

Development of a low-cost automated monitoring system for an anaerobic lagoon effluent treatment biological system

Desenvolvimento de um sistema de monitoramento automatizado de baixo custo para sistema biológico de tratamento de efluentes por lagoa anaeróbia

Article Info:

Article history: Received 2022-10-01 / Accepted 2022-10-27/ Available online 2022-10-27

doi: 10.18540/jcecv18iss8pp14818-01e

Jean Carlos Coelho Pacheco

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6120-6369>

Universidade Federal de Viçosa, Brasil

E-mail: jean.pacheco@ufv.br

Wilson de Almeida Orlando Junior

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1784-2135>

EPAMIG, Instituto de Laticínios Cândido Tostes, Brasil

E-mail: wilson.almeida@ufv.br

Flaviana Coelho Pacheco

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1302-8059>

Universidade Federal de Viçosa, Brasil

E-mail: flaviana.pacheco@ufv.br

Ana Flávia Coelho Pacheco

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7220-1432>

EPAMIG, Instituto de Laticínios Cândido Tostes, Brasil

E-mail: ana.f.pacheco@ufv.br

Kely de Paula Correa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0595-7990>

EPAMIG, Instituto de Laticínios Cândido Tostes, Brasil

E-mail: kelypaula@yahoo.com.br

Paulo Henrique Costa Paiva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5455-7790>

EPAMIG, Instituto de Laticínios Cândido Tostes, Brasil

E-mail: paulohcp@epamig.br

Resumo

Objetivou-se desenvolver um sistema de monitoramento automatizado de baixo custo para sistema biológico de tratamento de água residuária por lagoa anaeróbia. Para tal, foi empregado um potenciômetro ajustado via regressão com o propósito de determinar o nível de efluente atual da lagoa e um sensor de temperatura que determinar a eficiência de operação, automatizando esse processo de monitoramento facilita a operação no dia a dia na estação de tratamento de efluentes e é passível fazer uma estimativa do período de retenção hidráulica que o efluente permanecerá no sistema de tratamento. Para isso, foi empregado a plataforma IDE do Arduino utilizando a plataforma online do TinkerCAD. Por fim, foi possível elaborar um sistema automático de monitoramento do nível de efluente na lagoa, sua eficiência de operação e a estimativa da concentração de demanda biológica de oxigênio no efluente presente na lagoa anaeróbia, facilitando os processos manuais e auxiliando na estimativa do período de retenção hidráulica. Resultados obtidos foram animadores e mostraram aptidão para serem implantados na estação de tratamento para deixá-la mais automatizada e menos susceptível a erros mecânicos realizados por funcionários.

Palavras-chave: Automação. Arduino. TinkerCAD. Demanda biológica de oxigênio.

Abstract

The objective was to develop a low-cost automated monitoring system for a biological wastewater treatment system in an anaerobic lagoon. To this end, a potentiometer adjusted via regression was used in order to determine the current effluent level of the pond and a temperature sensor to determine the operating efficiency, automating this monitoring process facilitates the day-to-day operation in the treatment plant. of effluents and it is possible to estimate the hydraulic retention period that the effluent will remain in the treatment system. For this, the Arduino IDE platform was used using the TinkerCAD online platform. Finally, it was possible to develop an automatic system to monitor the level of effluent in the lagoon, its operating efficiency, and the estimation of the concentration of biological oxygen demand in the effluent present in the anaerobic lagoon, facilitating manual processes and helping to estimate the period of hydraulic retention. Results obtained were encouraging and showed aptitude to be implanted in the treatment plant to make it more automated and less susceptible to mechanical errors made by employees.

Keywords: Automation. Arduino. TinkerCAD. Biological oxygen demand.

1. Introdução

Águas residuárias oriundas de sistemas agroindustriais são resíduos gerados ao final dos processos produtivos que apresentam altas concentrações de carga poluidora. Esse setor está entre as maiores fontes poluidoras no Brasil em função dos resíduos serem ricos em substâncias orgânicas, nutrientes, sólidos, óleos e graxas. A destinação final inapropriada desses efluentes pode contaminar as águas superficiais, subterrâneas e o solo, além de causar grandes impactos negativos a saúde humana. Existem alguns requisitos, previstos nas legislações ambientais brasileiras, a serem atingidos para que os efluentes possam ser lançados no ambiente e para atender esses requisitos, são necessários a utilização de sistemas de tratamento que podem ser divididos em físicos, químicos e biológicos (Vagheti, 2009; Von Sperling, 2005).

Dentre as alternativas para o tratamento desses resíduos e para o atendimento à legislação ambiental, a digestão anaeróbia mostra-se como uma solução de baixo custo para o tratamento das águas residuárias caracterizadas por elevadas cargas orgânicas, com as vantagens da produção de biogás, baixa produção de lodo, menor exigência de área, além de ser uma solução apropriada para regiões de clima tropical. As lagoas anaeróbias constituem-se em uma forma alternativa de tratamento, onde a existência de condições estritamente anaeróbias é essencial. Tal é alcançado através do lançamento de uma grande carga de demanda biológica de oxigênio (DBO) por unidade de volume da lagoa, fazendo com que a taxa de consumo de oxigênio seja de várias vezes a taxa de produção. A digestão anaeróbia é um conjunto de processos em que os microrganismos degradam a matéria orgânica biodegradável presente na água residuária sob condições estritamente anaeróbias, ou seja, na ausência de gás oxigênio. Esse fenômeno metabólico natural é muito complexo e para que ocorra de maneira eficiente, depende da associação de comunidades microbianas para transformar a matéria orgânica em dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4). A ocorrência desse processo é dividida em quatro fases diferentes (hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese) e cada uma dessas etapas são dependentes de dissemelhantes grupos de microrganismos sob variáveis condições ambientais (Da Silva et al., 2015; De Prá, 2012; Deublein e Steinhauser, 2011; Rodríguez et al., 2011).

No entanto, dificilmente a utilização dos sistemas anaeróbios isoladamente conseguem atender aos parâmetros exigidos pela legislação brasileira, sendo necessária sua combinação com algum outro sistema, sendo uma possível resposta, as lagoas de estabilização. Trata-se de um dos métodos mais simples de tratamento de efluentes, que apresenta bom funcionamento em locais com grandes amplitudes climáticas, do clima tropical ao ártico e podem ser usadas para águas residuárias domésticas ou industriais (Von Sperling, 2005; Von Sperling, 2002). Diante do exposto, objetivou-se desenvolver um sistema de monitoramento automatizado de baixo custo para sistema biológico de tratamento de água residuária por lagoa anaeróbia.

2. Material e métodos

O desenvolvimento do sistema automatizado foi idealizado na IDE do Arduino utilizando a plataforma online do TinkerCAD para obtenção do circuito capaz de fornecer o nível de efluente, eficiência estimada de remoção de resíduos e estimativa da concentração de DBO presente na lagoa anaeróbia de acordo com sua eficiência de remoção. A estação de tratamento de água residuária foi projetada seguindo o sistema de tratamento australiano, ou seja, lagoa anaeróbia seguida por lagoa facultativa. A lagoa anaeróbia, objeto de estudo, possui as seguintes dimensões: 4,5 metros de altura (sendo 4 metros úteis e 0,5 metro de folga), comprimento de 10 metros e largura de 3,3 metros, ambas as dimensões à meia altura.

A automatização do controle do nível de água foi programada com a utilização de um sensor de nível de água tipo boia simples, que varia sua altura de acordo com a superfície que está em contato. Como no TinkerCAD não possui um sensor que executa essa função, foi utilizado um potenciômetro para simular o funcionamento do sensor de nível. Para simular as condições reais, foi feita uma curva de regressão entre a altura da lagoa anaeróbia do sistema de tratamento e a resposta emitida pelo potenciômetro de acordo com sua regulagem. Vale ressaltar que as respostas obtidas por esses componentes eletrônicos variam de 0 a 1023, sendo necessário fazer uma correção para 5V. A correção da leitura obtida por esses sensores digital (equação 1) é efetuada de maneira simples, sendo apenas necessário utilizar manipulação algébrica de acordo com sua propriedade de leitura.

$$y = ((float) \cdot x) \cdot \left(\frac{5,0}{1023,0} \right) \quad (1)$$

Em que, y é a resposta corrigida e x é a leitura emitida pelo potenciômetro.

Após realização da regressão linear e correção da leitura do potenciômetro, foi gerada a equação da curva (equação 2) que atende a variação da lâmina líquida de efluente na lagoa.

$$y = - 0,9 \cdot x + 4,5 \quad (2)$$

Em que, y equivale ao nível de efluente presente na lagoa e o x equivale a resposta emitida pelo potenciômetro.

O sensor de nível além de ser um parâmetro de controle para não prejudicar a eficiência de remoção de matéria orgânica no efluente a ser tratado, visa também funcionar como um sistema de monitoramento e de alerta para condições inapropriadas para a operação da lagoa anaeróbia. Diante disso, acoplado a esse sistema de detecção do nível de efluente presente na lagoa, foi inserido um dispositivo sonoro disposto na plataforma do TinkerCAD chamado de Audio Piezo Transducer 30V TH, que tem o intuito ativar um alarme sonoro avisando que o nível de efluente na lagoa está crítico e que ela precisa ser enchida.

A lógica de programação utilizada baseia na resposta obtida pelo sensor de nível implantado e de acordo com essa resposta, esse componente sonoro é ativado ou permanece desligado. Condições em que o nível de efluente menor ou igual 2 metros de altura, o Piezo será ativado com uma frequência de 440 Hz para alertar aos funcionários da estação que o nível de efluente está baixo e que a lagoa precisa ser enchida, caso contrário esse componente sonoro não é acionado.

Partindo do pressuposto que para a ocorrência do enchimento da lagoa ocorra com a abertura de uma comporta acionada via pressionamento de um botão, visando uma automatização mais aprimorada e diminuição de trabalho monótonos, foi utilizado o componente digital conhecido como Servo Motor no circuito para exercer a função de pressionar ou não pressionar o botão afim de abrir/fechar a comporta de maneira automática, sem necessidade desse procedimento ser feito de maneira manual por um funcionário. Esse componente é acionado partindo de uma lógica de programação simples, caso o nível de efluente na lagoa seja menor que 4 metros, considerado altura abaixo da indicada de operação, o Servo Motor será acionado e sua alavanca será rotacionada em

90°, assim pressionando o botão que abre a comporta, caso o nível de efluente seja maior ou igual a 4 metros, esse componente permanece com sua alavanca na posição inicial (0°), assim o botão não é pressionado e a comporta continua fechada.

Além disso, foram instalados vários componentes luminosos, conhecido como LED's, de diferentes colorações, com intuito de ser mais prático e didático para os funcionários da estação. A utilização do LED vermelho, visa alertar que o nível de efluente na lagoa está abaixo do indicado, com isso ao mesmo tempo que o dispositivo sonoro é ativado nessa condição. O LED amarelo indica que o nível atual é considerado uma condição intermediária e o LED verde indica que o nível de efluente é ótimo para a operação da lagoa anaeróbia.

No que diz respeito a automação para a estimativa da eficiência de remoção e da concentração de DBO presente nesse sistema de tratamento de efluente, foi utilizado um sensor temperatura modelo TMP36 disposto na plataforma do TinkerCAD. A utilização desse sensor é de extrema importância pois, a estimativa de eficiência de remoção de matéria orgânica da lagoa depende da temperatura do ar local e a estimativa da concentração de DBO depende da eficiência de remoção. Como nesse sistema digital, as respostas variam de 0 a 1023, foi feita uma conversão para 5V e foi feita uma regressão seguindo a metodologia citada anteriormente para o sensor de nível. Posteriormente a esta regressão, foi gerada uma equação da curva (equação 3) que atende a variação da temperatura do ar local.

$$y = 100 \cdot x - 50 \quad (3)$$

Em que, y equivale à temperatura local e o x equivale a resposta emitida pelo sensor de temperatura TMP36.

Dessa maneira, com a utilização do sensor de temperatura, a estimativa da eficiência de remoção e da concentração de DBO presente na lagoa anaeróbia é determinada de acordo como mostrado na tabela 1.

Tabela 1 – Estimativa da eficiência de remoção e da concentração de DBO no sistema

Temperatura do ar (°C)	Eficiência teórica (%)	Concentração de DBO
< 10	40	$C_{DBO} = S_o \cdot \left(1 - \frac{E}{100}\right)$
10 – 20	$2T + 20$	
20 – 25		
> 25	70	

Por outro lado, com intuito de ser sistema automatizado e bastante didático no aspecto visual, foi implantado um display de LCD 16x2 disposto na plataforma TinkerCAD, com intuito de passar em tempo real as condições de operação da lagoa anaeróbia. Nesse sistema visual, o intuito foi disponibilizar quatro possibilidades de análise das condições de operação, sendo possível analisar momentaneamente a temperatura ambiente local, o nível de efluente atual na lagoa, a estimativa de eficiência de operação levando em consideração a temperatura registrada pelo sensor TMP36 e a estimativa da concentração de DBO no efluente de acordo com a eficiência estimada. Para ter acesso a essas informações, foi implantado um botão no circuito que funciona como um contador, que de acordo com a quantidade de cliques que ele receber, irá informar uma das condições citada anteriormente. Por fim, foi realizado a escrita do script em linguagem C++ para realização de todas as premissas indicadas anteriormente, bem como a montagem realizada no TinkerCAD, conforme apresentado na Figura 1.

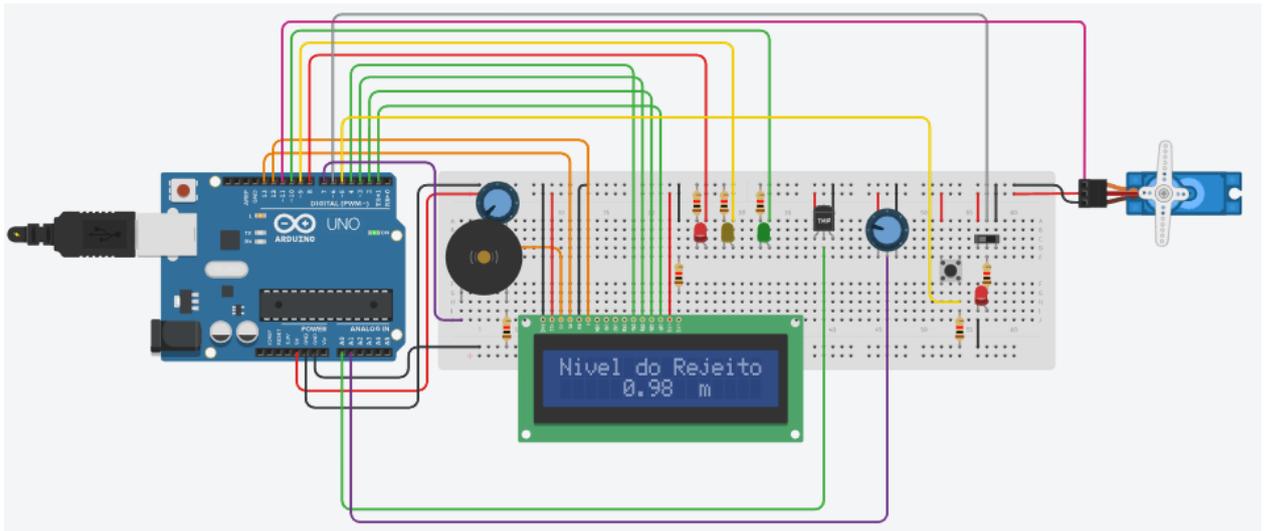


Figura 1 – Montagem realizada do circuito proposto na plataforma TinkerCAD

3. Resultados e discussão

As equações obtidas por regressão linear apresentaram coeficiente de determinação de 0,998 e 0,997, para as equações 2 e 3 respectivamente, indicando que a variância da variável dependente a partir dos regressores (variáveis independentes) incluídas no modelo linear são explicadas pelas equações encontradas.

O sensor de temperatura apresentou uma ampla amplitude para determinação da temperatura do ar em tempo real, variando entre -40° e 125° C, mostrando ser eficiente para atender o sistema de monitoramento proposto. Por outro lado, o potenciômetro ajustado para funcionar como o sensor do efluente apresentou varredura de 0 a 4,5 metros de profundidade conforme a condição real da lagoa projetada para o sistema de tratamento.

No que diz respeito ao sensor sonoro instalado no sistema, o Audio Piezo apresentou precisão e agilidade na resposta de acionamento de acordo com a elevação/redução do nível de efluente na lagoa anaeróbia, bem como atuação da frequência de 440 Hz. Além disso, os LED's instalados no sistema apresentaram sincronização efetiva com a alteração do nível de efluente.

Por fim, a utilização do servo motor apresentou ser o sensor que menos adaptou sob condição real de operação de um sistema de tratamento de efluente, uma vez que, devido a necessidade de acionamento de equipamento mais robustos para acionar abertura/fechamento da comporta. Por outro lado, devido a essa peculiaridade, a utilização do sensor conhecido como relé seria mais eficiente para atuação desse comando afim de automatizar o sistema.

4. Conclusão

A partir dos resultados obtidos ao longo do projeto, foi possível concluir que o sistema de monitoramento para o nível de efluente em uma lagoa anaeróbia, bem como a estimativa da sua eficiência de remoção e da concentração de DBO presente foi alcançado, uma vez que, de acordo com a simulação feita na plataforma do TinkerCAD, mostraram resultados animadores e possíveis de serem implantados na estação de tratamento para deixá-la mais automatizada e menos susceptível a erros mecânicos realizados por funcionários. Vale ressaltar que como o sistema foi desenvolvido em uma plataforma digital, sob condições ideais, torna-se necessário a realização de uma validação sob condições reais.

Por outro lado, pode-se observar que o sistema de monitoramento além de informar várias informações preciosas para a tomada de decisão, possui grande possibilidades de implantação de outros sensores afim de automatizar ainda mais o sistema de tratamento de efluentes. Vale ressaltar, que esse projeto buscou atender apenas a automação da lagoa anaeróbia em um sistema de

tratamento do tipo australiano, porém nessas estações existem as etapas preliminares e a etapa final da lagoa facultativa.

Por fim, um próximo passo para melhoria do sistema seria a utilização dos códigos operacionais, como por exemplo com o uso do Arduino GSM Shield, a fim de se encaminhar as informações em tempo real para os funcionários, assim auxiliando nas tomadas decisões quanto ao tempo de retenção, melhoria na eficiência, entre outros aspectos.

Referências

- Da Silva, M. L. B., Cantão, M. E., Mezzari, M. P., Ma, J., Nossa, C. W. (2015). Assessment of bacterial and archaeal community structure in swine wastewater treatment processes. *Microbial Ecology*, 70, 77-87. <https://doi.org/10.1007/s00248-014-0537-8>
- De Prá, M. C., Kunz, A., Bortoli, M., Perondi, T., Chini, A. (2012). Simultaneous removal of TOC and TSS in swine wastewater using the partial nitrification process. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 87(12), 1641-1647. <https://doi.org/10.1002/jctb.3803>
- Deublein, D., Steinhauser, A. (2011). *Biogas from waste and renewable resources: an introduction*. John Wiley & Sons.
- Rodríguez, D. C., Belmonte, M., Peñuela, G., Campos, J. L., Vidal, G. (2011). Behaviour of molecular weight distribution for the liquid fraction of pig slurry treated by anaerobic digestion. *Environmental technology*, 32(4), 419-425. <https://doi.org/10.1080/09593330.2010.501821>
- Vaghetti, J. C. P. (2009). *Utilização de Biossorbente para remediação de efluentes aquosos contaminados com íons metálicos*. Tese de Doutorado em Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Von Sperling, M. (2002). *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Lagoas de Estabilização*. 2ª ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 196 p.
- Von Sperling, M. (2005). *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 4ª ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 452 p.