

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/369764248>

# USE OF THE ARDUINO PLATFORM AND THE PLX-DAQ SOFTWARE FOR TEACHING LIQUID COOLING IN ELECTRONIC SYSTEMS

Article · April 2023

DOI: 10.36524/profept.v6i3.1003

CITATIONS

0

READS

70

3 authors, including:



**Fabiano Stingelin Cardoso**

Paraná Federal Institute of Education, Science and Technology

19 PUBLICATIONS 7 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Carlos Raimundo Erig Lima**

Federal University of Technology of Paraná

56 PUBLICATIONS 333 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

## USO DA PLATAFORMA ARDUINO E DO SOFTWARE PLX-DAQ PARA O ENSINO DO RESFRIAMENTO LÍQUIDO EM SISTEMAS ELETRÔNICOS

### USE OF THE ARDUINO PLATFORM AND THE PLX-DAQ SOFTWARE FOR TEACHING LIQUID COOLING IN ELECTRONIC SYSTEMS

<sup>1</sup> Fabiano Stingelin Cardoso\*  
<sup>2</sup> Douglas Paulo Bertrand Renaux  
<sup>3</sup> Carlos Raimundo Erig Lima

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Paraná – Campus Ivaiporã.  
E-mail: [fabiano.cardoso@ifpr.edu.br](mailto:fabiano.cardoso@ifpr.edu.br). ORCID: [orcid.org/0000-0001-5866-5230](https://orcid.org/0000-0001-5866-5230).

<sup>2</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Curitiba.  
E-mail: [douglasrenaux@utfpr.edu.br](mailto:douglasrenaux@utfpr.edu.br). ORCID: [orcid.org/0000-0002-0498-6036](https://orcid.org/0000-0002-0498-6036).

<sup>3</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Curitiba.  
E-mail: [erig@utfpr.edu.br](mailto:erig@utfpr.edu.br). ORCID: [orcid.org/0000-0002-4026-4444](https://orcid.org/0000-0002-4026-4444).

\*Autor de correspondência

Artigo submetido em 13/01/2021, aceito em 28/12/2022 e publicado em 31/03/2023.

**Resumo:** O artigo descreve a construção de um aparato experimental para o ensino do resfriamento líquido em sistemas eletrônicos. O aparato utiliza o microcontrolador Arduino, também, sensores de fluxo e de temperatura e o software PLX-DAQ para a central de aquisição de dados. O instrumento de uso interdisciplinar foi desenvolvido como forma de integrar saberes para alunos do ensino médio integrado do IFPR. O método da DTML foi aplicado para o cálculo da transferência de calor. Observou-se a melhora do desempenho do computador e a redução do consumo elétrico da fonte de alimentação ao se usar o *watercooler* no lugar do *cooler* tradicional.

**Palavras-chave:** resfriamento líquido; sistemas eletrônicos; ensino médio integrado; DTML; IFPR.

**Abstract:** The article describes the construction of an experimental apparatus for teaching liquid cooling in electronic systems. The apparatus uses the Arduino microcontroller, also, flow and temperature sensors and the PLX-DAQ software for the data acquisition center. The instrument for interdisciplinary use was developed as a way to integrate knowledge for students at the integrated high school of IFPR. The DTML method was applied to calculate heat transfer. There was an improvement in the performance of the computer and a reduction in the electrical consumption of the power supply when using the watercooler instead of the traditional cooler.

**Keywords:** liquid cooling; electronic systems; integrated high school; LMTD; IFPR.

## 1 INTRODUÇÃO

A experimentação em laboratório permite aos alunos consolidar e aplicar conhecimentos teóricos obtidos em seus cursos (CHEN et al., 2013; TOBAJAS et al., 2018). Os laboratórios experimentais estão presentes tanto nos cursos de ensino médio como em todos os anos acadêmicos dos programas de graduação e exigem novas estratégias para melhorar as habilidades dos alunos. A aquisição de dados em laboratórios fornece aos alunos informações para estudar e compreender os fenômenos físico-químico, além de requerer o desenvolvimento de ferramentas eficientes para o estudo de sistemas simples (MOLINA et al., 2018; MANAFOV, 2015).

A microeletrônica de código aberto tem duas características principais que tornam esses dispositivos muito úteis em diferentes laboratórios: (a) os custos de hardware são menores do que outras plataformas comerciais e (b) o software de código aberto é gratuito e fartamente documentado (GRINIAS et al., 2016; URBAN, 2014). O Arduino é um exemplo desse tipo de plataforma eletrônica aberta para a criação de protótipos baseados em software livre e hardware de baixo custo. Nos últimos anos, o uso de instrumentação baseada em Arduino aumentou em laboratórios experimentais, por exemplo: termocicladores de reação em cadeia da polimerase (PCR) (MABBOTT, 2014), buretas automatizadas (FAMULARO et al., 2016), fotômetros (McCLAIN, 2014), termômetros e medidores de pH (KUBÍNOVÁ e ŠLÉGR, 2015). Todos esses estudos indicam o potencial do software e hardware Arduino.

Atualmente, a reforma dos currículos pedagógicos é promissora e desafiadora, pois os métodos de ensino anteriores são examinados à luz de objetivos educacionais mais atuais (TENAW, 2015). A tecnologia da informação e comunicação (TIC) e a metodologia Do It Yourself - DIY (faça você mesmo) abrem um novo mundo educacional de criatividade para alunos e professores, essas estratégias de ensino pedagógico desempenham um papel importante no planejamento das aulas e na sua gestão (GRIMALDI; RAPUANO, 2009).

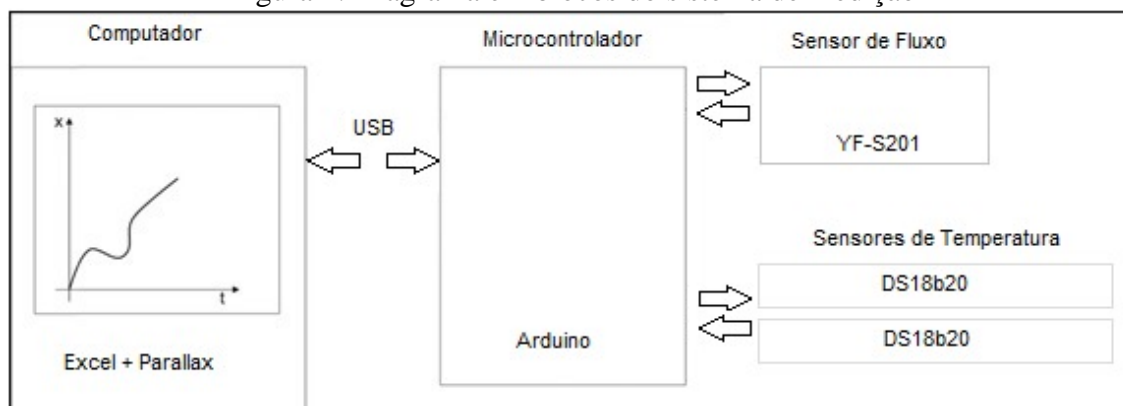
No presente artigo, descreve-se a construção de um aparato experimental capaz de medir a transferência de calor para um sistema de resfriamento de processadores utilizando líquido. A metodologia DIY é aplicada na elaboração, nos testes e na análise do experimento conjuntamente com os discentes. Fornece-se um roteiro de procedimentos para os alunos seguirem na realização dos testes.

## 2 PERCURSO METODOLÓGICO

O aparato experimental composto basicamente, por um microcontrolador (ARDUINO, 2020), que recebe as leituras do sensor de fluxo e dos sensores de temperatura e as converte em medidas de mililitros e graus Celsius, respectivamente. Cada medida de fluxo e de temperaturas é transferida a um computador que gradativamente constrói um gráfico do fluxo do fluido versus sua temperatura, permitindo assim observar o registro, quase que instantâneo. Um exemplo é a execução de um programa que exija alto processamento e a visualização do gráfico construído na tela do computador.

Na Figura 1 mostramos o diagrama em blocos do aparato experimental. Os sensores utilizados foram o sensor de fluxo YF-S201 da Handsontec e o sensor de temperatura da Analog Devices. São sensores de baixo custo e amplamente utilizados em aplicações Arduino.

Figura 1: Diagrama em blocos do sistema de medição

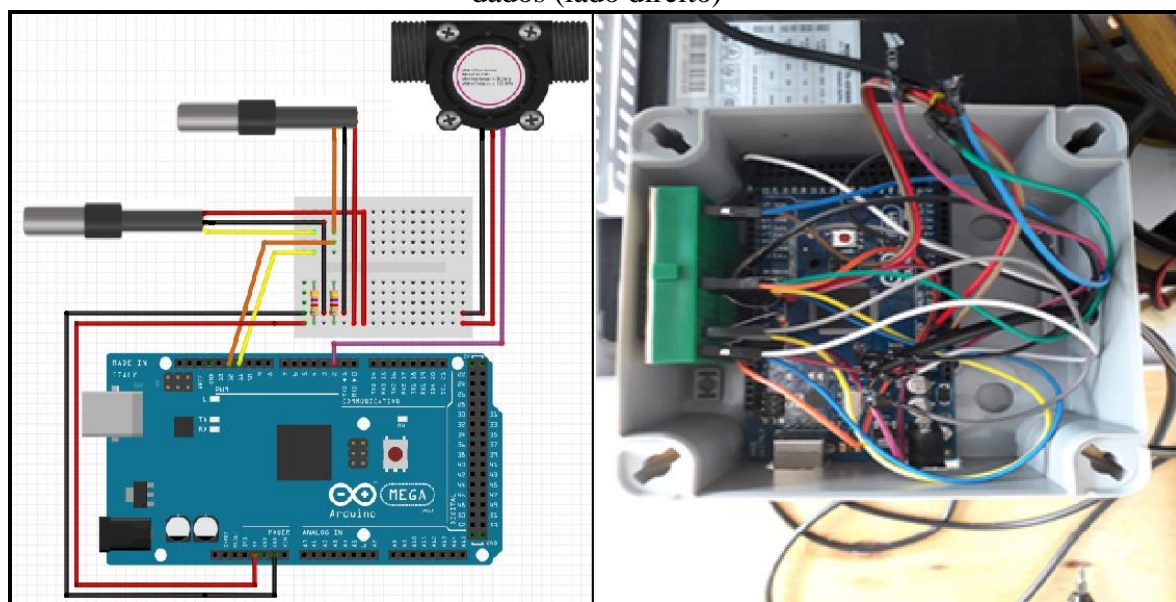


Fonte: Elaborado pelos Autores.

A plataforma Arduino é carregada com um código que realiza continuamente o monitoramento do fluxo e da temperatura e as envia através de uma saída USB a um computador conectado à placa, que pode capturar esses valores e mostrar os dados numéricos na interface de software Arduino (“Serial Monitor”).

Ao invés de usar a IDE do Serial Monitor, utilizamos neste trabalho o software PLX-DAQ que permite enviar os dados para uma planilha eletrônica. Com os dados na planilha é possível utilizar as facilidades deste software e construir, por exemplo, gráficos com os pares de coordenadas de tempo e temperatura recebidos pelos sensores, através do Arduino e do software da Parallax2. A Figura 2 mostra o diagrama de conexões elétricas entre o sensor de fluxo e sensores de temperatura com a placa Arduino (lado esquerdo) e a central de aquisição de dados (lado direito).

Figura 2: Diagrama das conexões elétricas (lado esquerdo) e Central de aquisição de dados (lado direito)

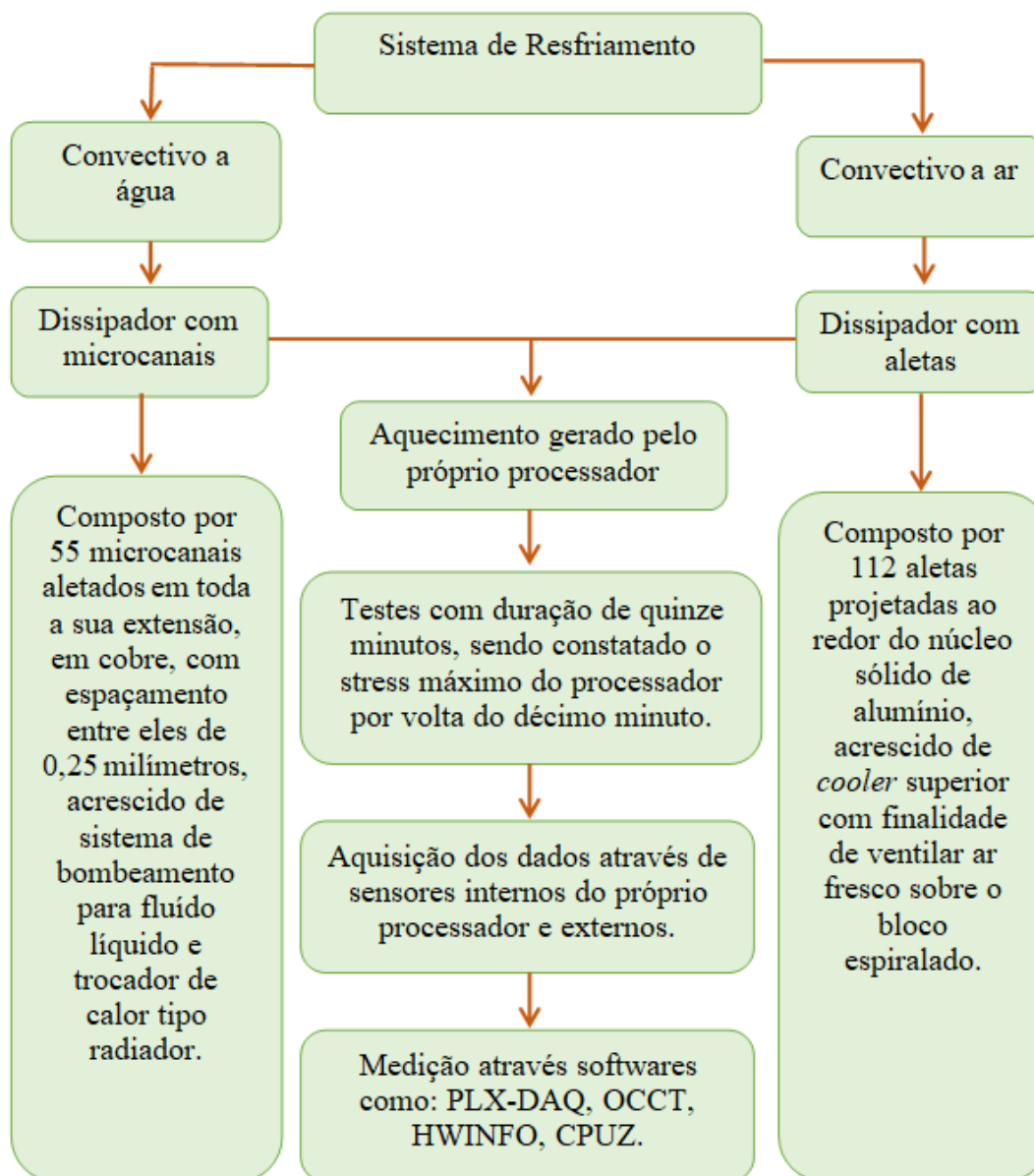


Fonte: Elaborado pelos Autores.

Os dados foram baseados em medições encontradas no *Pacific W2 CPU Water Block*, trocador de calor que compõe o Kit do *watercooler*. Groll (2002) apresentara um modelo detalhado incorporando a primeira lei da termodinâmica, bem como o cálculo de

parâmetros geométricos, fluxo de massa e vazamentos. Dessa maneira, um dos parâmetros geométricos é o micro canal que possui duto medindo de 0,25 mm de largura. Ademais, por meio da investigação da *CPU Water Block*, permitiu-se encontrar demais medidas para o dimensionamento das premissas. A Figura 3 apresenta de forma sucinta as etapas do sistema de resfriamento com o *cooler* tradicional e *watercooler* através de um fluxograma.

Figura 3: Fluxograma



Fonte: Elaborado pelos Autores.

A Figura 4 apresenta o bloco de cobre na parte inferior do *CPU Water block* que é composto por 742 aletas transpassadas unidirecionalmente com canais transversais para que assim o fluido refrigerante possa encontrar o melhor trajeto de escoamento.

Conhecida a existência de aditivos como o propilenoglicol e água desmineralizada na mistura do fluido refrigerante, procurou-se conhecer as características físicas do fluido *Thermaltake Uv Coolant 1000* usado nesse experimento. Na dissertação de Oliveira (2016) são apresentados os dados necessários em uma mistura fluídica para ser conhecer a



transferência de calor, com base nisso, os valores foram obtidos no manual de especificações, conforme informado pelo gerente do produto (CHEN, 2019).

Figura 4: Medição interna do *waterblock*



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Além das características geométricas e fluidas encontradas, também foi necessário conhecer as características de dissipação térmica do processador. No experimento, o processador usado foi o *Intel Core i5-3330*, cujo fabricante, Intel, informa que em operação máxima sua dissipação térmica é de 77 W.

A variação média de temperatura entre a entrada e a saída do *CPU Water Block* no computador é de 0,44°C, embora baixo, esse valor diz respeito ao funcionamento do mecanismo *watercooler*, com o fluido sendo injetado sobre alta pressão. Essa baixíssima variação é muito importante devido ao fato que a temperatura interna do processador não pode ultrapassar a 85°C, conforme estudos levantados por Upadhya (2006), a fim de não comprometer os transistores do processador. Isso significa que a diferença informada pelo projeto do dissipador e o valor máximo aceito para operação dentro de parâmetros seguros, nos coloca uma diferença mínima de segurança para a operação.

Outro equipamento fundamental presente no sistema é a bomba de sucção, afinal ela possibilita o deslocamento forçado do fluido passar pelos micros canais.

Para a aplicação do método da Diferença de temperatura média logarítmica - DTML primeiro foi encontrado o diâmetro hidráulico do duto empregado no experimento. Segundo, calculou-se o número de Reynolds para identificar e caracterizar o tipo de escoamento que o dissipador de calor possui, que a depender do valor gerado pode ser em regime laminar ou turbulento. Em terceiro lugar, encontrou-se a propriedade de transporte do fluido e para isso usou-se o número de Prandtl, que fisicamente representa a relação entre a difusão da quantidade de movimento pela difusão de calor e que fornece uma medida de eficácia relativa ao movimento e também de energia de transporte nas camadas hidrodinâmicas e térmica.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Desde o ano de 2002, em que foi lançado o primeiro *watercooler* comercial, houve muitos avanços que propiciaram a melhoria da refrigeração de processadores. Pois bem, trazer essa tecnologia de resfriamento para o laboratório educacional trouxe grande entusiasmo por parte dos discentes e comparar com dados levantados por autores anteriores possibilitaram vislumbrar um cronograma evolutivo para esse tipo hardware.

Para a comparação dos resultados encontrados foi selecionado o artigo com o título “A Relação do Dissipador de Calor e o Melhoramento da Eficiência da CPU por Nanocoolants” (SIDDIQUE; PRABHU, 2013). Esse artigo trata sobre o arrefecimento convencional por ventilação e por água deionizada e água com frações de nanopartículas de dióxido de titânio –  $\text{TiO}_2$  e de Cobre – Cu.

Observou-se no trabalho acima mencionado, que a temperatura da CPU com o dissipador de calor sob carga total da CPU atinge  $90^\circ\text{C}$ . A temperatura média da CPU com Cu 0,01% em volume foi de  $56,1^\circ\text{C}$  e com Cu 0,1% em volume foi  $54,9^\circ\text{C}$ . A temperatura média da CPU com água deionizada foi de  $58,7^\circ\text{C}$  e a temperatura média com  $\text{TiO}_2$  em volume 0,01% foi de  $57,6^\circ\text{C}$  e com  $\text{TiO}_2$  em volume 0,1% foi de  $57,2^\circ\text{C}$ , todos na vazão de 500 ml / min.

A Tabela 1 traz esses dados de temperatura supracitados em comparação aos dados obtidos no presente experimento.

Tabela 1 - Dados Comparativos.					
Dados	Cooler e Dissipador	Watercooler			
	Ar	Coolant Thermaltake	água deionizada	$\text{TiO}_2$	Cu
Próprio autor	$75^\circ\text{C}$	$53^\circ\text{C}$	-	-	-
SIDDIQUE e PRABHU (2013)	$90^\circ\text{C}$	-	$58,7^\circ\text{C}$	$57,6^\circ\text{C}$	$54,9^\circ\text{C}$

Fonte: Elaborado pelos Autores.

É importante frisar que o experimento utilizou o processador quad-core Intel® Core™ i5-3330 a 3.0GHz enquanto o trabalho comparado usou o processador modelo quad-core Intel® Core™ i5-2310 a 2.9GHz. Existe uma relação entre a frequência do processador e calor gerado, conforme mostrado por Mihai (2015) onde se analisa uma breve correlação entre o fluxo de calor e a frequência da CPU.

Nesse ponto, o processador utilizado no experimento é 0.1 MHz mais rápido do que no estudo comparativo de Siddique e Prabhu, ou seja, de 2.9 GHz para 3.0GHz, o que naturalmente leva a pensar que o fluxo de calor seja maior. O estudo comparativo utilizou a vazão da bomba de sucção em 500 mL/min, sendo que no estudo experimental ela variou entre 2750 e 2900 mL/min, um valor bem acima e por isso entende-se o fato de ter alcançado valores abaixo do que quando comparados com as partículas dispensas no fluido do trabalho comparativo.

O trabalho de Siddique e Prabhu (2013) apresentou como temperaturas mínimas possíveis, o valor de 54,9°C para o seu respectivo sistema de resfriamento líquido, enquanto que o presente sistema de resfriamento líquido abordado nesse trabalho apresentou a temperatura mínima de 53°C, portanto, isso o identifica como mais eficiente.

Ao fabricar um processador, efetuam-se diversos testes colocando o microchip sob situação de prova, ou seja, em situações bem próximas do *overclock*, situação em que o processador trabalha acima do clock projetado. É através dessa análise inicial que é possível se obter a *Thermal design power* – TDP (Energia térmica de projeto). Um teste de carga máxima é realizado, determinando o quanto de energia o processador tende a liberar. Após obter um valor, as fabricantes informam o TDP para que empresas que criam sistemas de refrigeração possam fabricar produtos compatíveis e eficientes para a dissipação de calor do modelo em questão. Sendo assim, ao usar o software de monitoramento CPU-Z no presente experimento, o mesmo informa o valor máximo para o TDP que é de 77,0 W, sendo este o parâmetro de teste. Observou-se que tanto na utilização do *cooler* convencional (Intel) ou do *watercooler* (Thermaltake) ficaram abaixo de 52W, ou seja, inferior aos 77W do TDP. Desta forma, nota-se que ambos os sistemas possuem eficiência adequada para que o processador não corra risco de ser danificado por temperaturas excessivas.

Outro ponto está relacionado ao rendimento do resfriamento, que também foi considerado pelos alunos, que é a relação existente entre o aumento da diferença de temperatura pelo resfriamento e a diminuição do consumo de energia pelo processador. Nesse quesito, a Tabela 2 apresenta dados coletados da ferramenta computacional HWINFO.

Tabela 2 – Medições pela ferramenta computacional HWINFO.

		Dados de medidas			
		<i>Corrente</i>	$\dot{Q}_{\min.}$	$\dot{Q}_{\max.}$	$\dot{Q}_{\text{médio}}$
<b>COOLER</b>	CPU Package Temp. [°C]	63	55	75	69,5
	CPU Package Power. [W]	32.462	32.006	52.531	49.116
<b>WATER COOLER</b>	CPU Package Temp. [°C]	45	41	53	49,5
	CPU Package Power. [W]	32.300	32.126	52.950	48.205

Fonte: Elaborado pelos Autores.

É notável a diminuição do consumo máximo em 0,58 W nas mesmas condições de teste e tempo de leitura, que no presente caso foi de 15 minutos.

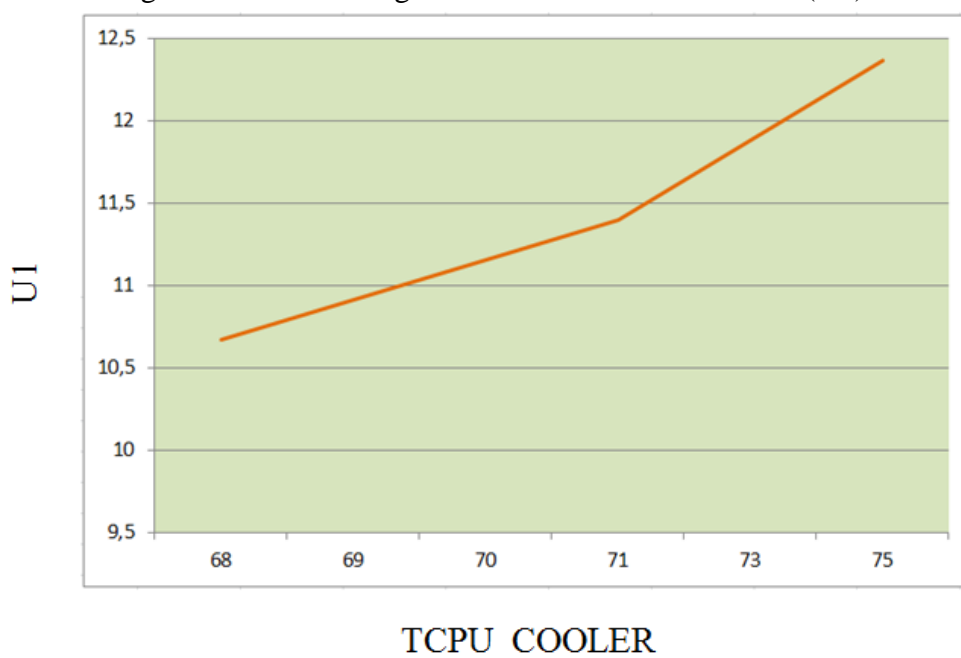
O efeito das frações de taxa de fluxo e volume também pode ser observado em termos do coeficiente convectivo de transferência de calor (U) na superfície do bloco de água.

O coeficiente médio de transferência de calor calculado foi de 60 W/cm<sup>2</sup>.K, para fluido refrigerante Thermaltake. A vazão média foi mantida constante a 2825 ml/s.



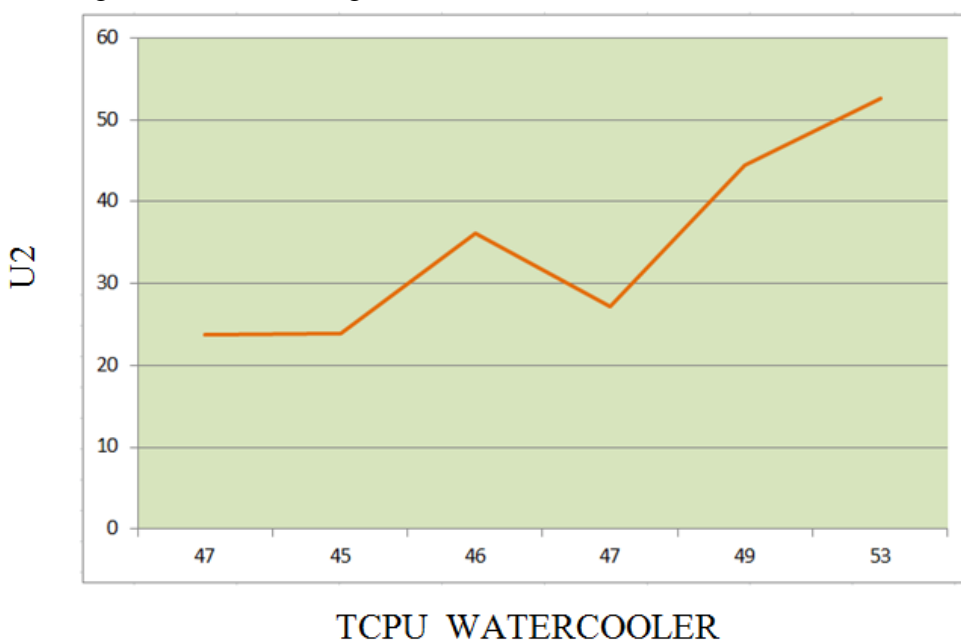
Nas Figuras 5 e 6 são apresentados os coeficientes globais de transferência de calor ( $U$ ) em função da temperatura do CPU, que, por questão de se usar os dados mais significativos, limitou-se a verificação no intervalo de 5 a 10 minutos, período esse em que a temperatura mais se elevou e se acentuou. Desta forma, foram analisados os momentos cruciais para os coeficientes de transferência de calor dentro de cada um dos dois sistemas de resfriamento, *cooler* e *watercooler*.

Figura 5: Coeficiente global de transferência de calor ( $U_1$ )



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Figura 6: Coeficiente global de transferência de calor ( $U_2$ )



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Ao ser calculado o rendimento dos sistemas de resfriamento, se constatou um rendimento de 41% para o sistema de resfriamento líquido e de apenas de 10,19% para o sistema de resfriamento a ar.

Fica evidente que o uso de resfriamento por ventilação a ar tem se tornado inviável diante das novas tecnologias de processamento de dados. De acordo com a Lei de Moore – “o número de transistores dos chips tem um aumento de 100%, pelo mesmo custo, a cada período 18 meses”, o que demonstra a tendência do aumento do fluxo de calor e a necessidade de refrigeração mais eficiente e segura.

A Figura 7 mostra o grupo de alunos utilizando a ferramenta computacional projetada para realizar leituras de transferência de calor (lado esquerdo) e o sistema hidráulico ampliado (lado direito). Foi detectado vazamentos nas vedações das roscas, consequentemente foi necessário o revestimento com silicone próprio para sistemas de resfriamento, na cor laranja, uma vez que a vedação do próprio sensor de fluxo também não conseguiu conter os vazamentos do fluido. Isso ocorreu porque a bomba de sucção modelo Pacific PR22 presente no kit do *watercooler* tem uma capacidade máxima de sucção de 500L/Hr e quando o fluido injetado por ela encontra as entradas menores para a passagem, no caso os microcanais do *water block*, logo isso impacta na obstrução parcial para a passagem do refrigerante e aumenta a pressão interna do sistema hidráulico.

Figura 7: Grupo de alunos realizando a atividade (lado esquerdo) e Sistema hidráulico (lado direito)



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Durante a realização da atividade, os estudantes tinham, inicialmente, quinze minutos de teste para interpretar a transferência de calor representada através de gráficos. Em seguida foram orientados a reproduzir qualitativamente esses dados e compará-los com o experimento de Siddique e Prabhu. Ao aumentar a temperatura do processador, observaram o aumento do fluxo através dos gráficos que foram gerados em tempo real, ao fim de cada intervalo de 15 minutos, um novo gráfico na tela do computador foi gerado. Desse modo, eles puderam comparar o gráfico produzido na tela do computador com o recebido para a respectiva análise, sabendo, imediatamente, se haviam interpretado de forma adequada à transferência de calor para o sistema de resfriamento líquido.

## 5 CONCLUSÕES

Após o estudo detalhado, totalmente embasado em pesquisas experimentais, científicas e bibliográficas, conclui-se que o objeto do presente estudo, apresentou uma

análise para extrair o calor dissipado do processador quad-core Intel® Core™ i5-3330 a 3.0GHz, ao resfriá-lo a uma temperatura operacional adequada. Houve uma redução significativa na temperatura de operação do processador com o fluido refrigerante da Thermaltake em comparação com outros fluidos nanocoolants experimentais usados pelos autores Siddique e Prabhu, além de ser muito superior ao convencional *cooler* de refrigerado a ar.

A temperatura da CPU com o dissipador de calor convencional sob carga total da CPU atingiu o valor máximo de 75° C. Com o uso do fluido refrigerante Thermaltake e *watercooler* a temperatura reduz para 53° C sob o mesmo carregamento do processador.

O coeficiente global de transferência de calor no sistema líquido, fluido refrigerante Thermaltake para o bloco de água, também aumentou consideravelmente com o aumento da vazão, isso é evidente quando comparado aos 500 ml/min usados no trabalho de Siddique e Prabhu.

Referindo-se ao consumo elétrico do *cooler* convencional e do *watercooler*, ambos utilizaram a conexão da placa mãe CPU\_FAN, ou seja, os mesmos 12 volts, desta forma, não houve acréscimos de consumo significativos, muito embora tenha se observado a economia elétrica por parte do processador em 0,58 W.

O estudo desenvolvido em si não é inédito, porém a tecnologia empregada no estudo científico é atual, desta maneira, de tempos em tempos, trabalhos como esses precisam ser desenvolvidos para descrever e detalhar os avanços encontrados no que se refere a fluxos de calor de unidades de processamento de dados e sistemas de refrigeração.

Outro fato relevante da pesquisa experimental foi conjugar a modelagem da transferência de térmica com algumas ferramentas computacionais de monitoramento de performance para processamento de dados. Isso permite disseminar o conhecimento sobre novas ferramentas computacionais ligadas a esse nicho, bem como suas aplicações em pesquisas científicas.

Portanto, o trabalho mostrou claramente que a junção de: fluidos refrigerantes, velocidade de escoamento (por parte da bomba de sucção) e área de troca térmica do bloco em superfície de contato líquida, são mecanismos eficazes para computadores *desktops* atuais e para promissores processadores usados com finalidade de pesquisa científica, supercomputadores ou qualquer sistema eletrônico onde a geração de calor é um dos grandes problemas. A redução na temperatura operacional aumenta a confiabilidade e o espaço para a utilização máxima do dispositivo eletrônico, no caso a CPU.

Com relação aos aspectos didáticos, a participação dos alunos em um experimento prático demonstrou, além da comprovação dos estudos teóricos a respeito, um grande fator motivacional que incentiva este tipo de prática, particularmente pelo sistema empregar conceitos teóricos facilmente associados com os resultados práticos apresentados. A relevância do experimento é também enfatizada pelo fato do mesmo representar, em uma escala simplificada, sistemas reais encontrados nas diferentes áreas da indústria química, automobilística, aeroespacial e robótica, entre outras. Outro aspecto importante é o baixo custo do sistema projetado, permitindo a reprodução do mesmo em outras unidades de ensino.

## AGRADECIMENTOS

As prerrogativas para execução deste trabalho, como, por exemplo, local onde seria montado e testado o sistema de arrefecimento líquido, bem como as ferramentas necessárias, foram fornecidas pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná - IFPR.

## REFERÊNCIAS

ARDUINO, disponível em <http://www.arduino.cc/>, acesso em 3/9/2020.

CHEN, H.-J., SHE, J.-L., CHOU, C.-C., TSAI, Y.-M., CHIU, M.-H., 2013. Development and application of a scoring rubric for evaluating students' experimental skills in organic chemistry: an instructional guide for teaching assistants. *J. Chem. Educ.* 90 (10), 1296–1302.

CHEN, W. Capacidade Calorífica Específica. Disponível em: <<http://static.highspeedbackbone.net/pdf/Thermaltake%20Liquid%20Cooling%20UV%20Sensitive%20Coolent%20Datasheet.pdf>>. Acesso em: Julho de 2018.

CPU-Z. Disponível em: <<https://www.cpuid.com/softwares/cpu-z.html>>. Acesso em: Setembro de 2020.

FAMULARO, N., KHOLOD, Y., KOSENKOV, D., 2016. Integrating chemistry laboratory instrumentation into the industrial internet: building, programming, and experimenting with an automatic titrator. *J. Chem. Educ.* 93 (1), 175–181.

GRIMALDI, D., RAPUANO, S., 2009. Hardware and software to design virtual laboratory for education in instrumentation and measurement. *Measurement* 42 (4), 485–493.

GRINIAS, J.P., WHITFIELD, J.T., GUETSCHOW, E.D., KENNEDY, R.T., 2016. An inexpensive, open-source USB Arduino data acquisition device for chemical instrumentation. *J. Chem. Educ.* 93 (7), 1316–1319.

GROLL, E. *et al.* Mathematical modeling of scroll compressors—part I: compression modeling. *International Journal of Refrigeration*, v.25, pp. 731-750, 2002.

HWINFO. Disponível em: <<https://www.hwinfo.com/>>. Acesso em: Setembro de 2020.

MIHAI, I. Heat Transfer in Minichannels and Microchannels CPU Cooling Systems, Heat Transfer - Theoretical Analysis, Experimental Investigations and Industrial Systems, Prof. Aziz Belmiloudi (Ed.), University of Suceava – Romania, 2015.

MABBOTT, G.A., 2014. Teaching electronics and laboratory automation using microcontroller boards. *J. Chem. Educ.* 91 (9), 1458–1463.

MANAFOV, R.M., 2015. Development of a software application for solving of problems of chemical kinetics and its implementation in a C#. *Int. J. Eng. Appl. Sci.* 2 (10), 33–37. Retrieved from. [www.jirka.org/genius](http://www.jirka.org/genius).

MCCLAIN, R.L., 2014. Construction of a photometer as an instructional tool for electronics and instrumentation. *J. Chem. Educ.* 91 (5), 747–750.

MOLINA, R., ORCAJO, G., MARTINEZ, F., 2018. KBR (Kinetics in Batch Reactors): a

MATLAB Based Application with a Friendly Graphical User Interface for Chemical Kinetic Model Simulation and Parameter Estimation. Education for Chemical Engineers.

OLIVEIRA, Rony. Análise da Transferência de Calor de Fluidos Térmicos aditivado com Etilenoglicol e Polímeros. Natal/ RN. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, 2016.

PARALLAX. Disponível em: <<https://www.parallax.com/downloads/plx-daq>>. Acesso em: Julho de 2018.

SIDDIQUE, A. B., PRABHU, K. N.; Replacement of heat sink fan by nanocoolants for enhancement of CPU efficiency, National Conference on Challenges in Research & Technology in the Coming Decades, 2013.

TENAW, Y.A., 2015. Effective strategies for teaching chemistry. Int. J. Edu. Res. Rev. 3 (3), 78–84. Retrieved from file: [http://Users/macbook/Downloads/download \(1\).pdf](http://Users/macbook/Downloads/download%20(1).pdf)

TOBAJAS, M., MOLINA, C.B., QUINTANILLA, A., ALONSO-MORALES, N., CASAS, J.A., 2018. ARTICLE IN PRESS G Model Development and Application of Scoring Rubrics for Evaluating Students' Competencies and Learning Outcomes in Chemical Engineering Experimental Courses. Education for Chemical Engineers.

UPADHYA, G. *et al.* Micro-scale liquid cooling system for high heat flux processor cooling applications. In: 22nd IEEE Semi-therm Symposium, 2006.

URBAN, P.L., 2014. Open-source electronics as a technological aid in chemical education. J. Chem. Educ. 91 (5), 751–752.

KIT THERMALTAKE. Disponível em: <[https://www.thermaltake.com/liquid\\_cooler/liquid\\_cooler\\_/lcs\\_kits/c\\_00002571/pacific\\_rl240\\_water\\_cooling\\_kit/Design.htm](https://www.thermaltake.com/liquid_cooler/liquid_cooler_/lcs_kits/c_00002571/pacific_rl240_water_cooling_kit/Design.htm)>. Acesso em: junho de 2018.

KUBÍNOVA, S., ŠLEGR, J., 2015A. CHEMDUINO Low Cost System for School Experiments in Chemistry. Retrieved from. <https://lide.uhk.cz/prf/ucitel/slegrja1/chemduino/index.htm>.