

## DESENVOLVIMENTO E CALIBRAÇÃO DE SENSOR DE MEDIDA DE PH COM PLATAFORMA ARDUÍNO PARA EMPREGO EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Lucas Fernandes Camelo (\*), Filipe Rafael de Freitas, Valcimar Silva de Andrade

\* Instituto Federal de Minas Gerais - Campus Governador Valadares, lucascamelofernandes@gmail.com

### RESUMO

Neste presente trabalho é apresentada uma proposta de construção de sensor de medida de pH (pHmetro) baseado em plataforma open source e de baixo custo, utilizando como microcontrolador Arduino. Tal sistema foi construído de modo a ser empregado na medida de pH do esgoto, variável importante a ser monitorada em sistemas de tratamento. De modo específico é importante ressaltar que o protótipo foi desenvolvido como trabalho de conclusão de curso técnico em meio ambiente, onde vislumbrou-se estudar a questão da instrumentação para medida de pH e desenvolver aparato de baixo custo para esse fim. Do ponto de vista metodológico o trabalho passou pelas seguintes etapas: breve revisão bibliográfica, montagem do pHmetro, criação do código fonte para operação do sensor, calibração e testes de funcionamento. Para calibrar e averiguar o funcionamento do pHmetro construído, foram feitos procedimentos experimentais em soluções padrão obtidas comercialmente. Os testes de funcionamento envolveram soluções e substâncias diversas, foram medidos seus respectivos pHs e os valores foram comparados com resultados de um pHmetro comercial já calibrado. Os resultados mostraram que o instrumento possui capacidade de medir o pH de amostras de esgoto, assim como de outras substâncias, com erro relativo abaixo de 1%. O valor total do sensor desenvolvido foi estimado em R\$ 300,00, enquanto um pHmetro comercial gira em torno de R\$ 2700,00 (modelo mais simples). O projeto deverá, em trabalhos futuros, ser aprimorado para uso intensivo em práticas laboratoriais e de campo, evitando o emprego de equipamento comercial em atividades mais simples. Também se vislumbra uma atividade prática sobre o funcionamento de um pHmetro, como forma de fazer assentar esse importante conceito e o entendimento dos princípios de funcionamento deste tipo de sensor.

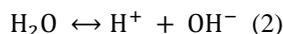
**PALAVRAS-CHAVE:** Medida de pH, Arduino, Instrumentação e Meio Ambiente

### INTRODUÇÃO

Em 1909, Søren Peder Lauritz Sørensen, definiu o pH como o logaritmo do inverso da concentração hidrogeniônica  $[H^+]$ , de uma solução aquosa, em termos matemáticos:

$$pH = \log \frac{1}{[H^+]} \quad (1)$$

Considerando a existência do equilíbrio:



E partindo do princípio que, a 25° C, se verifica a seguinte relação entre as concentração hidrogeniônica e o a constante de dissociação da água ( $K_{\text{água}}$ ):

$$K_{\text{água}} = 1.0 \times 10^{-14} = [H^+] [OH^-] \quad (3)$$

Desta forma temos que em "água pura"  $[H^+] = [OH^-] = 10^{-7} \text{ mol dm}^{-3}$  ou seja, pH = 7,0, ou pH de neutralidade. A escala varia então de 0,0 (mais ácido) a 14,0 (mais básico). Atualmente, existem pequenos aparelhos portáteis nomeados como pHmetros que servem como principal indicador deste potencial, que rapidamente após sua determinação dispõe em um visor um número indicando o valor do pH da solução utilizada no teste. Basicamente este instrumento utiliza uma sonda chamada eletrodo de vidro, que ao ser submergida na solução em teste cria uma diferença de potencial elétrico correlacionada com a concentração hidrogeniônica, permitindo, através do correto tratamento deste sinal de tensão a medida do valor do pH naquela solução. Cabe lembrar que também há uma certa dependência desta concentração com a temperatura, por isso a medida do pH deve ser acompanhada pela medida de temperatura.

Do ponto de vista prático a medição do pH é uma análise utilizada mundialmente em laboratórios químicos, bioquímicos, hospitalares e industriais, dada sua grande importância no campo da química, pois é uma forma de garantir e controlar a qualidade de determinados produtos, pois várias reações químicas ocorrem dentro de uma

determinada faixa de pH específico, o que permite o seu controle. Isso é fundamental para evitar alguns tipos de problemas relacionados à alterações de pH, em especial, o funcionamento de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE).

O correto monitoramento do parâmetro pH durante o tratamento de esgoto, tanto no momento de entrada quanto na saída de ETE, garante o retorno do esgoto tratado aos cursos de água ou mesmo para reuso, sem riscos de efeitos nocivos ao meio ambiente e a vida humana. Na ETE os valores de pH afastados da neutralidade tendem a afetar as taxas de crescimento dos microorganismos, uma vez que os mesmos promovem a limpeza do esgoto; o pH com valor elevado possibilita a precipitação de metais, o que dificulta o processo de tratamento e acarreta incrustação nas tubulações. Com nível baixo de pH surge o problema de corrosão nas tubulações, além de efeitos significativos quando lançado no meio ambiente. O IFMG *Campus* Governador Valadares possui uma ETE, responsável por tratar o esgoto da unidade, que realiza muitas operações de forma automatizada, exceto as que dependem de leitura de pH. Diante disso surgiu a demanda de produção de um pHmetro capaz de medir o valor de pH neste meio e com baixo custo. Para isso foi preciso buscar uma plataforma eletrônica capaz de condicionar e tratar o sinal proveniente de um eletrodo de vidro.

O Microcontrolador Arduíno ou simplesmente Arduíno é uma plataforma cujo o uso e a sua natureza fazem dele uma ótima opção para construção de projetos eletrônicos de baixo custo e pouca demanda de processamento. Esta plataforma permite a conexão de circuitos eletrônicos aos seus terminais de modo que influa o controle dos dispositivos, no caso o sensor de pH. Ela pode ler sinais de sensores e encaminhar, após processamento, sinais a sistemas atuadores, além de armazenar e transmitir os dados lidos em suas entradas analógicas e digitais. O Arduíno se conecta a um computador por meio de um barramento serial universal (USB) com o intuito que se possa usar o mesmo como placa de interface, sendo controlada através de um computador por meio de códigos de programação. Neste sentido, a existência de uma sonda e/ou eletrodo compatível com o microcontrolador Arduíno abriu o caminho para a construção de um pHmetro de baixo custo para uso na ETE do IFMG *Campus* Governador Valadares.

## OBJETIVOS

Diante da problemática de medida de pH em uma estação de tratamento de esgoto existente no IFMG *Campus* Governador Valadares, da existência de uma sonda de medida de pH compatível com o microcontrolador Arduíno, o presente trabalho teve como objetivo central desenvolver um sensor de medida de pH de baixo custo para uso no monitoramento desta variável em esgoto. Além disso, o sensor foi desenvolvido para uso geral e como objeto de ensino, uma vez que seja de fácil montagem, pode ajudar na abordagem do conceito de pH em aulas experimentais com os alunos do curso técnico em meio ambiente da referida instituição de ensino.

## METODOLOGIA

O desenvolvimento deste trabalho foi conduzido no Laboratório de Ciências Naturais 01 do IFMG - *Campus* Governador Valadares. Foi desenvolvido um modelo de pHmetro baseado em um microcontrolador Arduino, responsável pela mensuração do valor do pH que é determinado por meio de artifícios eletrônicos, ou seja, uma sonda ou ponta de prova, baseada em um bulbo de vidro sensível a íons de hidrogênio é responsável pela "medição direta do pH" gerando um sinal de tensão associado [4]. O microcontrolador é programado para tratar o sinal de tensão e associá-lo a um valor na escala de pH (0,0 a 14,0), ao final do processo os valores alcançados devem ser apresentados no monitor serial em um computador.

Para calibração do equipamento desenvolvido foram realizados procedimentos de calibração com soluções tampões com pH anteriormente caracterizados (pH=4; pH=7; pH=10) e testes com substâncias comuns do dia-a-dia (suco limão, vinagre, leite, água de torneira). Por fim procedeu-se a medida do pH de esgotos coletados em duas fontes. Dessa forma o procedimento de calibração e os testes utilizaram como padrão metrológico o pHmetro comercial disponível no IFMG - *Campus* Governador Valadares. Para auxiliar na análise dos resultados e rastrear possíveis fontes de erro, foram anotados dados como temperatura do laboratório e tempo de estabilização das medidas, pois essas variáveis podem interferir no resultado das medidas realizadas.

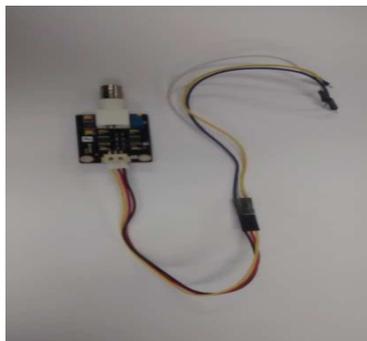
Como última etapa de testes práticos do medidor de pH desenvolvido, foram realizados testes em duas amostras de esgoto colhidas na ETE e cantina do IFMG - *Campus* Governador Valadares, verificando o funcionamento do medidor de pH na situação de emprego para a qual fora pensado.

## RESULTADOS

Para a confecção do pHmetro foram utilizados três elementos principais: sonda de medida de pH (SEN0161), que é compatível com a placa Arduino, um adaptador de sinal que permite o acoplamento da sonda ao microcontrolador, e o próprio microcontrolador arduino. A figura 1 ilustra os três elementos, que montados conjuntamente e acoplados a um computador com entrada USB, compõe o pHmetro. Uma vez efetuada montagem da parte de hardware (microcontrolador Arduino, da sonda SEN 01161 e de seu respectivo circuito adaptador), foram feitos testes com códigos fonte disponíveis em ambientes colaborativos de programação em arduino na internet para controle do sistema. O código fonte que melhor se adaptou ao projeto foi criado em 11/08/2016 e disponibilizado por youyou de DFrobot (youyou.yu@dfrobot.com - GNU Lesser General Public License). O registro pode ser checado em <http://www.gnu.org/licenses/>. Foram necessárias poucas alterações no código para que o sistema funcionasse e permitisse a calibração requerida, mostrando na tela do computador o valor de pH medido. A principal facilidade do código fonte utilizado é a calibração via programação, ou seja, não se usa ajuste em potenciômetro ou trimpot do circuito adaptador. Assim, caso haja alteração de parâmetros do circuito com o tempo, e mesmo deterioração da sonda, o software refaz a calibração (utilizando as soluções tampão) recalculando novos parâmetros. A figura 2 mostra o trecho do código responsável pela indicação da tensão lida na entrada analógica e exibição do valor de pH na tela do computador.



(a)



(b)



(c)

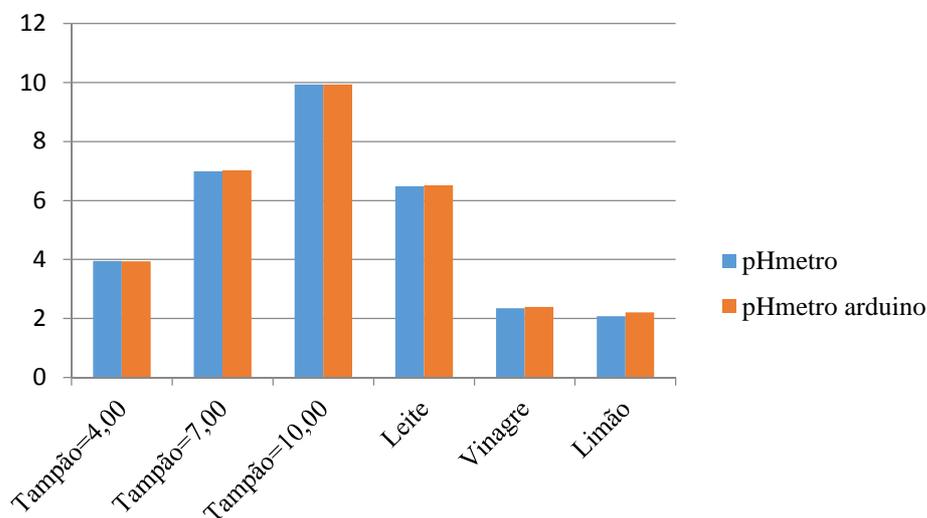
Figura 1: (a) Sonda de Medida de Ph SEN0161 – Compatível com Arduino (b) Adaptador de Sinal SEN0161-Arduino (c) Microcontrolador Arduino Uno

```
se( enterCalibrationFlag ) // em modo de calibração, imprima a
tensão para o usuário, para assistir a estabilidade da tensão
{
  Serial .print ( "Voltage" );
  Serial .print ( averageVoltage );
  Serial .println ( "mV" );
  } else {
  Serial .print ( "pH" ); // em modo normal, imprimir o valor do pH
para o usuário
  Serial .println ( averageVoltage/ 1000.0 * slopeValue+ interceptValue );
```

Figura 2: Trecho do código fonte responsável por exibir o valor de tensão da sonda (modo calibração) e o respectivo valor de pH (modo normal).

Após a calibração os testes iniciais foram feitos com o auxílio de três soluções tampão (pH 3,0; pH 7,0; pH 10,0), amostras de vinagre (solução de ácido acético), suco de limão e leite. As soluções tampão foram utilizadas na

calibração, onde o pHmetro comercial, disponível no laboratório de Química do IFMG - Campus Governador Valadares, foi utilizado como padrão metrológico. Após a calibração o pHmetro com arduíno foi feito um teste onde se mediu o pH das amostras de vinagre, suco de limão e leite, juntamente com o pHmetro comercial. Os resultados são mostrados na figura 3.



**Figura 3: Resultados alcançados nos testes em vinagre, suco de limão e soluções tampões (pH=4; pH=7; pH=10), comparando os resultados encontrados com o pHmetro comercial e o pHmetro com base em Arduíno (25°C).**

O teste final foi feito com a medida de pH de esgoto, um retirado da ETE e outro da rede coletora de esgoto da cantina do IFMG *Campus* Governador Valadares (Figura 4). Os resultados encontrados com o esgoto da ETE comprovam que o pH deste está dentro dos critérios de proteção à vida aquática, que fixam o pH entre 6,00 e 9,00. Já os resultados de pH obtidos com o esgoto da cantina, se encontram afastados desta faixa, em torno de 5,25, sendo uma das explicações possíveis a presença de muito sabão. O que foi verificado no dia da coleta. Cabe ressaltar que a ETE em questão ainda não está em pleno funcionamento, por isso o esgoto colhido não era um esgoto acumulado, além disso havia pouca presença de matéria orgânica e pouco indício de atividade dos microorganismos típicos. A tabela 1 mostra os resultados de pH obtidos para as duas amostras coletadas.



(a)



(b)

**Figura 4 - (a) Ponto de Coleta de Esgoto da ETE. (b) Ponto de Coleta de Esgoto da Cantina.**

**Tabela 1 – Resultados de medida de pH para as amostras de esgoto da ETE e da Cantina**

pH - Esgoto da ETE (25°C)		pH - Esgoto da Cantina (25°C)	
Amostra	pH	Amostra	pH
1	7,03	1	5,38
2	7,06	2	5,28
3	7,06	3	5,25
4	7,06	4	5,25

## CONCLUSÕES

De acordo com os dados obtidos na calibração e nos testes de aplicação do pHmetro desenvolvido, pode-se concluir que o projeto deste medidor de pH mostrou-se viável, o que é comprovado pela compatibilidade entre os resultados encontrados pelo medidor de pH desenvolvido e o pHmetro comercial do IFMG - Campus Governador Valadares. Tal pHmetro comercial foi tomado como padrão metrológico no processo de calibração, e as medidas quando comparadas mostraram desvio relativo inferior a 1%. O custo total do equipamento, incluindo as soluções tampão utilizadas para calibração, foi de R\$ 272,00, muito inferior ao valor típico de um pHmetro comercial, algo em torno de R\$ 2500,00 (modelos mais simples). Desta forma recomenda-se utilização do mesmo para monitoramento do pH do esgoto coletado e tratado pela ETE existente no IFMG Campus Governador Valadares. Além disso, o mesmo pode ser utilizado em atividades didáticas laboratoriais que não demandem tanta precisão e confiabilidade, para que assim seja ampliado o conhecimento prático dos alunos sem o risco de dano a equipamentos comerciais de alto valor, principalmente nas aulas introdutórias.

Por se tratar de um instrumento com base em código open source, microcontrolador Arduino, e de fácil manuseio, o uso didático do sensor, garantido pela confiabilidade dos dados obtidos na calibração, possibilitaria um melhor aprendizado dos alunos, uma vez que poderiam ser suscitados não só conhecimentos no âmbito químico, mas também no campo da eletrônica e programação. A ideia é que com a flexibilidade do sistema o aluno tenha visão completa do funcionamento e calibração do instrumento, algo raro quando se opera um equipamento comercial.

Foram feitos testes com vinagre, suco de limão, leite, esgoto e as soluções tampão (pH 4,0; pH 7,0; pH 10,0), e algumas observações a respeito do funcionamento do protótipo foram listadas:

demora do tempo de resposta para a mensuração do pH. Segundo os testes, o tempo médio de medida nas soluções, se encontrava em torno de 3 minutos para que a medida fosse um resultado estável e confiável e quando se baseava em valores aproximados da neutralidade, o tempo para a obtenção dos resultados era maior.

para aplicação de medida contínua do pH em uma ETE é preciso analisar o comportamento da sonda. Segundo dados de literatura é bem provável que haja deterioração da sonda, elemento chave nesse tipo de medição, e conseqüentemente geração de erros de leitura com o passar do tempo.

a variável temperatura é importante no processo. Em todas as medidas foram anotadas as temperaturas durante o processo. A comparação com o pHmetro comercial foi feita em temperaturas iguais.

para realização de cada medida de pH é preciso limpar a sonda com água desmineralizada. Isso evita influencia de contaminantes da substância analisada anteriormente e garante vida útil maior para a sonda, que deve ser guardada em solução de cloreto de potássio (KCl) após o término dos trabalhos laboratoriais.

Em trabalhos futuros espera-se utilizar mais intensamente o equipamento desenvolvido para analisar perda de calibração, manutenção da confiabilidade, ajuste de temperatura e durabilidade da sonda. Tal uso deve ser em atividades de iniciação ao uso dos pHmetros comerciais, como forma de viabilizar o conhecimento mais profundo sobre os princípios de funcionamento deste tipo de equipamento, sem contudo expor ao risco de dano os equipamentos comerciais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BAIRD, C.; CANN, M.. **Química Ambiental**. 4. ed. Porto Alegre: bookman, 2011. p 596.
2. BANZI, M. **Primeiros Passos com o Arduino**. São Paulo: Novatec Editora, 2012. 151 p.
3. CETESB. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2009. 43 p.
4. FELTRE, R. **Química: Físico-Química**. 6. ed. São Paulo: Moderna. 2004.
5. HENRIQUES, C. C.; SIMÕES, D. **A Redação de Trabalhos Acadêmicos: Teoria e Prática**. 5 .ed. Rio de Janeiro: edUERJ, 2010. p. 31-56.
6. MONK, S.. **Programação com arduino: começando com sketches**. 1. ed. Porto alegre:bookman, 2013. p 18-45, 77-93, 113-118.
7. NUVOLARI, A.. O esgoto Sanitário. In: NUVOLARI, Ariovaldo, org. **Esgoto Sanitário: Coleta, Transporte, Tratamento e reuso agrícola**. 2ª edição, São Paulo, Blucher, 2012. p. 37-47.
8. SPERLING, Marcos Von. **A Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005. p. 30
9. UFRN. **Estação de Tratamento de Esgoto: ETE**. 2011. Disponível em: <<http://www.meioambiente.ufrn.br/ete/?p=33>>. Acesso em: 15 out. 2016.