte dos laboratórios.

O dimensionamento da estação permitiu sua construção e montagem até o momento. O local escolhido para implantação da estação se mostrou uma excelente opção.

Os painéis solares foram alocados, de forma a serem instalados na área com maior insolação, e a unidade de mineralização ficou em um terreno com cota inferior à dos tanques, reduzindo custo com relação ao bombeamento de lodo entre as unidades.

Após avaliação da operação da ETESA de pequeno porte sob condições controladas durante os dois meses de operação da planta piloto, o sistema deve ser validado sob diferentes condições da prática, em estudos posteriores. Dentre essas condições, recomenda-se a avaliação de:

- utilização de uma quantidade mínima de painéis solares e baterias
- utilização de materiais de fornecedores locais, resultando em menores custos do sistema.
- construção de uma ETESA em regiões ou comunidades sem acesso a infraestrutura de esgotamento, possibilitando uma avaliação do sistema funcionando em condições reais e com alta flutuação nos parâmetros de entrada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BUCCO, S. F. An evaluation of the environmental and energetic performance of a small-scale wastewater treatment plant with low waste production operated by solar energy. Dissertação de Mestrado no *Double Degree WASTE/MAUI Master's Program* of the University of Stuttgart/ Federal University of Paraná, Stuttgart, Germany, 2017.
2. COLLE, S.; PEREIRA, E. B.. Atlas de irradiação solar do Brasil. Brasília: UFSC, 1998.
3. FLUGGE, S. Thermodynamics of Gases. Springer Verlag, Berlin, 1958.
4. FLUGGE, S. Thermodynamics of Gases. Springer Verlag, Berlin, 1958.
5. GOLDBERG, B. Kleinkläranlagen heute - Ein Kompendium zu den klärtechnischen Verfahren und Anlagen der Abwasserbehandlung. 3. vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage 2018, Hsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2018.
6. HEINRICH, M. Weitestgehende Abwasserreinigung mittels einer Kleinkläranlage unter erschwerten Bedingung. Dissertação de Mestrado no *Master's Program Environmental Engineering* of the University of Stuttgart, Germany, 2017.
7. PEREIRA, E. B. Atlas brasileiro de energia solar. São José dos Campos: INPE, 2006.
8. SNIS - Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. Diagnóstico dos serviços de água e esgotos (2016). Site institucional. Disponível em: <http://snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2016>. Consultado em 29 set. 2018.
9. TIBA, C. Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétricos. Recife: Ufpe, 2000. 111 p. Disponível em: <http://twixar.me/pS5K>. Acesso em 29 set. 2018.
10. WHO - WORLD HEALTH ORGANISATION. 2.1 billion people lack safe drinking water at home, more than twice as many lack safe sanitation. Bearbeitungsstand: 12.07.2017. Disponível em <http://twixar.me/5S5K>. Acesso em 8 out. WHO - WORLD HEALTH ORGANISATION. Sanitation fact



sheets. Bearbeitungsstand: 19. Februar 2018. Disponivel em <http://twixar.me/PS5K>. Acesso em 8 out. 2018.

11. ZINK, J. Biotopp-System: Ein neuartiges System zur Abwasserreinigung. Ökoservice GmbH, Denkendorf, 2017.
12. ZINK, J. Persönliche Mitteilung. Ökoservice GmbH, Denkendorf, 2018.