

IV Simpósio Paranaense de Modelagem, Simulação e Controle de Processos ISSN : 1984-7521	<b>Artigo: 26</b>
	<b>Páginas: 189 - 196</b>

## **Robótica Aplicada para Engenharia Química – Módulo de Aquisição de Dados Automático Para Trocador de Calor Casco-Tubo**

**Gabriel de Moura Costa<sup>1\*</sup>** – *gabriel\_m\_costa18@hotmail.com*

**Murilo Silva Colombo<sup>1</sup>** – *murilo.sc.sc@gmail.com*

**Thiago Tonon<sup>2</sup>** – *thiago.tonon@ifpr.edu.br*

**Cid Marcos Gonçalves Andrade<sup>1</sup>** – *cmgandrade@uem.br*

**Oswaldo Curty da Motta Lima<sup>1</sup>** – *ocmlima@uem.br*

**1 – Universidade Estadual de Maringá**

**2 – Instituto Federal do Paraná – IFPR Paranavaí**

### **1. Resumo:**

Este trabalho apresenta um estudo sobre a aplicação da robótica na engenharia química, através do desenvolvimento de um módulo de aquisição de dados automático para um trocador de calor casco-tudo localizado no laboratório de engenharia química da Universidade Estadual de Maringá – UEM. O trocador de calor é um dos principais equipamentos utilizados em indústrias químicas, cujo principal objetivo é reaproveitar a energia térmica de um elemento da planta industrial em outro. Sua utilização reduz custos de operação e minimiza a necessidade de fornos e caldeiras, assim é de suma importância que os estudantes de engenharia química possuam um estudo estruturado sobre este equipamento. Observando essa necessidade, e a dificuldade de se manipular um trocador de calor com instrumentação analógica, foi proposto neste trabalho a utilização de tecnologias de baixo custo, como a plataforma Arduino para automatizar o processo de aquisição de dados e auxiliar o estudo sobre este equipamento. Para a validação do módulo foram feitos testes de execução em condições reais de operação, garantindo robustez para a instalação do mesmo.

**Palavras-chave:** *Instrumentação, Trocadores de calor, Arduino, Sensor de Temperatura DS18B20, Sensor de vazão YF-B1, Aquisição e Armazenamento de dados, Robótica na engenharia Química.*

### **2. Introdução:**

Tradicionalmente os cursos de engenharia química tem tido ênfase nos estudos de fenômenos a nível molecular (ex: fenômenos de transporte, química, ...), o que abrange grande parte das áreas de atuação de engenheiros químicos. Contudo quando comparadas a outras engenharias como elétrica, civil, mecânica ou software, a engenharia química demonstra maior dificuldade em desenvolver atividades práticas, sejam elas relacionadas a softwares (FluidSIM ou SolidWorks) ou equipamentos de níveis industriais. Como consequência dessa falta de atividades práticas, muitos estudantes não compreendem de fato o funcionamento de equipamentos e quando um instrumento falha, não sabem como consertá-los[5].

**14 e 15 de março de 2019**  
**Curitiba - Paraná**

Entendendo essa necessidade da engenharia química, o uso tecnologia surge como solução para facilitar as atividades em laboratório. Como exemplos, através da utilização de softwares CAD e uma impressora 3D, é possível que os alunos desenvolvam protótipos de baixo custo de equipamentos, podendo obter uma total compreensão de todos os fatores que influenciam no funcionamento do mesmo e também a utilização de microcontroladores (Arduino e Raspberry Pi) são soluções para que os estudantes consigam monitorar e automatizar processos e compreender numa escala macroscópica os princípios básicos de automação e controle, além de poderem desenvolver diversos tipos de equipamentos com preços mais acessíveis.

Devido a grade curricular da engenharia química ser robusta e dificultar a introdução de um estudo completo sobre programação e circuitos, o objetivo deste projeto é apresentar um sistema monitoramento automático de fácil implantação e manipulação de um trocador de calor do tipo casco-tubo instalado no laboratório de engenharia química da Universidade Estadual de Maringá – UEM, para uso acadêmico.

### **Trocadores de calor casco-tubo**

Trocas de calor por emissão, pela mistura de fluidos quentes com fluidos frios e a transferência de calor por condução através de um trocador de calor, são algumas das formas mais utilizadas para aproveitar a energia calorífica de um elemento em processos industriais.

Trocadores de calor são construídos de forma a obter-se o melhor coeficiente de transferência entre os fluidos, e o trocador de calor casco-tubo possui um dos melhores coeficientes de troca de calor em relação a outros equipamentos quando comparados por robustez. Além disso são fáceis de construir, são de fácil manutenção e mais acessível economicamente [9].

Sua construção consiste de uma casca envolvendo uma série de tubos, e seu funcionamento consiste em um fluido passar por dentro dos tubos, enquanto o outro flui pela casca contornando a superfície dos tubos, assim transferindo calor por condução

Trocadores de calor do tipo casco-tubo são os mais utilizados em processos químicos de larga escala e refinarias, por serem capazes de atuarem em aplicações com alta pressão. Sendo o principal objetivo de um sistema com trocadores de calor transferir calor de um fluido quente, para um fluido frio, o controle da temperatura do fluido de saída torna-se de suma importância [8].

### **3. Experimental:**

Sabendo que em experimentos químicos fatores como pressão, temperatura e vazão, possuem grande influência no produto final é necessário que essas grandezas sejam constantemente monitoradas para que possamos controlar o equipamento, de forma automática ou manual, com o intuito de

atingirmos o resultado final desejado. Assim, para podermos controlar e monitorar um trocador de calor com precisão, precisamos indispensavelmente de ao menos sensores de vazão e temperatura posicionados estrategicamente pela extensão do trocador de calor e válvulas atuadas para o controle da vazão.

Para o desenvolvimento do sistema de monitoramento automático foi-se utilizado a plataforma Arduino MEGA. O Arduino é uma plataforma open-source que permite fácil prototipagem e desenvolvimento de hardwares e softwares. Além de ser um equipamento de baixo custo, existem diversos sensores e atuadores capazes de se comunicar com ele através de suas portas de entradas e saídas analógicas e digitais por meio de diversas formas de comunicação destacando-se entre elas a comunicação 1-wire, I<sup>2</sup>C e serial [1,2].

Com o intuito de medir a temperatura foram utilizados sensores digitais da Dallas Semiconductors, DS18B20. Este equipamento atua como um termômetro, podendo monitorar temperaturas em um range de -55°C à 125°C, e pode ser encontrado encapsulado o que lhe confere resistência a água, podendo assim ser imerso nos fluídos. O mesmo possui embutido em seu encapsulamento um circuito integrado de conversão do sinal de temperatura medido em sinal digital que pode ser transmitido para o arduino através da comunicação 1-Wire. Este protocolo de comunicação se mostra a principal característica deste sensor, pois permite que vários deste sensor sejam conectados a um único pino de comunicação digital do Arduino MEGA, possuindo cada um, um endereço único, diferentes entre si [4].

Já com o objetivo de monitorar a vazão, foram utilizados sensores de efeito hall, YF-B1, capaz de medir com precisão a vazão que corre por ele através da contagem de pulsos eletromagnéticos, que acontecem toda vez que o rotor interno do sensor executa uma volta completa. Sua disponibilidade em vários diâmetros, sua resistência a temperaturas de até 120°C e a capacidade de medição de vazão de 1 à 25L/min foram fatores determinantes para sua escolha. Este sensor não possui um circuito integrado de comunicação ou conversão de sinal, dessa forma cada sensor utilizado foi ligado a uma porta de comunicação digital do arduino MEGA, já que o mesmo envia os pulsos eletromagnéticos como tensão para o microcontrolador [10].

Para armazenar os dados adquiridos pelo sistema de monitoramento, foi acrescentado um módulo micro SD, o qual permite o Arduino executar a leitura e gravação de dados em um cartão micro SD através do protocolo de comunicação I<sup>2</sup>C, e onde o mesmo pode ser removido do módulo e inserido a um computador para uma posterior retirada dos dados.

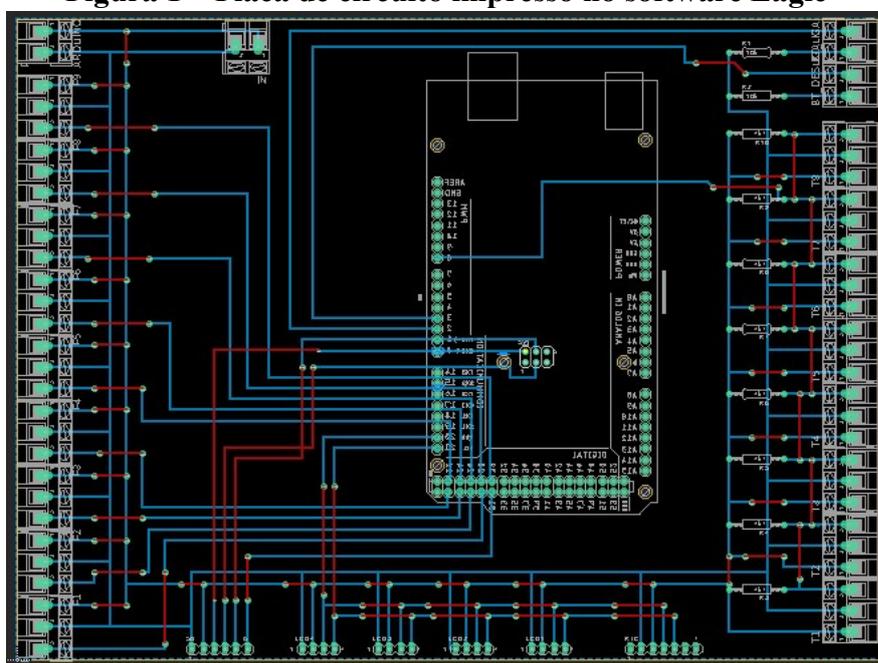
Junto ao Arduino para saber o horário em que o equipamento foi utilizado do equipamento e monitorar o tempo de funcionamento do mesmo, foi utilizado um relógio digital RTC DS1307 conectado ao Arduino também através da comunicação via I<sup>2</sup>C.

Finalmente foram também conectados 4 displays de lcd 4x20 utilizando o protocolo de comunicação I<sup>2</sup>C, que permite o arduino a escrever os dados digitalmente em uma tela, eliminando a necessidade de escalas analógicas e medições imprecisas.

Por último, junto ao Arduino foram conectados um botão início e pausa do sistema de monitoramento dos sensores para mudanças de setup do trocador de calor.

Para o desenvolvimento da placa de circuito impresso (PCB) foi utilizado o software EAGLE da AutoDesk.

**Figura 1 – Placa de circuito impresso no software Eagle**



*Fonte: Autoria Própria*

#### **4. Resultado e discussões:**

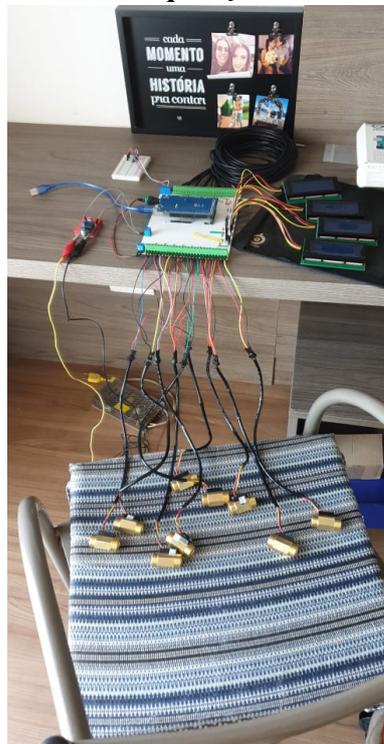
A etapa inicial para o desenvolvimento da instrumentação do trocador de calor do laboratório de engenharia química da UEM, foi identificar a quantidade de sensores que seriam necessários para cada uma das grandezas medidas, 9 para temperatura e 10 para vazão.

Posteriormente foi desenvolvido um protótipo funcional com o intuito de buscar a validação do software desenvolvido e do funcionamento correto dos equipamentos que serão futuramente instalados.

Devido ao projeto ainda não ter entrado na fase de instalação, os testes de validação foram feitos a padrões ambientes, variando a temperatura dos sensores por fluxo de ar quente, proveniente de um secador de cabelo, e o fluxo dos fluídos simulado pela vazão de uma mangueira conectada aos sensores, um por vez.

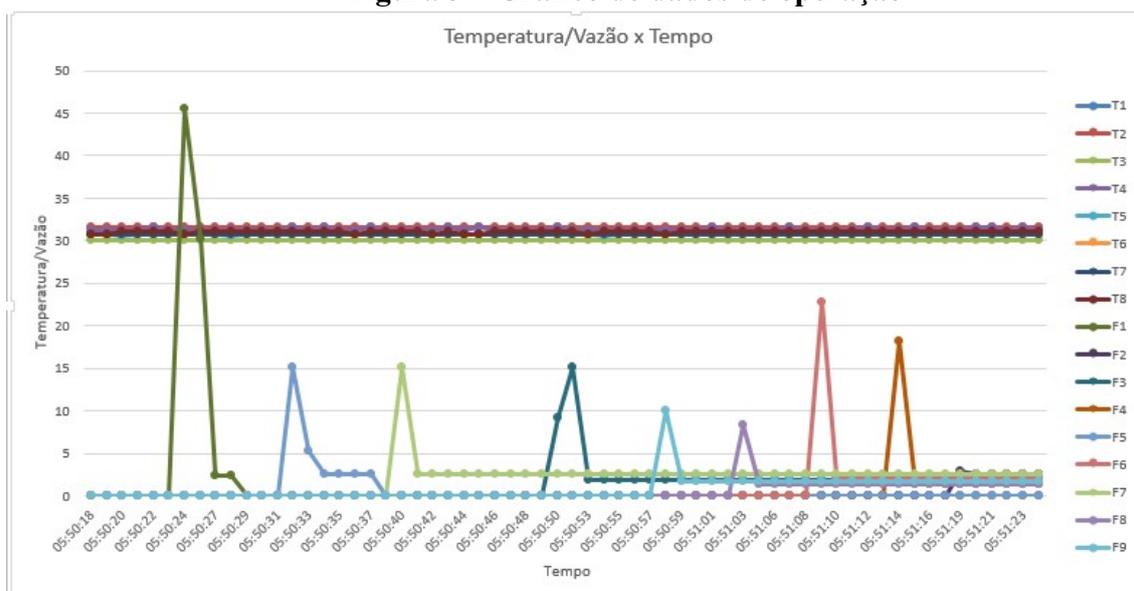
Todos os sensores ficaram transmitindo informações continuamente ao arduino durante o tempo de operação, e os dados coletados foram enviados e armazenados no cartão microSD inserido no módulo, gerando um banco de dados, que posteriormente ao término do experimento foi inserido no computador onde pode-se recuperar as informações, onde estavam salvas data, hora e os dados dos sensores de temperatura e vazão.

**Figura 2 – Módulo de aquisição automático de dados**



*Fonte: Autoria Própria*

**Figura 3 – Gráfico de dados de operação**



*Fonte: Autoria Própria*

No início dos testes todos os sensores estavam desligados esperando o botão liga ser acionado para iniciar a aquisição de dados, após pressionado, todos os sensores começaram a transmitir informações ao arduino sendo o período de amostragem estabelecido entre as medições de 1 segundo.

Os dados de temperatura coletados foram satisfatoriamente próximos a 31°C como esperado, devido a baixa transferência de calor imposta a eles por um curto período de tempo, e próximos entre si desde o início da medição não tendo nenhuma variação brusca na temperatura.

Após um curto período de medição apenas dos sensores de temperatura, individualmente os sensores de vazão foram sendo acionados por um fluxo curto de água de vazão aleatória, permitindo assim a gravação de dados. Não houve grande variação na medição, e o pulso de água pode ser percebido pelo rápido pico aparente nos dados dos sensores de vazão. Apesar de o fluxo de acionamento em cada sensor de vazão ter sido curto, todas os valores foram adequadamente mensurados.

O botão de desliga do sistema de aquisição de dados foi testado na simulação, contudo não foi apresentado no gráfico acima.

## 5. Conclusão:

Para alcançar o objetivo de apresentar um sistema monitoramento automático de fácil implantação e manipulação de um trocador de calor do tipo casco-tubo, foi então desenvolvido um módulo funcional com os sensores de temperatura e vazão, que serão posteriormente instalados no trocador de calor localizado no laboratório de engenharia química da Universidade Estadual de Maringá – UEM.

Assim, esse trabalho apresentou a construção e o desenvolvimento do projeto, desde a escolha dos sensores a serem utilizados, até a construção da placa de circuito impresso e os testes de validação do projeto.

Durante a operação do módulo, foi possível perceber que o protótipo é sensível para detectar pequenas variações de temperatura e vazão nas quais foi submetido, e que os dados coletados são adequados e convincentes, levando a acreditar que após sua instalação no trocador de calor de calor do laboratório de engenharia química da Universidade Estadual de Maringá – UEM, os dados futuramente obtidos serão de igual precisão e qualidade dos simulados.

Devido ao sucesso dos testes na qual o projeto foi submetido, pode-se perceber também que o módulo pode ser estendido para o estudo prático de engenharias como elétrica e software, para melhorar a compreensão dos alunos em relação a programação, circuitos, controle e automação.

## 6. Referências Bibliográficas:

1. Arduino Home Page. <http://arduino.cc/> (acessado Mar 2019).
2. **ChemDuino: Adapting Arduino for Low-Cost Chemical Measurements in Lecture and Laboratory** ŠtěpánkaKubínová and Jan Šlégr. *Journal of Chemical Education* **2015** 92 (10), 1751-1753 DOI: 10.1021/ed5008102
3. Display lcd 4x20 datasheet [internet]. [citado em 02 Mar 2019]. Disponível em: [http://www.systronix.com/access/Systronix\\_20x4\\_lcd\\_brief\\_data.pdf](http://www.systronix.com/access/Systronix_20x4_lcd_brief_data.pdf)
4. DS18B20 datasheet [internet]. [citado em 02 Mar 2019]. Disponível em: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
5. Elmer, J. J., & Kraut, D. A. (2018, June), *3-D Printing and Arduino in the Chemical Engineering Classroom: Protein Structures, Heat Exchangers, and Flow Cells* Paper presented at 2018 ASEE Annual Conference & Exposition , Salt Lake City, Utah. <https://peer.asee.org/29653>
6. Módulo microSD datasheet [internet]. [citado em 02 Mar 2019]. Disponível em: [http://www.supertalent.com/datasheets/5\\_112.pdf](http://www.supertalent.com/datasheets/5_112.pdf)
7. RTC DS1307 datasheet [internet]. [citado em 02 Mar 2019]. Disponível em: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS1307.pdf>
8. S. N. Pawar , K. Majumder , B. M. Patre and R. H. Chile, “Comparison of PID Controller Tuning Methods for Shell and Tube Type Heat-Exchanger System,” *2015 Indian Control Conference, Indian Institute of Technology Madras January 5-7, 2015. Chennai, India*, pp. 237-242, jan 2015.

9. T. Bhaskarwar, S. Giri and R. Jamakar, "Automation of shell and tube type heat exchanger with PLC and LabVIEW", *International Conference on Industrial Instrumentation and Control (ICIC)*. 2015.
10. YF-B1 datasheet [internet]. [citado em 02 Mar 2019]. Disponível em:[https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Seeed%20Technology/114991171\\_Web.pdf](https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Seeed%20Technology/114991171_Web.pdf)