



08 a 11 de Outubro de 2018
Instituto Federal Fluminense
Búzios - RJ

APLICAÇÃO DA JUNCTÃO DA PLATAFORMA LIVRE SCILAB E ARDUINO PARA A OBTENÇÃO DAS EQUAÇÕES DE CONTROLE DE PH EM MALHA ABERTA

Annanda Alkmim Alves¹ – annandalkmim@gmail.com

Luiz Fernando Gonçalves Pereira¹ – luizfernandogoncalvespereira2@gmail.com

Letícia Lopes Alves¹ – lopesleticia2403@gmail.com

Daiane Ribeiro Dias¹ – daianedias2301@gmail.com

Mariana Oliveira Marques¹ – marianamarques809@yahoo.com.br

Daniel Rodrigues Magalhães¹ – drmmagalhaes@gmail.com

¹Instituto Federal do Norte de Minas Gerais – Montes Claros, MG, Brazil

***Abstrato.** O pH é um dos principais parâmetros a serem controlados no tratamento de efluentes, pois os efluentes não neutralizados podem causar sérios danos à flora e fauna das massas de água em que são descartados. A metodologia consistiu em obter as equações características de neutralização em um sistema de malha aberta.*

***Palavras-chave:** Controle de feedback, neutralização de pH, sistema de malha aberta, Arduino*

1. INTRODUÇÃO

O Potencial Hidrogeniônico (pH) é um dos parâmetros mais importantes para o tratamento de efluentes e conforme Chapman & Kimstach (1996) pode ser definido como “a medida do balanço ácido de uma solução, definida como o logaritmo negativo da concentração de íons de hidrogênio”.

A escala de pH varia de 0 a 14, sendo que os valores abaixo de 7 e próximos de zero indicam aumento de acidez, enquanto os valores de 7 a 14 indicam aumento da alcalinidade (CHAPMAN; KIMSTACH, 1996).

O pH é um dos principais parâmetros que se deve controlar no tratamento de efluentes, pois quando estes não são neutralizados, ao serem lançados em um corpo d’água podem provocar severos danos a fauna e flora. Esse tipo de controle, quando realizado de forma manual, geralmente está sujeito a erros humanos além de apresentar difícil padronização. Assim, a utilização de controladores traz um ganho de produtividade com o cálculo automático da quantidade de produto químico que deve ser utilizado.

Outra vantagem está no fato de que variações mínimas de pH são suficientes para induzir o controlador a liberar uma quantidade adequada de produto necessário para trabalhar em uma faixa estabelecida (SANTOS; MINATEL; SANTORO, 2017).

O processo relacionado ao controle do pH da água é bastante complexo, visto que o pH depende de fatores como potencial redox, temperatura, pressão e concentração relativa de íons, sendo que, a qualidade da água pode sofrer com alterações temporais (LENZI, 2009). Além disso, de acordo com Mallmann e Pereira (2016), a característica fortemente não-linear do pH introduz dificuldades no projeto de sistemas de controle automático com parâmetros fixos.

O Scilab (Scientific Laboratory) é uma ferramenta de alta performance, utilizada em situações que requerem soluções baseadas em cálculos de certa complexidade, sendo manipulada interativamente ou através de programação (LEITE, 2015, p.1).

O Scilab possui uma ferramenta que permite a construção de modelos de sistemas dinâmicos, através de diagramas de blocos, o Xcos (SILVA; CUNHA, 2006). O Xcos possui uma interface amigável e está, cada vez mais, sendo utilizado na comunidade acadêmica como instrumento de ensino na formação de diversos profissionais, como os engenheiros (AMARAL, 2015).

O Xcos se aplica a sistemas lineares e não-lineares, contínuos e discretos no tempo. Utiliza-se uma interface gráfica para construção dos modelos a partir de diagramas de blocos, por meio de operações de clique-e-arraste do mouse (AMARAL, 2015). Através dessa interface, pode-se criar modelos da mesma forma que se faz manualmente e então, um sistema é criado pela ligação destes vários blocos (PATIL *et al.*, 2012).

2. OBJETIVOS

- Construir um módulo experimental para monitoramento do pH;
- Obter as equações de transferência para o sistema frente a vários tipos de perturbação, ácidas ou básicas, em malha aberta.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados fazem parte dos equipamentos necessários para a conexão do sistema Arduino/Xcos e a metodologia descreve a obtenção das equações características.

3.1 Materiais

- Sensor de pH;
- pHmetro de bancada digital;
- Soluções tampão de pH 4, 7 e 9 para a calibração do sensor;
- Placa Arduino Uno;
- Recipientes para ácido e base;
- Fiação e conexões;
- Tanques;
- Estrutura de isopor;
- Solução Tampão como efluente: Fosfato de Sódio com Ácido Cítrico, de pH=4,12.;
- Base;

Solução de NaOH para a correção do pH de com concentração de 1 mol/L
Solução de NaOH para distúrbios de 2,5 N.

- Ácido;
Solução de HCl para a correção do pH de com concentração de 1 mol/L
Solução de HCl para distúrbios de 6 N.
- Arduino: É uma plataforma de prototipagem open-source flexível e fácil de usar.
- Scilab 5.4.1;
- Agitador.

3.2 Métodos

Inicialmente foi feita a calibração do sensor de pH em que foram utilizadas três soluções tampões, com pH 4, 7 e 9, respectivamente. O sinal que o sensor enviou para o sistema, para cada solução tampão, foi utilizado para construir a curva de calibração do sinal PWM vs. pH, e assim, obteve-se a equação que relaciona as duas variáveis. Essa equação faz parte do sistema final de controle. O programa em Xcos utilizado para a calibração desse sensor está disposto na Figura 1.

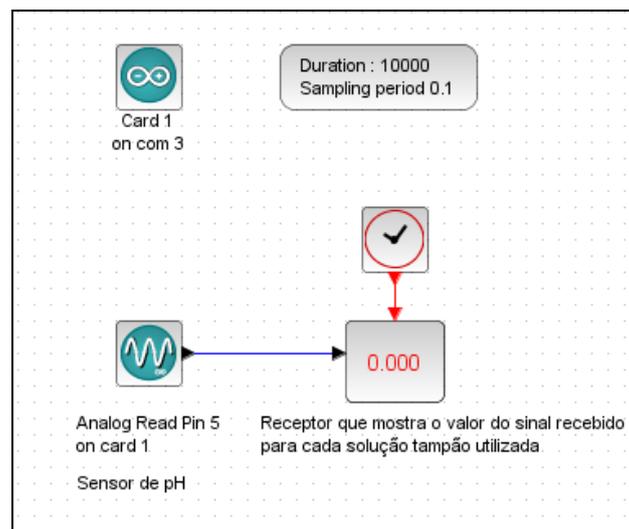


Figura 1- Programa para leitura do pH através do sensor.

Em seguida, o sistema de controle em malha aberta foi feito para se determinar os parâmetros K_p , τ e t_d por meio de perturbações realizadas no processo. Para isso, ele foi implementado no Xcos, resultando no programa que se encontra na Figura 2. Nesse controle já está incluído a calibração do sensor de pH.

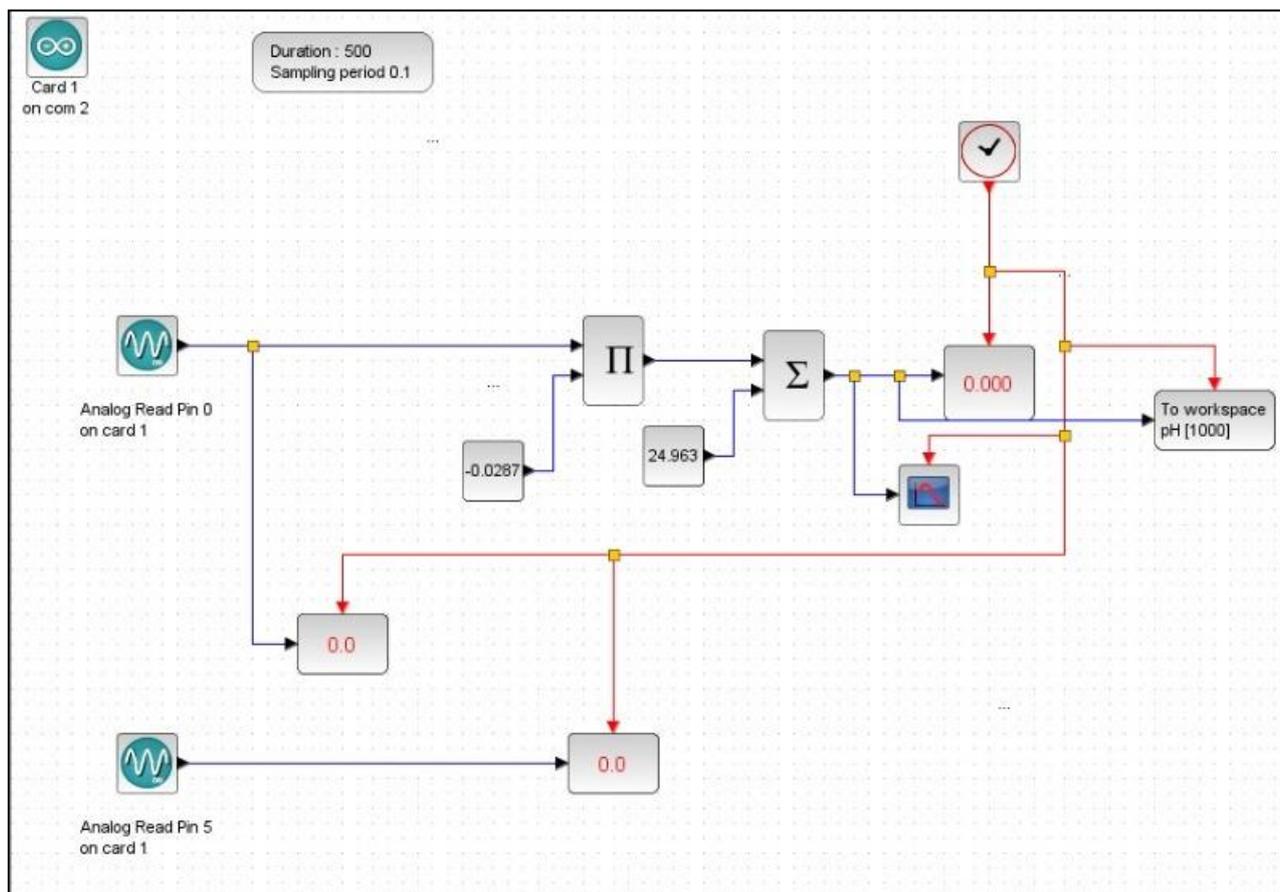


Figura 2- Sistema de Controle em Malha Aberta.

Para a obtenção das equações de transferência em um processo de controle de pH, foram realizadas em um sistema de malha aberta, perturbações com ácido clorídrico (1 mol/L) e hidróxido de sódio (1 mol/L) com o intuito de simular situações nas quais, efluentes ácidos ou básicos, podem criar distúrbios no pH quando chegam em um sistema de tratamento de efluente.

No Tanque foram adicionadas 14, 18 e 24 mL de hidróxido de sódio em 2 litros do efluente de Fosfato de Sódio com Ácido Cítrico (solução de 1 mol/L), que inicialmente teve seu pH aferido pelo pHmetro de bancada, e depois, cada volume de base foi adicionado ao efluente neutro, no qual, durante esse processo, toda a variação do pH diante dos distúrbios foi obtida através do sistema implementado no Xcos e Arduino.

Para minimizar o ruído dos gráficos, as variáveis tempo e pH foram colocadas em desvio e plotadas a partir do momento em que a perturbação se iniciou. Posteriormente, outra curva foi plotada por meio da Equação 1, e aproximada da curva original variando os parâmetros K_p , τ e t_d , até se obter o menor erro possível.

$$G_p = A \cdot K_p \left(1 - e^{-\frac{-(t-t_d)}{\tau}} \right) \cdot \mu_{td} \quad (1)$$

A partir desse método, os valores de K_p , τ e t_d foram obtidos e substituídos na Equação 2. Assim se obteve a equação de transferência para perturbações do pH com base. Para isso, utilizou-se a Transformada de Laplace, que é uma forma de transformar equações do domínio do tempo para o domínio da frequência.

Segundo Ogata (2007), a transformada de Laplace é um método operacional que pode ser usado de maneira proveitosa para solucionar equações diferenciais lineares. Por meio dela, é possível converter muitas funções complexas, em funções algébricas mais simples de uma variável complexa s . Quando uma solução adequada é alcançada, transforma-se a equação do domínio de Laplace inversamente para o domínio do tempo.

$$G_p = \frac{K_p}{\tau \cdot s + 1} \cdot e^{-t_d \cdot s} \quad (2)$$

De forma similar ao processo para obtenção da equação de transferência para perturbações oriundas de base, foram adicionadas no Tanque 5, 10 e 15 mL de ácido clorídrico em 2 litros do efluente Fosfato de Sódio com Ácido Cítrico, e durante esse processo, toda a variação do pH diante dos distúrbios foi obtida através do sistema implementado no Xcos e Arduino.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a obtenção das equações de transferência foram aplicadas as metodologias descritas em 3.2, quando o sistema foi submetido a perturbações degrau, e como resultado, as seguintes equações foram obtidas para distúrbios com base e ácido respectivamente:

$$G_{d_1} = \frac{0,11}{4,98 \cdot s + 1} \cdot e^{-1,5 \cdot s} \quad (3)$$

$$G_{d_2} = \frac{0,176}{1,67 \cdot s + 1} \cdot e^{-0,88 \cdot s} \quad (4)$$

A partir do gráfico na Figura 3 para as perturbações com base, e pelo gráfico na Figura 4 para perturbações com ácido, foi observado, para ambos os casos, que as curvas características apresentaram comportamento de sistemas de primeira ordem com tempo morto.

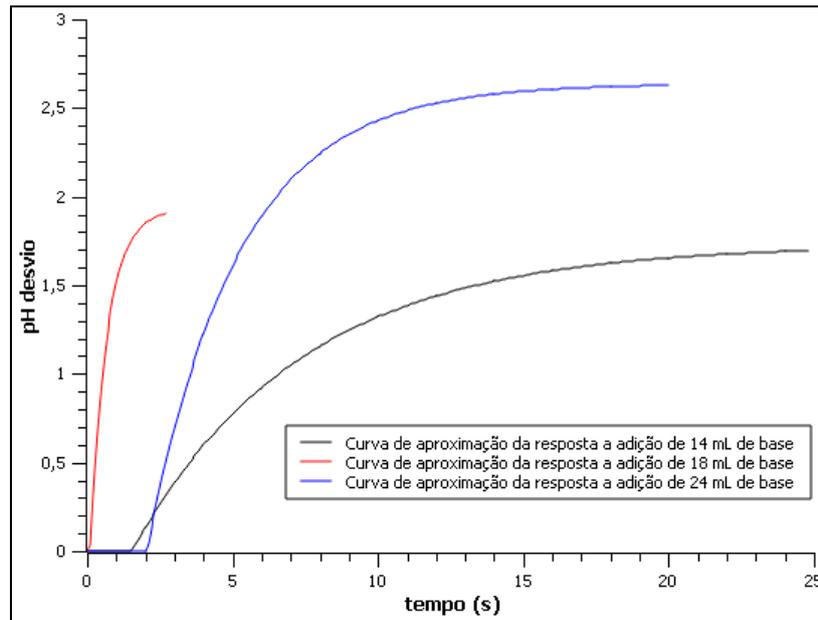


Figura 3- Gráfico de pH em desvio versus o tempo do controle em malha aberta submetido a distúrbios ácidos.

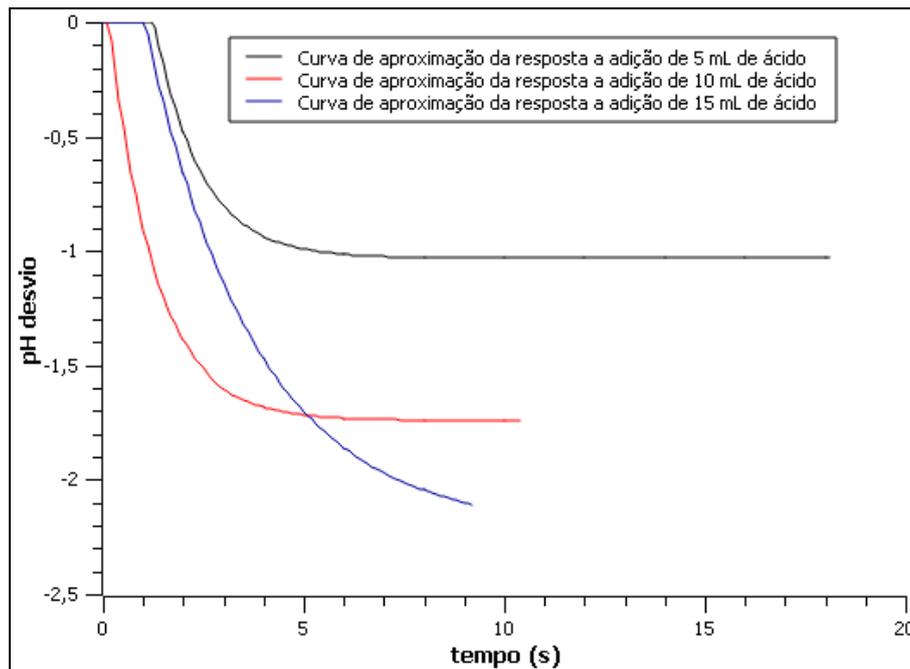


Figura 4-Gráfico de pH em desvio versus o tempo do controle em malha aberta submetido a distúrbios ácidos.

Assim, de acordo com Ogata (2010), os valores dos parâmetros K_p , τ e t_d podem ser obtidos pelos próprios gráficos. No entanto, para esse caso, como as respostas apresentaram muito ruído, as variáveis analisadas, pH e tempo, foram passadas para desvio e posteriormente, tiveram outra curva aproximada, sem ruído, proveniente da Equação 1 nos quais os valores de K_p , τ e t_d foram encontrados com o auxílio da função solver do Excel, com o intuito de diminuir ao máximo o erro da aproximação entre os gráficos.

A Tabela 1 expõe os valores dos parâmetros obtidos.

	K_p	τ	t_d
Perturbação degrau de base.	0,110	4,98	1,5
Perturbação degrau de ácido.	0,176	1,67	0,88

Tabela 1: Resultados dos valores médios dos parâmetros obtidos via aproximação dos dados experimentais.

Ao analisar os valores do ganho em regime estacionário (K_p) para as situações apresentadas, os valores obtidos foram bem diferentes, assim como os parâmetros τ e t_d . Isso se deve ao fato da solução tamponante utilizada como efluente se comportar de maneira diferente frente a ácidos ou bases, pois, a eficiência e a capacidade tamponante de uma solução tampão dependem das suas concentrações efetivas, isso é, uma concentração mais elevada de uma solução tampão preserva melhor o pH após a adição de ácido ou base (OLIVEIRA; SILVA; TÓFANI, 2010).

Nesse caso, como a concentração de base e ácido eram bem maiores que a da solução tampão, a faixa de pH que o tampão conseguia permanecer constante foi superada e assim foi possível observar os distúrbios.

A solução tampão foi escolhida, pois segundo Oliveira, Silva e Tófani (2010), às variações de pH ocorridas nas soluções tamponadas são insignificantes quando comparadas a de soluções não tamponadas e por isso, são utilizadas para manter constante o pH de um sistema.

A dificuldade em causar variações no pH de uma solução tamponante foi um dos motivos para a escolha dessa solução, visto que, após gerados os distúrbios, corrigir o pH de um tampão é mais difícil devido as suas propriedades características.

5. CONCLUSÃO

Por meio do sistema montado em malha aberta foi possível obter as curvas de resposta frente às perturbações degrau, tanto ácidas quanto básicas, e assim os parâmetros das equações características foram obtidos.

Com esses parâmetros, é possível a realização da sintonia desse sistema em busca dos parâmetros ideais. Além disso, foi necessário à construção do módulo de neutralização devido à impossibilidade da implementação de um sistema de controle em uma planta de neutralização de efluentes reais.

No entanto, essa construção se mostrou muito interessante devido à etapa de montagem, com a ligação dos equipamentos, materiais e componentes. Além disso, a utilização do ambiente de programação do Xcos, ferramenta do software Scilab, facilitou muito na construção das malhas de controle, visto que os blocos utilizados para representar cada parte do sistema possuem muita semelhança em como os Engenheiros Químicos estudam os processos.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Federal do Norte de Minas Gerais – Campus Montes Claros pelo apoio.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, T.R. *Modelagem e Simulação de Sistemas dinâmicos com o Silab/Xcos: um caderno didático*. 2015.
- CHAPMAN, D.; KIMSTACH, V. *Selection of water quality variables*. In: CHAPMAN, D. (Ed). *Water quality assessments-a guide to the use of biota, sediment and water in environmental monitoring*. 2. Ed. London: UNESCO/WHO/UNEP, 1996. P. 74-133.
- LEITE, M. *SciLab: Uma abordagem Prática e Didática*. 2. Ed. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2015.
- LENZI, Ervim. *Introdução à Química da Água* – Rio de Janeiro – LTC, 2014.
- MALLMANN, C. PEREIRA, R. *SIMULAÇÃO DINÂMICA EM MICROCONTROLADOR DO CONTROLE DE pH EM REATOR CSTR*. XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos. Gramado, RS – 2016.
- PATIL, J. Y.; DUBEY, B.; MOUDGALLYA, K. M.; PETER, R. *GNU Radio, Scilab, Xcos and COMEDI for Data Acquisition and Control: An Open Source Alternative to LabVIEW*, In: 8th IFAC Symposium on Advanced Control of Chemical Processes, Anais, Furama Riverfront, 2012.
- SANTOS, E.N.M. MINATEL, M.G. SANTORO, B.F. *Controle de pH em Tratamento de Efluentes Utilizando Dióxido de Carbono*. XII. Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. São Paulo – SP. 2017.
- SILVA, E. M. e Cunha, J. P. V. S. (2006). *SCILAB, SCICOS e RLTOOL: Softwares Livres no Ensino de Engenharia Elétrica*, Anais do Congresso Brasileiro de Automática, Salvador, Brasil, pp. 1620-1625.

APPLICATION OF THE SCILAB AND ARDUINO FREE PLATFORM JUNCTION FOR THE OBTAINING OF OPEN-FREE MET CONTROL PH EQUALS

Abstract. *The pH is one of the main parameters to be controlled in wastewater treatment, because non-neutralized effluents may cause severe damage to flora and fauna of bodies of water in which those are disposed. The methodology consisted in obtaining the characteristic equations of neutralization in an open-loop system.*

Keywords: *Feedback control, pH neutralization, open-loop system, Arduino.*