



152 - DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA AUTOMÁTICO E DE BAIXO CUSTO PARA AMOSTRAGEM DE EFLUENTES LÍQUIDOS

Thiago Bressani Ribeiro ⁽¹⁾

Técnico em Agropecuária pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), Engenheiro Ambiental pela Universidade Fumec e Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Doutorando em Engenharia Sanitária por Ghent University e UFMG (cotutela). Atua principalmente na linha de pesquisa em digestão anaeróbia e técnicas de pós-tratamento de efluentes de reatores UASB.

Ayana Lemos Emrich ⁽²⁾

Engenheira Ambiental e mestranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG.

Juliana Mattos Bohrer Santos ⁽³⁾

Engenheira Ambiental e doutoranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG.

Kasandra Isabella Helouise Mingoti Poague ⁽⁴⁾

Engenheira Ambiental e mestranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG.

Carlos Augusto de Lemos Chernicharo ⁽⁵⁾

Professor titular da UFMG e pesquisador nível 1A do CNPq.

Endereço ⁽¹⁾: Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha, Belo Horizonte – MG – CEP – 31270-901 – Escola de Engenharia – 4º andar – SI 4400 – Brasil - Tel: +55 (31) 3409-1946 - e-mail: thiago.bressani@hotmail.com

RESUMO

O efetivo controle operacional de sistemas de tratamento de esgoto sanitário depende fundamentalmente da implementação de um adequado programa de monitoramento da fase líquida. Dessa forma, o processo de amostragem assume um papel importante, sendo ainda crucial para a otimização de processos em uma estação de tratamento de esgoto (ETE). Contudo, a amostragem geralmente é realizada por meio de coletas manuais simples, pouco representativas das condições operacionais da ETE e, por vezes, insegura do ponto de vista da saúde ocupacional, o que inviabiliza a tomada de amostras com maior frequência e, consequentemente, representatividade. Frente a essa problemática, o presente trabalho tem como objetivo apresentar a concepção, prototipagem e validação do primeiro equipamento nacional automático de amostragem composta de fase líquida, denominado *Amostrador Étsus 1000*. Dentre suas principais vantagens e diferenciais citam-se: *i*) baixo custo de aquisição comparativamente aos equipamentos disponíveis no mercado; *ii*) adaptação à realidade e às necessidades do setor de saneamento nacional, notadamente pela robustez e simplicidade operacional; *iii*) portabilidade, especialmente devido à possibilidade de operação com bateria recarregável, o que permite a instalação em localidades remotas. Dessa forma, o *Amostrador Étsus 1000* confere maior confiabilidade ao processo de amostragem da fase líquida, ao passo que não cria demandas operacionais diferentes daquelas rotineiramente já existentes em uma ETE.

PALAVRAS-CHAVE: amostrador automático, controle operacional, amostragem composta

INTRODUÇÃO

A correta amostragem da fase líquida em estações de tratamento de esgoto (ETEs) é um ponto crucial para o acompanhamento da operação e eficiência das ETEs. A amostragem automatizada se destaca em relação à manual visto que esta última pode ser bastante trabalhosa, depender de um tempo elevado para ser implementada em programas de monitoramento de larga escala, estar sujeita aos erros humanos, além de expor o operador a condições de risco à sua saúde. Adicionalmente, a tomada manual de amostras tende a inviabilizar a realização de amostragens compostas (24 h), obtidas por meio da combinação de várias amostras simples coletadas em um período de tempo regular, sobretudo face aos custos envolvidos com operadores no horário noturno.

Embora existam amostradores automáticos disponíveis no mercado, tratam-se de equipamentos importados cujo valor tende a inviabilizar a sua aquisição, sobretudo para ETEs de pequeno e médio porte. Nesse contexto, sabe-se que cerca de 80% das ETEs existentes no país atendem a municípios com populações inferiores a 20.000 habitantes, o que corresponde a 70% das cidades brasileiras (ANA, 2015). Ademais, cabe ressaltar que os requisitos de fornecimento de empresas estrangeiras e os trâmites legais de importação podem delongar e/ou inviabilizar a aquisição do produto.



O *Amostrador Étsus 1000* foi idealizado pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA) da UFMG, através do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em ETEs Sustentáveis (INCT ETEs Sustentáveis), em cooperação com as empresas Methanum Engenharia Ambiental, WB Suporte Técnico, Fibrasa e a Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA). O produto desenvolvido trata-se do primeiro equipamento nacional automático de amostragem composta de fase líquida. Concebido por profissionais brasileiros e confeccionado com matéria prima e insumos nacionais, o equipamento garante uma amostragem tão eficiente quanto à oferecida pelos produtos importados existentes no mercado, a um preço acessível, promovendo, portanto, a valorização do conhecimento e da tecnologia nacional, a geração de empregos e a otimização da operação de ETEs. Adicionalmente, é fundamental que equipamentos que agreguem tais qualidades sejam concebidos para o efetivo alcance da universalização dos serviços de esgotamento sanitário.

Diferentemente de uma divulgação de natureza comercial, o presente trabalho busca reportar em uma lógica científica as etapas de concepção, prototipagem e validação do sistema automático de amostragem de líquidos. Dessa forma, entende-se que a presente contribuição pode ter um papel importante para a simplificação e melhoria dos procedimentos de amostragem, assim como para o incremento da confiabilidade dos resultados de monitoramento da fase líquida nas ETEs, inclusive com possível redução de custos com recursos humanos.

OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo apresentar a concepção, prototipagem e validação de um sistema automático de amostragem de líquidos denominado *Amostrador Étsus 1000*.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos associados ao desenvolvimento do *Amostrador Étsus 1000* são:

- Disponibilizar para o mercado nacional um equipamento compacto, simplificado e a preço acessível, programado para realizar amostragens compostas de efluentes líquidos em ETEs.
- Garantir maior segurança e confiabilidade ao processo de amostragem composta de fase líquida em ETEs.
- Simplificar o procedimento de amostragem composta de efluentes líquidos, reduzindo a demanda de mão de obra para tal atividade.

METODOLOGIA

Concepção do sistema automático de amostragem de líquidos

O projeto conceitual do sistema automático de amostragem de líquidos foi desenvolvido pela equipe do INCT ETEs Sustentáveis, responsável pela definição das funcionalidades do equipamento (tipos, ciclos e duração das amostragens) e características dimensionais dos diversos componentes do amostrador. Adicionalmente, a equipe participou de um programa de pré-aceleração de tecnologias, o qual forneceu mentorias e capacitações em diversas temáticas, que por sua vez subsidiaram a elaboração de um Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica, Comercial, Ambiental e Social (EVTECIAS) do *Amostrador Étsus 1000*.

O sistema foi concebido em dois compartimentos interligados entre si: *i*) um primeiro compartimento, superior, contendo uma bomba peristáltica e as instalações eletrônicas; e *ii*) um segundo compartimento, inferior, onde as amostras coletadas são armazenadas e conservadas sob refrigeração (Figura 1).

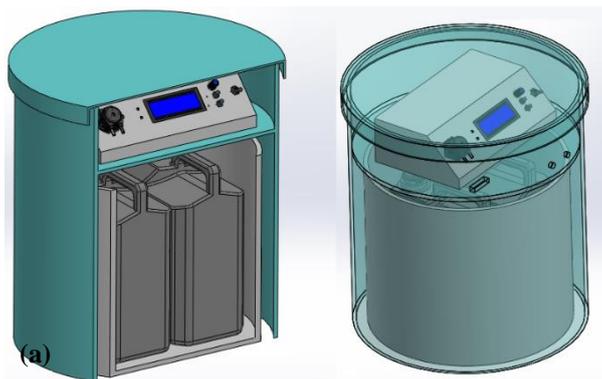


Figura 1: Representação esquemática (a) e foto da versão cabeça de série do Amostrador Étsus 1000 (b)

A bomba utilizada para amostragem do efluente líquido foi do tipo peristáltica, com acoplamento máximo de três cabeçotes de coleta. Adotou-se uma bomba com rotação suficiente para evitar o depósito de sólidos na tubulação de coleta e com possibilidade de inversão de fluxo, a fim de permitir expurgar o líquido que fica armazenado na tubulação de coleta previamente à composição de uma nova alíquota. Eventualmente, a purga do líquido da tubulação pode ocorrer considerando a vazão máxima da bomba peristáltica (menor tempo de purga).

Considerando que a bomba peristáltica foi o item mais dispendioso do sistema, buscou-se formas de reduzir custos através da utilização de um equipamento de rotação contínua. A vazão de coleta foi fixada entre 150 e 200 mL/min, com base em experiências da própria equipe, de forma a permitir maior flexibilidade para ajuste de diferentes ciclos de coleta. Destaca-se que para garantir o correto funcionamento do sistema a longo prazo, foi utilizada tubulação de coleta em silicone ou Norprene®, com diâmetro interno de aproximadamente 8 mm (p. ex.: tipo Masterflex). As amostras ficam armazenadas na parte inferior do Amostrador Étsus 1000 (ver Figura 1), em frascos plásticos mantidos sob refrigeração. A fibra de vidro possui um bom isolamento térmico, o que permite a manutenção da temperatura interna entre aproximadamente 4 a 6°C, com a utilização de gelo. Esta temperatura é recomendada para minimizar o potencial de volatilização ou biodegradação no período entre coleta e análise (APHA, 2012).

Definição das funcionalidades: período de amostragem

Como o objetivo da utilização de amostradores automáticos é permitir a coleta de amostras compostas durante longos períodos de forma segura e confiável, foram considerados ciclos de amostragem de 6, 12 e 24 horas. Geralmente, a coleta automática é realizada em um intervalo de tempo de 24h, já que a amostragem composta pretende caracterizar o comportamento do processo de tratamento de esgoto considerando as variações de carga ao longo do dia.

Definição das funcionalidades: volumes parciais de amostragem

Os intervalos de amostragem foram adotados de forma que fosse obtida uma amostra representativa. Foram considerados intervalos de tempo de 20, 30 ou 60 min entre as coletas de cada alíquota da amostra para um ciclo de amostragem de 6 horas e de 40, 60 e 120 min para os ciclos de 12 e 24 horas.

O volume da alíquota amostrada foi calculado a partir da vazão de coleta, o período e intervalo de amostragem selecionado a partir da equação 1.

$$V_{al} = Q_{am} \times t_{am} \times n$$

Equação 1

na qual:

V_{al} : volume de cada alíquota

Q_{am} : vazão de amostragem

t_{am} : tempo de amostragem

n : número de alíquotas coletadas

Para determinar o número de alíquotas, deve-se considerar o tempo total de amostragem e o intervalo entre a coleta de cada alíquota, conforme a equação 2.



$$n = \frac{p}{i}$$

Equação 2

na qual:

p: período de amostragem

i: intervalo entre a coleta das alíquotas

Definição das funcionalidades: volume total de amostragem

A capacidade dos recipientes de armazenamento varia em função do volume de amostra necessário para as análises laboratoriais especificadas no programa de monitoramento da ETE. O volume do frasco deve ser suficiente para conter a amostra e deixar um espaço que permita uma boa homogeneização anteriormente ao envio para o laboratório. Dentre os parâmetros usualmente monitorados em ETEs que demandam amostragem composta estão: série de sólidos (p.ex.: sólidos em suspensão total), demanda química de oxigênio (DQO) total e filtrada, série nitrogenada (p.ex.: NTK e $\text{NH}_4^+\text{-N}$), sólidos sedimentáveis, óleos e graxas, entre outros, de acordo com a necessidade de cada sistema de tratamento. A Tabela 1 apresenta o volume de amostra necessário para realização da análise dos parâmetros mencionados anteriormente.

Tabela 1: Volume de amostra necessário para realização da análise de alguns parâmetros físico-químicos.

Parâmetro	Volume (mL)
Série de sólidos	300 mL
DQO	7,5 mL
Série nitrogenada	150 mL
DQO filtrada	7,5 mL
Sólidos sedimentáveis	1.000 mL
Óleos e graxas	1.500 mL
Total	4.465 mL

Fonte: (APHA, 2012).

Considerando que: *i*) o volume total para realização da análise de todos os parâmetros apresentados é de aproximadamente 4,5 L; *ii*) deve ser assegurado um volume suficiente de amostra para eventual necessidade de se repetir algum ensaio no laboratório; e *iii*) deve ser assegurado um espaço vazio no recipiente de coleta de forma a permitir uma boa homogeneização da amostra ao final do período de coleta, adotou-se 10 L como volume do recipiente de armazenamento.

Validação do Amostrador Étsus 1000

Com o objetivo de avaliar o desempenho operacional do sistema automático de amostragem de líquidos *Étsus 1000*, veem sendo realizadas, desde março de 2019, amostragens compostas (24 horas) com coletas horárias do efluente de um reator UASB em escala demonstração, com volume de 14,2 m³ e vazão média afluente de 40 m³.d⁻¹. Esse reator situa-se no Centro de Pesquisa e Treinamento em Saneamento UFMG/COPASA (CePTS), localizado junto à Estação de Tratamento de Esgoto Arrudas, em Belo Horizonte – Minas Gerais.

A validação operacional do equipamento está sendo realizada através do monitoramento da temperatura da amostra ao longo do período de coleta e da aferição do volume coletado ao final do ciclo configurado. O medidor de temperatura da marca Elitech modelo RC-4 está sendo utilizado para monitorar a variação de temperatura ao longo do ciclo de amostragem, visto que esse equipamento possui um sistema de *data logger* que permite o armazenamento dos valores de temperatura de 15 em 15 segundos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Roteiro de operação do Amostrador Étsus 1000

Inicialização

Ao ligar o equipamento definiu-se a configuração de uma tela de “boas vindas”, contemplando três opções de navegação:

1. **Configurar novo ciclo** (consiste na definição do período de medição e intervalos de amostragem).

2. **Limpar circuito** (refere à limpeza da tubulação, que deve ser realizada após a finalização da amostragem. Desse modo a bomba opera no sentido reverso).
3. **Calibrar bomba** (deve ser selecionada antes de se iniciar o ciclo de amostragem para realização da calibração do equipamento. A calibração da bomba consiste na tomada amostral de volume pré-definido por cinco vezes em velocidades de bombeamentos diferentes).

O equipamento foi dotado de dois botões funcionais e um inativo (Figura 2). O botão *Change* funciona como um selecionador de opção, servindo para a navegação nas telas. O botão *Menu* funciona como “Sim” e define a escolha nas telas de navegação. O botão inativo destina-se a inserção de uma nova funcionalidade no amostrador e temporariamente está inoperante aguardando a evolução no desenvolvimento do dispositivo.

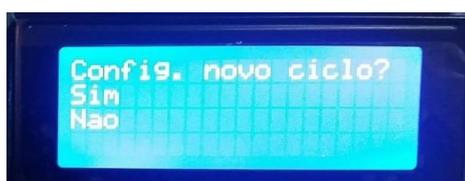


Figura 2: Representação dos botões funcionais e inativo do equipamento.

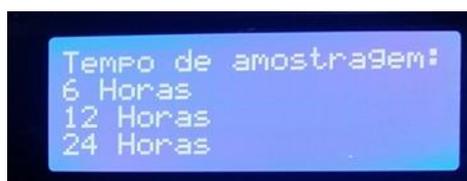
Configuração de um novo ciclo

A partir da escolha da opção “configurar novo ciclo” aparece a pergunta “configurar novo ciclo?” (Figura 3a), onde a opção “sim” deve ser selecionada. Ressalta-se que um sinal de “>” aparecerá na frente da opção e o usuário pode clicar no botão menu para confirmar a escolha.

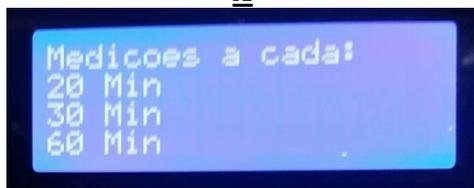
O equipamento dispõe de três períodos de amostragem (Figura 3b). Ao definir o período de 6 horas de amostragem a tela de definição de intervalo aparecerá e uma opção deverá ser selecionada (Figura 3c). Ao escolher o período de 12 horas ou 24 horas, as opções de intervalo mudam conforme representado na Figura 3d. Após definir o período e o intervalo de amostragem o equipamento entra em operação (Figura 3e). Ao concluir a amostragem, o equipamento apresenta a seguinte mensagem “Dosagem concluída! Pressione Menu para um novo ciclo”.



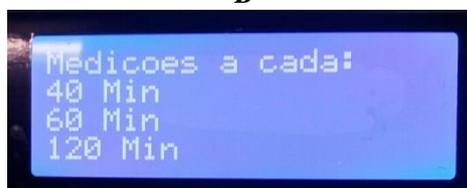
A



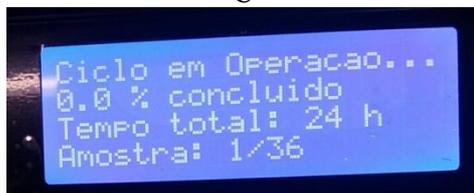
B



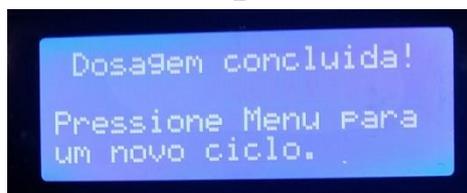
C



D



E



F

Figura 3: Representação das etapas para configuração de um novo ciclo de amostragem.

Calibração da bomba

Quando necessário, o usuário deverá realizar uma calibração da bomba peristáltica de coleta (Figura 4a). Para isso será necessário a utilização de uma proveta graduada. Recomenda-se que o usuário acompanhe os volumes amostrados, de modo que qualquer alteração no volume final indicará a necessidade de nova calibração.

Ao selecionar a opção “nova calibração” será iniciada a calibração do equipamento. Um recipiente com água deverá se posicionado e a mangueira de sucção inserida no líquido. Do mesmo modo, a mangueira de saída deverá ser posicionada dentro de uma proveta graduada (proveta de volume superior a 50 mL).

A calibração será iniciada e o equipamento realizará a sucção do líquido (Figura 4b). No momento em que o volume de 50mL for atingido na proveta o usuário deverá apertar o botão menu, que realizará a marcação do primeiro valor aferido. Esse processo se repetirá por cinco vezes em velocidades diferentes. Ao final o equipamento estará calibrado para a medição.

Destaca-se que para restaurar a calibração de fábrica, basta selecionar a opção “Restaurar calibração de fábrica”, que o equipamento utilizará as especificações definidas pelo fabricante (Figuras 4c e 4d).



Figura 4: Representação das etapas para calibração da bomba de coleta.

Limpeza do equipamento

Após a amostragem, as mangueiras do amostrador deverão ser limpas. Para isso, será necessário o uso de um recipiente com água limpa. A mangueira de saída deverá ser posicionada dentro do recipiente e a opção “Limpar Circuito” deverá ser selecionada. Instantaneamente a bomba começará a operar em sentido reverso succionando a água e higienizando a mangueira. No período de limpeza a tela do equipamento indicará a mensagem apresentada na Figura 5. Após a finalização o equipamento poderá ser desligado.



Figura 5: Representação da tela do equipamento durante o processo de limpeza.

Validação do sistema automático de amostragem de líquidos

A validação do equipamento através da aplicação em uma ETE está em andamento. O monitoramento de desempenho do equipamento no que se refere à coleta do volume correto de amostra e à garantia da temperatura de refrigeração está sendo realizado pela equipe do INCT ETEs Sustentáveis.



CONCLUSÕES

Acredita-se que as características de portabilidade, simplicidade, leveza, robustez e baixo custo do *Amostrador Étsus 1000* são importantes aspectos do produto, totalmente em consonância com as atuais demandas dos prestadores de serviços de saneamento no Brasil. Face à expansão do número de ETEs no Brasil e às limitações em relação ao monitoramento e controle operacional das mesmas, o equipamento desenvolvido poderá agregar importante contribuição para a simplificação e melhoria dos procedimentos de amostragem, assim como para melhorar a confiabilidade dos resultados de monitoramento da fase líquida nas ETEs, inclusive com possível redução de custos com recursos humanos.

Ressalta-se que o *Amostrador Étsus 1000* foi integralmente concebido por profissionais brasileiros e confeccionado com materiais e insumos quase exclusivamente nacionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. *Atlas Esgotos Despoluição de Bacias Hidrográficas*. Brasília – DF; Ministério das Cidades, 2015, 92 p.
2. APHA. *Standard Methods For de Examination of Water and Wastewater*. 22 TH ed. Whashington: American Public Health Association, 2012.