

## **Ciclo de Modelagem associado à automatização de experimentos com o Arduino: uma proposta para formação continuada de professores<sup>+,\*</sup>**

---

*Marcio Vinicius Corrallo<sup>1</sup>*

*Astrogildo de Carvalho Junqueira<sup>1</sup>*

Instituto Federal de São Paulo – *Campus* São Paulo

São Paulo – SP

*Tunísia Eufrausino Schuler<sup>1</sup>*

Instituto Federal do Paraná

*Campus* Foz do Iguaçu

Foz do Iguaçu – PR

### **Resumo**

*Este artigo discute a implementação do ciclo de Modelagem de Hestenes associado à automatização de atividades experimentais com a plataforma de prototipagem Arduino. Além das metodologias imbricadas com elementos tecnológicos, buscamos uma constante reflexão sobre o papel das atividades práticas e a participação do aluno durante o processo de ensino e de aprendizagem. Partindo de demandas do ensino de Física e recorrendo à modelização como uma estratégia metodológica com suas ferramentas inerentes, e, finalmente, convergindo às próprias realidades a partir da contextualização e extrapolação dos modelos propostos. Como aplicação, apresentamos um relato de experiência de um curso de extensão universitária, destinado aos professores de Física da educação básica e estudantes de licenciatura. Em decorrência, destacamos que os participantes do curso de extensão apresentaram, ao longo dos encontros, maior reconhecimento sobre a importância da atuação discente em todas as etapas do ciclo de Modelagem, inclusive durante o próprio planejamento da prática experimental. Eles ainda indicaram como satisfatória a junção das ferramentas tecnológicas com a dinâmica do ciclo de*

---

<sup>+</sup> Modeling cycle associated with the automation of experiments using Arduino: a proposal for continuing teacher training

<sup>\*</sup> *Recebido: outubro de 2017.  
Aceito: junho de 2018.*

<sup>1</sup> E-mails: [marciocorrallo@gmail.com](mailto:marciocorrallo@gmail.com); [acajunq@yahoo.com.br](mailto:acajunq@yahoo.com.br); [tuniaschuler@gmail.com](mailto:tuniaschuler@gmail.com)

*Modelagem, bem como possível a implementação em suas práticas experimentais já consolidadas.*

**Palavras-chave:** *Ciclos de Modelagem; Arduino; Atividade Experimental; Ensino de Física.*

### **Abstract**

*This paper discusses the implementation of David Hestenes' Modeling cycle associated with the automation of experimental activities with the prototyping platform Arduino. In addition, to the methodologies imbricated with technological elements, we seek a constant reflection on the role of practical activities and student participation during the teaching and learning process. Starting from the demands of teaching physics and using the modeling as a methodological strategy with its inherent tools and finally converging to own realities from the contextualization and extrapolation of the proposed models. As an example of application, we present the report of an experience in a university extension course intended for teachers of Physics of High School and the undergraduate students in teacher training courses. As a result, we emphasize that the participants of the extension course presented, during the meetings, greater recognition of the importance of student performance in all stages of the Modeling cycle, including during the actual planning of the experimental practice. They also indicated as satisfactory the combination of technological tools with the dynamics of the Modeling cycle, as well as possible the implementation in their already consolidated experimental practices.*

**Keywords:** *Modeling Cycles; Arduino; Experimental Activities; Physics Teaching.*

## **I. Introdução**

No Brasil, há décadas, a academia debruça-se pela procura de metodologias para o ensino de Física que possam estabelecer a Enculturação Científica<sup>2</sup>. Espera-se, assim, que tais metodologias sejam eficientes, e, ao mesmo tempo, seduzam os alunos em sua plenitude. Nas

---

<sup>2</sup> Segundo Sasseron e Carvalho (2011), a expressão “Enculturação Científica” carrega a noção de que as ideias científicas fazem parte de uma cultura e devem ser compartilhadas, igualmente ao que acontece com outras culturas que as pessoas possuem.

décadas de sessenta e de setenta, houve muitos projetos que defendiam as atividades experimentais com propósitos investigativos, dando aos alunos alguma autonomia no plano de trabalho, como o *Physical Science Study Committee* (PSSC), que originalmente foi proposto nos Estados Unidos, mas acabou sendo implementado em diversos países (CARVALHO, 2010). Apesar de alguns avanços em relação ao ensino tradicional, a essência dessas estratégias sempre teve o foco no professor como grande provedor do conhecimento científico ali posto, conservando um viés empirista-indutivista, no qual imputa às atividades experimentais um caráter facilitador e motivador do aprendizado. Ao aluno era creditada a função de revisitar os caminhos trilhados anteriormente por outros, com uma sequência didática apoiada em roteiros rígidos e lineares.

Novas abordagens de ensino de Física surgiram nos anos setenta e oitenta, baseadas essencialmente nas teorias de aprendizagem cognitivistas. Na tentativa de estabelecer proposições que fossem condizentes com essas teorias, em tese, surgiram os trabalhos que priorizavam a participação do aluno no processo de construção do experimento. Tendo em vista os custos de implementação de materiais experimentais, principalmente pela nova dimensão que a escola passou a tomar em virtude de sua universalização, as proposições de materiais de baixo custo ocuparam (e ainda ocupam) lugar de destaque entre muitos grupos de pesquisa em ensino de Física. Corroborando com essa afirmação, Moraes e Silva Junior (2014) destacam que tem crescido, nas últimas décadas, o número de artigos a respeito de proposições sobre a experimentação, em especial, de baixo custo; porém, eles advertem que a maioria das proposições tem a Física como a única fundamentação teórica.

É razoável acreditar que a incorporação de materiais experimentais não é garantia de eficiência no aprendizado, e nem mesmo a promoção da intencionalidade do sujeito em estabelecer sua Enculturação Científica. Portanto, é preciso lançar mão de teorias de aprendizagem que deslocam o aluno para o foco do processo. Ao mesmo tempo é necessária uma reflexão sobre o papel da Ciência na escola básica, e como tem sido reforçado o aspecto empirista, como argumentam Rezende e colaboradores:

*A ênfase nos aspectos experimentais da física dentro da temática ensino-aprendizagem esconde concepções que deveriam ser problematizadas, como por exemplo, a visão da física como uma ciência exclusivamente experimental, a visão empirista da ciência e da aprendizagem, na medida em que os trabalhos apontam muitas vezes na demonstração do fenômeno físico como meio suficiente para a construção do conhecimento, caracterizando-o como um processo passivo. (REZENDE; OSTERMANN; FERRAZ, 2009, p. 1402-6)*

No entanto, é impreterível reconhecer que se tem tornado mais frequente as proposições experimentais com as abordagens construtivistas, nas quais os alunos têm um papel fundamental durante a construção de seu próprio conhecimento, a partir da resolução de problemas abertos e de atividades com fundo investigativo. Para Carrascosa, Gil Perez e Vilches (2006), em uma abordagem investigativa se deve abandonar a concepção de um trabalho ex-

clusivamente experimental. Nesse sentido, os autores apontam aspectos que devem estar em mente durante as proposições de atividades investigativas, a saber: apresentar um problema com grau de dificuldade adequado aos alunos; estimular os alunos à reflexão sobre as possibilidades de interface da situação em estudo e implicações entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA); encorajar os alunos para as análises qualitativas com base nos conhecimentos disponíveis; permitir e incentivar que os alunos estabeleçam hipóteses acerca do problema; incentivar os alunos a proporem o desenho da pesquisa e das atividades experimentais, encorajando o uso, quando possível, de elementos tecnológicos no desenho das atividades; propiciar oportunidades aos alunos, durante a análise dos resultados, a buscarem por: elementos do conhecimento disponível, hipóteses levantadas e os resultados de outros grupos; oportunizar aos alunos a reflexão sobre a perspectiva de outras atividades com maior complexidade e implicações com CTSA; favorecer aos alunos a reflexão sobre a possibilidade de extrapolação do estudo para outras áreas de conhecimento; permitir aos alunos a comunicação de seus trabalhos aos seus pares; e evidenciar as dimensões coletivas dos trabalhos científicos, permitindo a interação entre os grupos, e ampliando o universo reflexivo sobre as estratégias e resultados. Por fim, os autores advertem que as proposições não devem ser encaradas como um roteiro rígido, mas, apenas, um norteador na tomada de decisão durante as proposições investigativas.

Não obstante, a concepção empírico-indutivista da Ciência ainda está enraizada no processo de ensino e de aprendizagem, dificultando a tomada de posição investigativa dos professores e, conseqüentemente, dos alunos frente às questões experimentais. Uma ruptura se faz necessária. Nesse sentido, Carvalho (2010, p. 59) salienta que uma “[...] consequência importante para o ensino, principalmente para as aulas de laboratório, é o entendimento de que as observações e o experimento não são a rocha sobre a qual a Ciência está construída; essa rocha é a atividade racional de geração de argumentos com base em dados obtidos.”

Como quadro teórico-metodológico, baseamos nossas sequências didáticas no ciclo de Modelagem de David Hestenes (HESTENES, 1996). Este propõe situações de aprendizagens centradas no aluno, objetivando a construção e a reconstrução de modelos, mantendo continuamente um processo reflexivo sobre sua ação. Discutiremos na seção II.2 o ciclo de Modelagem, bem como as adaptações que introduzimos quando apresentamos em um curso de extensão universitária ofertado para professores da rede pública do Estado de São Paulo nos anos de 2014 e de 2015, pelo Instituto Federal de São Paulo – Campus São Paulo.

De maneira análoga às atividades experimentais, as tecnologias digitais de informação e de comunicação – (TDIC), como suporte para o ensino de Física, percorreram caminhos tortuosos e equivocados, tornando, para muitos professores, algo penoso e sem propósito. Nessa perspectiva, visando à transposição das TDIC para o âmbito escolar, mas respeitando as necessidades adjacentes dos professores de Física, propusemos situações que integrassem a experimentação, e que pudessem ser remodeladas com o intuito de interligar aos sistemas de automatização de coleta de dados; porém, pudessem ser norteadas pelas premissas encontra-

das em Carrascosa, Gil Perez e Vilches (2006) e o ciclo de Modelagem de David Hestenes. Escolhemos, como elemento tecnológico e integrador das proposições, a plataforma de prototipagem Arduino. Discutiremos na seção II.1 as possibilidades para o ensino de Física e a eventual coerência com as atividades centradas no aluno, bem como a importância da prototipagem e seus limites comparados com o mundo real.

Escolhemos para reflexão e descrição para o escopo deste artigo, dentre as diversas atividades propostas no curso de extensão, um episódio que consideramos representativo da dinâmica adotada durante os encontros, isto é, o Projeto 16 – atividade prática experimental de determinação do calor específico de sólido sem calorímetro (vide Apêndice A). Este, além de trazer um arranjo experimental factível à realidade das escolas brasileiras, propõe a inserção da plataforma Arduino, associada a um sensor de temperatura, tornando o experimento mais robusto e fidedigno à suposta “realidade”, evidenciando de forma amplificada os possíveis intervalos de validades para os modelos adotados.

## II. Referencial

Com a queda de custos dos elementos tecnológicos, estes, cada vez mais, fazem parte da vida moderna. Porém, a escola brasileira não segue essa inserção com a mesma velocidade da sociedade, criando deveras uma lacuna entre o que os alunos presenciam em sua vida social e o que a escola oferece. No caso do ensino de Física, isso acaba sendo notório, como aponta Ricardo (2010, p. 29):

*Muitas vezes, os alunos acabam por identificar uma Ciência ativa, moderna, e que está presente no mundo real, todavia, distante e sem vínculos explícitos com uma Física que só “funciona” na escola. Não é por outra razão que os professores frequentemente apontam a falta de interesse e motivação dos alunos como um dos obstáculos para a aprendizagem.*

Evidentemente, temos diversos obstáculos para a inserção de elementos tecnológicos para o ensino formal. Muitas das iniciativas são efêmeras e deixam de ser viáveis, ora pelo custo de aquisição/manutenção, ora pelas frustrações quanto à sua eficácia. O professor, volta e meia, acaba “comprando a ideia” com a expectativa de que a inovação trará motivação para seus alunos. Talvez esse seja um grande equívoco, pois não se trata de disputar com a sociedade, mas rever suas práticas, que podem não ser adequadas inclusive ao ensino tradicional.

Indo mais além, Ricardo (2010) reforça a necessidade do ensino de Física caminhar para proposições que desafiem os alunos, e que esses percebam a necessidade de novos conhecimentos. Não bastando apenas a contextualização com explicações do objeto de ensino, como apresenta a curva A da Fig. 1, mas que se inicie com a realidade, estabelecendo-se proposições problematizadoras e, por conseguinte, lança-se mão da modelização, momento este em que o aporte teórico-instrumental é inserido. Não obstante, temos a contextualização com o retorno à realidade, curva B da Fig. 1.

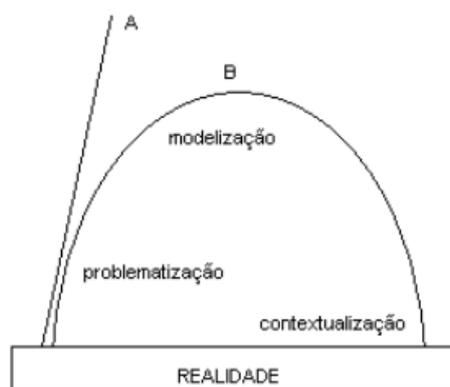


Fig. 1 – Esquemas de sequência didática conforme Ricardo (2010, p. 43).

Exatamente na modelização, com o apoio dos ciclos de Modelagem de David Hestenes (será discutido na seção II.2) e da automatização a partir da plataforma de prototipagem Arduino é que propusemos nossa sequência didática. Não só como elemento motivacional, tendo em vista o caráter da tecnologia, mas, sobretudo, adequada às próprias realidades e, a partir delas, estabelecer modelos que possam ser representativos, e, ainda assim, em consonância com o que diz Pietrocola (2002, p. 107):

*Para o contexto do ensino de Física, uma modelização matemática precisa incorporar de forma explícita o domínio empírico, ou seja, envolver atividades experimentais. Uma boa atividade modelizadora deveria necessariamente se preocupar na passagem dos dados brutos contidos numa observação, até uma representação conceitual de um fenômeno enfocado.*

Por outro lado, a plataforma de prototipagem Arduino tem se mostrado mais adequada às condições econômicas das escolas brasileiras e aos professores, frente às plataformas de coleta de dados com sistemas proprietários. Evidentemente, pelo fato de ser uma tecnologia aberta, torna-se mutável e adaptável às realidades do usuário. A versatilidade da plataforma permite que o professor possa utilizar a mesma base para coleta de dados em diversas áreas da Física. Nesse sentido, faremos uma discussão mais detalhada da plataforma Arduino, na seção seguinte, visando refletir sobre as possibilidades de inserção no ensino de Física, bem como as contribuições com uma abordagem investigativa a partir da proposta de modelagem.

## II.1 Arduino e o Ensino de Física

Atualmente, encontramos sistemas de aquisição de dados com baixo custo de implantação, além da possibilidade de uso de microfone e saída auxiliar do PC, outra possibilidade é a placa de aquisição de dados ou interface – Arduino (CAVALCANTE; TAVOLARO; MOLISANI, 2011). Desenvolvida na Itália em 2005, à luz da modalidade *open source*, difundiu-se rapidamente pelo mundo e desde cedo se percebeu o seu enorme potencial para a edu-

cação. Tornou-se uma alternativa economicamente viável frente aos laboratórios didáticos automatizados comercializados atualmente. McRoberts (2013, p. 24) destaca, ainda, que:

*A maior vantagem do Arduino em relação a outras plataformas de desenvolvimento de microcontroladores é a sua facilidade de utilização, o que permite que pessoas que não sejam de áreas técnicas possam aprender o básico e criar seus próprios projetos em um período relativamente curto. Artistas, em especial, parecem considerá-lo a maneira ideal para criar obras de arte interativas rapidamente, sem a necessidade de um conhecimento especializado em eletrônica.*

Seu design permite ligá-lo em diferentes sensores, como: temperatura, luz, velocidade, aceleração, força, pressão, umidade do ar entre outros. Também temos como possibilidade de saída o controle de lâmpada de LED (*Light Emitting Diode*), motores, alto-falantes e display, por exemplo. A interface com o computador pode ser via entrada/saída *USB/WiFi/Bluetooth*. É possível, também, armazenar os dados em um cartão de memória *MicroSD* e, posteriormente, recolher os dados, além de disponibilizá-los em servidor próprio ou a partir de *Cloud Computing*. Isto, por sinal, é bastante usado para a chamada Internet das Coisas (*IOT – Internet of Thing*), na qual o usuário pode disponibilizar seus dados ou controlar periféricos remotamente. Já existem vários serviços dessa natureza adaptados para a plataforma Arduino, sendo que alguns necessitam de pagamento; no entanto, temos alguns serviços que podem ser contratados, para pequenos projetos, sem custo aos usuários não comerciais. Um desses serviços é o site Thingspeak, disponível em: <[www.thingspeak.com](http://www.thingspeak.com)><sup>3</sup>.

A plataforma Arduino opera com uma camada simples de software implementado na placa, que é um *bootloader*<sup>4</sup>. A interface pode ser feita por diversos softwares, geralmente *open source*, como: *Processing*, *Arduino IDE (Integrated Development Environment)* e *Scratch*. Basicamente a diferença é que em *Scratch* se programa utilizando blocos que se encaixam, tornando-se mais lúdica a programação, enquanto em *Arduino IDE* e *Processing* se utiliza uma linguagem baseada em C/C++, na qual o processo de programação é mais “duro” e requer conhecimento da linguagem e lógica de programação. A versão mais popular do Arduino é o Uno que está baseada no microcontrolador ATmega 328P, 8-bit, 16MHz, CPU com 2KB de memória RAM para execução das rotinas e 32KB de memória *Flash* para armazenar as rotinas (SOUZA *et al.*, 2011). Vale ainda mencionar que as bibliotecas, que permitem conectar sensores e periféricos ao Arduino, podem ser facilmente encontradas na Web.

Gradativamente, vem crescendo o número de publicações na área de ensino de Física sobre as aplicabilidades da plataforma Arduino para automatização de experimento. Nota-se uma substituição de metodologia manual de coleta de dados por sistemas embarcados (reali-

---

<sup>3</sup> A plataforma permite aos usuários gratuitos e não comerciais, por exemplo: o envio de dados, com *delay* de 15 segundos; análise dos dados usando alguns recursos do software MATLAB; visualizações de gráficos diversos; inserção de *plugins* (permite criar *templates* para visualização) entre outros.

<sup>4</sup> O *bootloader* é uma espécie de sistema operacional que roda no microcontrolador AVR, e que permite a gravação em memória *Flash* das rotinas geradas pelo Arduino IDE e compiladas pela biblioteca AVR-GCC.

zam um conjunto de tarefas predefinidas). Essa evolução apontada, por exemplo, nos trabalhos de Souza *et al.* (2011), Rocha *et al.* (2014), Amorim *et al.* (2015) e Cordova e Tort (2016), a nosso ver, recaem em metodologias com grau de liberdade baixo para o uso do laboratório. Evidenciando ainda pouca preocupação com reflexões sobre a incorporação de estratégias investigativas, e com um plano de trabalho mais aberto aos alunos. Contudo, Haag *et al.* (2005) e Borges (2002) destacam que o uso da aquisição automática para atividades experimentais pode canalizar o momento da aula para que o aluno se debruce sobre as atividades de levantamento de hipótese, planejamento, execução, análise e conclusões dos resultados. Entendemos, também, que possa haver avanço no processo de ensino e de aprendizagem, pois a plataforma permite muito mais do que apenas a adaptação da coleta manual para a automatização. Nessa perspectiva, Silva *et al.* (2015) ilustram a montagem de uma estação meteorológica apoiada na plataforma Arduino; porém, o fato mais interessante do projeto é a oportunidade de cooperação entre os alunos da escola básica e da universidade, no sentido de troca de informações e disponibilização de dados tanto da universidade para a escola quanto da escola para a universidade. Essas ações podem, na medida do possível, reduzir o *gap* entre as instituições e, para o ensino de Ciências, ajudar a desmitificar as concepções estereotipadas, pois podem aproximar o cientista do estudante da escola básica e mais ainda, mostrar que a Ciência é viva e pode ser refutada e reconstruída.

A plataforma Arduino, por se tratar de uma interface entre o microcomputador e os sensores de coleta de dados ou elementos como LED, LDR (*Light Dependent Resistor*), resistores entre outros, requer conhecimento básico de eletrônica. Todavia, como advertem Haugen e Moore (2014), podemos inverter a sequência tradicional de ensino de Física, introduzindo, logo no 1º ano do ensino médio, noções de eletromagnetismo, discutindo as funções dos diversos elementos constituintes de um circuito e, assim, permitir inovação em busca da resolução de problemas.

No caso da plataforma Arduino, como se trata de um sistema baseado em protótipo, é possível propor, criar elementos novos e testar hipóteses. Haugen e Moore (2014) afirmam que a associação de algumas etapas, além da automatização, pode representar um ganho para o ensino de Física e, principalmente, no envolvimento do aluno, a saber: apresentar o problema; selecionar os sensores para coleta de dados; propor modelos matemáticos; construir modelos e algoritmos; e implantar os modelos. Vale observar que a plataforma Arduino permite adaptação às diversas finalidades, mesmo com sensores ou componentes similares. A apresentação do problema seria um momento no qual se caracteriza um desejo ou uma demanda. A partir dessa demanda, buscam-se as ferramentas disponíveis para a solução do problema. Nesse momento, é importante que os alunos tenham clareza das grandezas físicas que serão medidas. Só assim é possível a escolha adequada dos sensores e componentes que integrarão, juntamente com o Arduino, seu protótipo. A título de exemplo, caso o projeto tenha como propósito a medida da grandeza temperatura de líquidos, vale a pena pensar nas seguintes questões: quais sensores têm essa funcionalidade?; precisa ser encapsulado (a prova d'água)?;

caso seja necessário um termômetro encapsulado, isso muda sua leitura?; qual o intervalo de medida definido pelo fabricante?; qual sua incerteza associada?; essa incerteza comprometeria o projeto?

Para a construção dos modelos matemáticos é fundamental a compreensão de que os sensores medem uma grandeza física e a converte em um sinal elétrico (tensão), no entanto, a leitura poderá ser por portas analógicas (dentro dos limites de tensão do Arduino) ou por comunicação digital, quando se tratar de sensor implementado com sistema embarcados para conversação analógico-digital. Portanto, para o primeiro caso, deve-se pensar como converter a tensão em qualquer outra grandeza que o sensor foi concebido a medir. Essa informação deve ser colhida junto ao fabricante do sensor; porém, cabe ao proponente a construção de algoritmos que façam essa conversão e, assim, apresentem valores adequados ao projeto.

Tratando de um experimento de Física, podemos chegar a um modelamento matemático a partir dos dados coletados pelos sensores, representações gráficas e extrapolações associadas aos ajustes de curvas, permitindo ao proponente estabelecer um modelo matemático que faça previsões ou extrapolações para o fenômeno observado. Contudo, é importante mencionar que somente a manipulação dos dados experimentais não é capaz de garantir a concepção de um modelo mais geral (isto é, até aqui corremos o risco de adoção de metodologia apoiada na concepção empirista-indutivista), mas, além disso, é preciso se apoiar em pressupostos teóricos que, de alguma forma, dialoguem com os dados e estabeleçam os limites de validade para o modelo em questão. Não obstante, é possível partir de uma demanda inicial, idealizar e construir um aparato com sensores que possam dar conta das informações que foram elencadas como prioritárias para a construção de um modelo matemático e que, por fim, permita fazer conjecturas acerca do modelo que melhor se adeque aos dados coletados. Todavia, isso não criaria novas demandas e saberes específicos, como programação e eletrônica, para além das dificuldades já existentes? De fato, temos novos conhecimentos que, de certa forma, podem ser introduzidos paulatinamente no decorrer do ensino médio, como apontando por Haugen e Moore (2014). É importante lembrar que a lógica e a programação são elementos essenciais para se executar um projeto. A desmistificação e abertura de “caixas pretas” é um ponto que demanda maior investimento por parte do professor. Nesse sentido, a incorporação de conceitos de programação e sua estruturação pode ser um aliado, permitindo que o aluno possa criar rotinas próprias a partir das ferramentas disponíveis. Todavia, é necessário se ater ao fato de que a programação deve ser vista como um elemento mediador, logo, a ênfase não deve ser na ferramenta. O excesso de opções que as linguagens apresentam pode gerar uma mudança de foco ou, ainda, uma sobrecarga cognitiva, e, assim, desviar o propósito da ferramenta.

Por fim, o ferramental disponível juntamente com a plataforma Arduino não bastam se as intenções do professor não girarem em torno da proposição de investigação sobre uma demanda. Cabe ao professor a orientação e o envolvimento do coletivo na busca por soluções, e, ao mesmo tempo, metodologias novas que possam ou não fazer uso das TDIC.

## II.2 Ciclo de Modelagem de David Hestenes

O ciclo de Modelagem de Hestenes é constituído de dois estágios principais: 1º Estágio (Desenvolvimento do Modelo) e 2º Estágio (Implementação do Modelo) (HEIDEMANN; ARAUJO; VEIT, 2012). O 1º Estágio consiste de três divisões. Inicialmente, o problema é apresentado pelo professor (geralmente com uma demonstração ou discussão acerca do problema/questão), em seguida, os alunos (em pequenos grupos e de forma colaborativa) iniciam o processo de investigação e planejamento de experimentos que possam responder o problema proposto ou demanda. Finalmente, a apresentação e conclusões de forma oral/escrita das possibilidades encontradas pelos pequenos grupos. Indicando, assim, a formulação de modelos para o fenômeno em estudo, bem como sua avaliação do modelo a partir dos dados. O 2º Estágio é o momento de aplicar o modelo construído em novas situações (JACKSON; DUKERICH; HESTENES, 2008).

A fase da investigação é o momento que, possivelmente, os alunos irão se deparar com a necessidade de novos conhecimentos e novas ferramentas; logo, é nesse ponto que a introdução, pelo professor, de ferramentas como o Arduino e softwares são necessárias e passam a ter uma importância para a concretude das ideias elencadas pelos componentes dos grupos. Nesse sentido, Hestenes (1996) salienta que o professor deve estar atendo às necessidades dos grupos, fornecendo ferramentas que viabilizem o aprimoramento dos modelos e fomentem a qualidade do discurso. Para o autor, é fundamental que o professor tenha em mente, durante a proposição do problema, o uso de habilidades e ferramentas de modelagem. Destaca, ainda, que a familiarização com a modelagem desenvolve uma visão sobre a estrutura do conhecimento científico durante a análise dos modelos e seu encaixe na teoria, e permite uma leitura melhor da epistemologia da Ciência com suas limitações e incertezas subjacentes.

A cada etapa do processo é necessária a interação constante entre aluno-aluno e aluno-professor, permitindo um processo evolutivo de apropriação do conhecimento, ao mesmo tempo, que lhe dá sentido, haja vista que surgem necessidades impostas pelos próprios representantes do grupo. Nesse momento, são construídos esquemas mentais que permitem atuar sobre a situação posta, bem como rever suas concepções acerca do problema e, conseqüentemente, as soluções possíveis. Em outras palavras: o sujeito pode se deparar com conflitos cognitivos e, a partir de processos de resignificação, encontrar alternativas diferentes das convencionais e, em muitos casos, diferentes da que o professor possa ter como expectativa. Cabe destacar, ainda, que para assessorar na elaboração dos modelos, na apresentação dos resultados experimentais e da solução do problema, Hestenes sugere a adoção, pelos alunos, de uma pequena lousa branca (*small whiteboard*).

Essa resignificação da atuação apoiada sobre pressupostos de uma ação reflexiva faz com que o ciclo de Modelagem de David Hestenes seja bastante adequado para a implementação com automatização de experimentos, juntamente com uma proposta problematizadora de atividades práticas experimentais.

### III. Metodologia

Uma atividade proposta durante um curso de extensão universitária foi utilizada como instrumento de aplicação do ciclo de Modelagem de David Hestenes. Tendo como cursistas professores da Rede Pública do Estado de São Paulo e alunos de licenciatura em Física do Instituto Federal de São Paulo (IFSP), Campus São Paulo. Cabe mencionar que o curso foi ofertado em duas oportunidades (2014 e 2015)<sup>5</sup>, com período de duração de 4 meses e com as proposições e projetos descritos no quadro 1 (Apêndice A), e com poucas alterações entre uma versão e outra. A coleta de dados foi feita por meio das observações durante a realização da atividade proposta e os debates oriundos da própria implementação do ciclo de Modelagem, visando, sobretudo, discernir as dificuldades durante a execução da atividade proposta. Como sujeitos da pesquisa, tivemos a participação de quatro cursistas em 2014 e seis cursistas em 2015, caracterizando a pesquisa como um estudo de caso. Cabe frisar que além de subsidiar os cursistas com um ferramental tecnológico para aquisição de dados, a proposta do curso de extensão almejava uma reflexão sobre a inserção das atividades investigativas apoiadas em elementos tecnológicos à luz do ciclo de Modelagem de David Hestenes. Fizemos uso principalmente da plataforma Arduino, amplamente discutida durante os encontros, e softwares para tratamento de dados, como o Microsoft Excel, o software livre SciDAVis (ferramenta para análise e visualização de dados científicos)<sup>6</sup> e o software livre Tracker (ferramenta para videoanálise, mas não será tratada neste artigo)<sup>7</sup>. Vale ressaltar que não temos a intenção, neste artigo, de propor um plano de trabalho experimental para alunos ou professores, mas apresentar, na forma de relato, uma circunstância vivida em curso de formação continuada, na qual pudemos, a partir de um referencial consolidado (ciclo de Modelagem de David Hestenes) e as ferramentas tecnológicas, propor como um problema inicial a busca por soluções que demandasse a modelagem e seus limites de validade. As atividades desenvolvidas ao longo dos encontros ofereciam caráter replicável com a escolha de sensores e de equipamentos que apresentavam custo financeiro relativamente baixo. Ainda, com o intuito de estabelecer maior fidelização dos cursistas, disponibilizamos, por empréstimo durante a realização do curso de 2015, materiais<sup>8</sup> que foram utilizados ao longo dos encontros. É importante salientar que a adaptabilidade dos instrumentos sugeridos nas oficinas permitiu aos cursistas, inovar,

---

<sup>5</sup> As versões do curso de extensão de 2014 e 2015 tiveram duração de 16 semanas, com encontros presenciais de três horas semanais (aos sábados), além de suporte via Moodle Institucional. A versão de 2014 ofereceu dez vagas para docentes da Rede Pública Estadual de São Paulo, sendo que cada professor poderia convidar um aluno de sua respectiva unidade escolar. Na versão de 2015, optamos em manter o número de professores da rede estadual, mas oportunizamos os alunos de licenciatura do IFSP.

<sup>6</sup> Disponível em: <<http://scidavis.sourceforge.net/>>. Acesso em: 01 jul. 2016.

<sup>7</sup> Disponível em: <<http://physlets.org/tracker/>>. Acesso em: 01 jul. 2016.

<sup>8</sup> Arduino Uno, sensores de temperatura (LM35), sensores ultrassônicos, acelerômetros, elementos para comunicação *WiFi* – ESP8266, componentes eletrônicos como: LEDs, resistores, LDRs e protoboards, além do livro McRoberts (2013), textos e slides das aulas.

recriar e propor atividades que pudessem vislumbrar soluções às demandas encontradas em sua ação profissional.

Um episódio que consideramos representativo da dinâmica adotada durante os encontros com os cursistas foi a atividade experimental de determinação do calor específico de sólido sem calorímetro e seu desdobramento a partir da modelização. A justificativa da escolha desse experimento se deve ao fato de ser largamente utilizado e mencionado nos cursos de nível médio e superior. No entanto, buscamos, na problemática, olhar os limites de validade dos modelos encontrados na literatura e, ao mesmo tempo, trazer aos cursistas uma possibilidade real de transposição para sala de aula. Para o experimento, há um desafio maior que é a busca por um modelo (lei de resfriamento de Newton) que, tradicionalmente, não é trabalhado no ensino médio, mas pode permitir uma reflexão sobre validade do modelo, uma vez que, temos como resultado uma grandeza física amplamente referenciada na literatura.

Na seção III.1 faremos uma descrição pormenorizada das estratégias utilizadas durante a condução, pelos sujeitos da pesquisa, na resolução do problema proposto (como determinar o calor específico de sólidos sem calorímetro com apoio do Arduino). É importante frisar que a descrição e os resultados apresentados terão um caráter exclusivamente ilustrativo, não nos pautamos em obter o melhor resultado para as medidas, mas sim discutir sobre as potencialidades dos modelos construídos a partir dos ensaios e/ou da literatura.

### **III.1 Determinação do calor específico de sólido sem calorímetro**

Apesar da proposição de determinação do calor específico sem calorímetro já ter sido palco de outros trabalhos, como Mattos e Gaspar (2003); Sias e Ribeiro-Teixeira (2006) e Silva *et al.* (2003), acreditamos haver espaço para novas abordagens. Nesse sentido, a inserção do referencial do ciclo de Modelagem de David Hestenes associado com elementos de automatização poderia trazer o aprendizado de novos elementos procedimentais. Estes, por sua vez, poderiam trazer um pouco das vivências dos processos investigativos engendrados nas Ciências.

Em geral, as atividades experimentais de Calorimetria se baseiam no uso do calorímetro como elemento auxiliar aos experimentos. Dessa forma, justificado como dispositivo que dificulta a troca de calor entre o meio externo e o experimento. Contudo, para a determinação do calor específico de um sólido, nota-se grande dificuldade em determinar a temperatura de equilíbrio entre o sólido e o líquido contidos no calorímetro (MATTOS; GASPAR, 2003). Exatamente por essa dificuldade, a proposição do experimento passou a ser interessante, especialmente no curso superior, pois a temperatura de equilíbrio pode ser determinada por modelagem e ajuste de curvas. Cabe ainda ressaltar que, apesar da complexidade matemática, encontramos em Sias e Ribeiro-Teixeira (2006) uma aplicação também para alunos da escola básica.

Nesse contexto, entendemos que a proposição de determinação de calor específico sem calorímetro poderia ser um elemento desafiador aos nossos alunos do curso de extensão,

uma vez que, para muitos dos professores cursistas, a modelagem e ajustes de curvas não são temas usuais na sala de aula da escola básica. Assim sendo, propusemos, como a fase inicial do 1º Estágio do ciclo de Modelagem de Hestenes, o desafio, aos cursistas, da determinação do calor específico de um sólido sem calorímetro, com o subsídio dos artigos Mattos e Gaspar (2003); Sias e Ribeiro-Teixeira (2006) e Silva *et al.* (2003). Após a leitura dos textos, optamos por uma discussão oral sobre o plano de trabalho, sem a obrigatoriedade de seguir a proposição de Hestenes (Hestenes, 1996), o qual sugere que o registro das estratégias seja realizado com o auxílio de uma pequena lousa branca.

Assim, depois que os grupos apresentaram suas proposições, eles decidiram pela realização de uma sequência única de montagem e coleta de dados. Apesar de que os cursistas poderiam sugerir alternativas aos artigos, optaram em seguir a sequência experimental semelhante ao que foi sugerida pelos autores. Cabe comentar que os cursistas se asseguram em estratégias já consolidadas, mesmo diante de liberdade para proposições diversas. Dessa forma, os cursistas propuseram o esquema de montagem utilizando um Becker (mas poderia ser um copo de vidro) para suporte para o líquido e o sólido (no caso foi utilizado um bloco cilíndrico de alumínio), balança, aquecedor e o sensor de temperatura (LM35<sup>9</sup>) conectado ao Arduino. Na Fig. 2, temos o esquema de montagem do sistema de automatização de coleta dos dados desenvolvida pelos grupos. Nota-se a presença do Arduino conectado, via protoboard, ao sensor de temperatura LM35 e ao módulo WiFi ESP8266. Dando sequência à realização dos experimentos, os cursistas aqueceram a água até 60°C, aproximadamente. Já com o sensor de temperatura LM35 imerso em água e devidamente impermeabilizado, inseriram o bloco de alumínio, e continuando a leitura da temperatura durante alguns minutos, de acordo com a sugestão de Mattos e Gaspar (2003). É importante mencionar que foram discutidas, durante os encontros, algumas limitações do experimento apresentadas em Mattos e Gaspar (2003). Vale ressaltar que os cursistas disponibilizaram também os dados via plataforma Thingspeak, permitindo que todos os grupos pudessem visualizar os dados dos demais grupos, em tempo real<sup>10</sup> (tendo aqui uma alternativa à pequena lousa branca, para apresentação de resultados). A placa Arduino foi conectada via WiFi utilizando o módulo ESP8266 (veja Fig. 2), e as rotinas adaptadas para isso estão disponíveis no Apêndice B. Porém, vale a pena frisar que a montagem dessa rotina se deu em um processo de construção durante todo o curso, isto é, discutimos a aplicação e a inserção de controle dos dispositivos LM35 e ESP8266 em outras situações experimentais (a programação do curso de extensão pode ser encontrada no Apêndice A). É preciso ponderar que a utilização de diversos elementos “novos”, simultaneamente, ten-

---

<sup>9</sup> Os professores optaram em impermeabilizar o sensor LM35 com espaguete termoretrátil, ao invés de utilizar um sensor à prova d'água DS18B20, que possui custo mais elevado, mais detalhes desse processo pode ser encontrado em Corrallo e Junqueira (2015).

<sup>10</sup> Leitura dos dados públicos via <www.thingspeak.com> e/ou App ICharts ThingSpeak (disponível de forma gratuita via googleplay). Contudo, há necessidade de um tempo de carregamento de 15 segundos (na versão gratuita) entre uma leitura e outra; portanto, havendo necessidade de pontos intermediários, deve-se desligar o envio à plataforma e reduzir o “delay”, veja rotina no Apêndice C.

de a aumentar a carga cognitiva, e, assim, comprometendo o propósito da atividade, isto é, a modelagem de um fenômeno físico.

De posse dos dados, os cursistas passaram à fase de análise de gráficos e ajustes de curvas, isto é, a modelização propriamente dita. Para tal, fizeram uso do software livre SciDAVis (*Scientific Data Analysis and Visualization*), e que também foi objeto de discussão em outros momentos do curso. A título de exemplificação, utilizaremos, na sequência, dados experimentais de um dos grupos para ilustrar o processo de modelização e comparação com o modelo teórico. Nesse sentido, faremos uma descrição pormenorizada dos procedimentos e ferramentas utilizadas para a modelagem. Contudo, gostaríamos de reiterar que não buscamos, nessa atividade, um novo modelo para explicar um fenômeno amplamente estudado, mas, sim, uma sequência didática que possa minimamente contribuir para refletir a respeito de paradigmas consolidadas sobre a Ciência, dentre eles a visão rígida e dogmática, tendo o método científico como um caminho único e infalível, como assinalam Gil-Pérez *et al.* (2001).

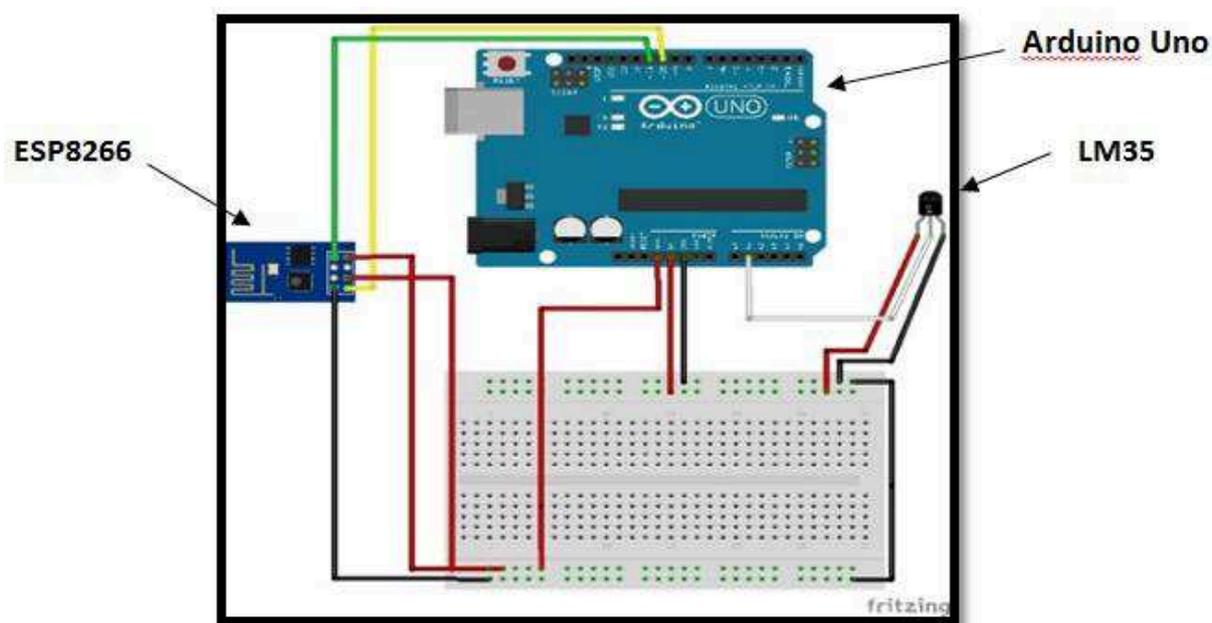


Fig. 2 – Esquema do sistema de automatização.

Após a coleta dos dados realizada pelo processo de automatização, esses dados foram salvos em um arquivo de texto simples em ASCII, com duas colunas separadas por tabulação. Em seguida, foram exportados para o software SciDAVis (veja no Apêndice C os detalhes de exportação e manipulação dos dados). Em acordo com as especificações técnicas dos fabricantes do sensor LM35 e do Arduino Uno, utilizamos 0,01s e 0,25°C de incerteza para o tempo e temperatura, respectivamente. O fabricante do LM35 destaca que a incerteza pode variar entre o intervalo de  $\frac{1}{4}$  até  $\frac{3}{4}$  de  $1^{\circ}\text{C}$ <sup>11</sup>. Em nosso estudo optamos por utilizar o valor mínimo da incerteza.

<sup>11</sup> Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>>. Acesso em: 01 jun 2016.

Assumindo que a lei de resfriamento de Newton pode ser escrita como:

$$\Delta T = T - T_R = (T_0 - T_R)e^{-\sigma t}, \quad (1)$$

em que  $T_0$  é a temperatura inicial do líquido;  $T_R$  é a temperatura do reservatório (ambiente) e  $\sigma$  é a constante do tempo, que nos permite prever o tempo necessário para o resfriamento ou aquecimento de um corpo. Com o intuito de linearizarmos a equação 1, aplicamos o logaritmo natural em ambos os lados, cujo resultado segue:

$$\ln(T - T_R) = \ln(T_0 - T_R) - \sigma t. \quad (2)$$

Dessa forma, temos uma equação de 1º grau com as seguintes atribuições de x, y, coeficiente linear (B) e coeficiente angular (A):

$$\ln(T - T_R) = y, \quad (3)$$

$$t = x, \quad (4)$$

$$\ln(T_0 - T_R) = B \quad (5)$$

e

$$-\sigma = A. \quad (6)$$

De posse dessas informações, foi possível plotar o gráfico – Curva de Resfriamento - (Fig. 3), isto é,  $\ln(T - T_R)$  vs t. Nota-se que o gráfico possui três regiões distintas: I - resfriamento da água; II - introdução do sólido na água; III - resfriamento da água com o sólido. As retas da região I e III (Fig. 4 e 5) podem ser ajustadas e prolongadas (este processo é descrito no Apêndice C), permitindo por extrapolação a determinação da temperatura da água no instante em que o sólido foi introduzido.

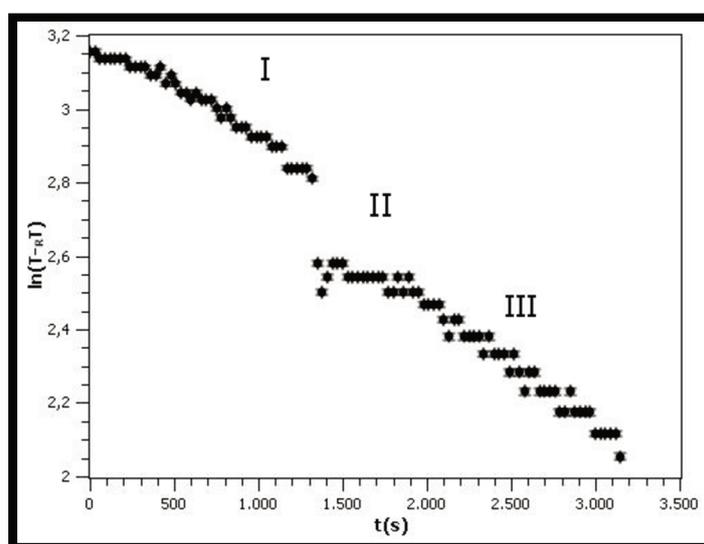


Fig. 3 – Curva de Resfriamento. (Fonte: os autores)

Na sequência, com os valores obtidos a partir dos gráficos das Fig. 4 e 5, determinamos as temperaturas inicial e de equilíbrio da água. Assim, do gráfico da Fig. 4, encontramos  $y = 2,707$  e do gráfico da Fig. 5 temos  $y' = 2,542$ . É importante ressaltar que o processo de automatização trouxe um número grande de pontos, permitindo, portanto, maior rigor na determinação da temperatura de equilíbrio ( $T_e$ ). Também não se pode deixar de mencionar que esse sutil aprimoramento foi observado pelos cursistas, frente às proposições dos trabalhos de Mattos e Gaspar (2003); Sias e Ribeiro-Teixeira (2006) e Silva *et al.* (2003), utilizados como base para o desenvolvimento do projeto.

Para o nosso ensaio temos:  $m_{Al} = (68 \pm 1)$  g - massa do alumínio;  $m_{\text{água}} = (103 \pm 1)$  g - massa da água;  $c_{\text{água}} = (1,00)$  cal/g°C - calor específico da água;  $T_R = (20,50 \pm 0,25)$  °C - temperatura ambiente;  $T_{0(\text{água})} = (35,5 \pm 0,2)$  °C - temperatura inicial da água na região II decorre de  $y = 2,71 \pm 0,01$  (detalhes do cálculo da incerteza, vide Apêndice C);  $T_e = (33,2 \pm 0,2)$  °C - temperatura de equilíbrio na região II decorre de  $y' = 2,54 \pm 0,01$ . Mesmo diante de um sistema aberto, presume-se que houve pouca variação na troca de calor antes e depois da introdução do bloco de alumínio na água. Logo, é razoável afirmar que  $\sum Q = 0$  é válida na região II do gráfico da Fig. 3 (MATTOS; GASPARG, 2003), portanto, temos:

$$c_{Al} = - \frac{m_{\text{água}} c_{\text{água}} (T_e - T_{0(\text{água})})}{m_{Al} (T_e - T_R)} . \quad (7)$$

Assim, substituindo na equação 7 os valores anteriormente mencionados, temos que:  
 $c_{Al} = 0,2157 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}} .$

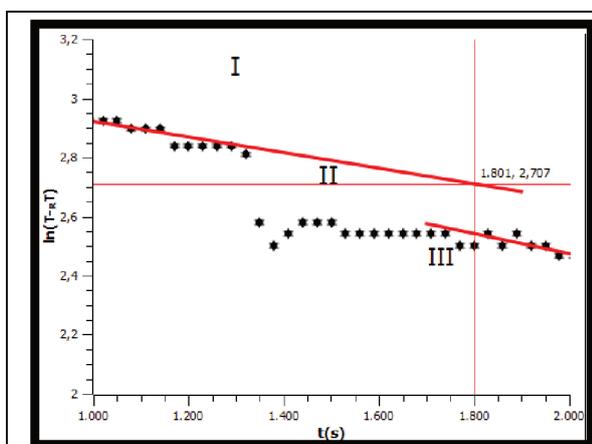


Fig. 4 - Curva de Resfriamento – temperatura inicial da água. (Fonte: os autores)

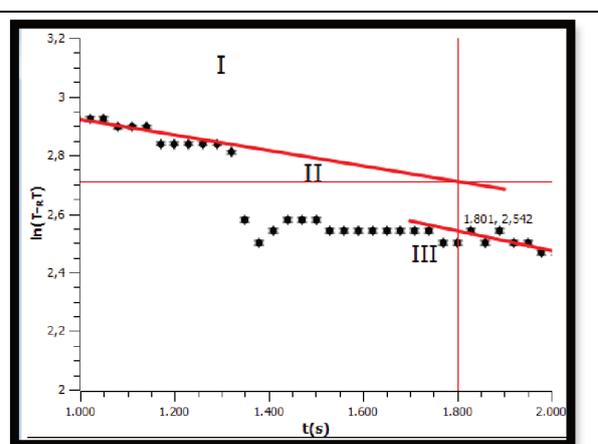


Fig. 5 - Curva de Resfriamento – temperatura de equilíbrio. (Fonte: os autores)

Baseado na fórmula de propagação de incertezas, conforme Voulo (1996, p. 113) aplicada na equação 7, realizamos a propagação de incertezas<sup>12</sup>, conforme indicado a seguir:

<sup>12</sup> Uma alternativa para a obtenção da propagação de incertezas é a utilização de software com essa funcionalidade, principalmente quando se objetiva o trabalho com o ensino médio.

$$\sigma_{c_{Al}}^2 = \left( \frac{\partial c_{Al}}{\partial m_{\text{água}}} \right)^2 \sigma_{m_{\text{água}}}^2 + \left( \frac{\partial c_{Al}}{\partial T_e} \right)^2 \sigma_{T_e}^2 + \left( \frac{\partial c_{Al}}{\partial T_0(\text{água})} \right)^2 \sigma_{T_0(\text{água})}^2 + \left( \frac{\partial c_{Al}}{\partial m_{Al}} \right)^2 \sigma_{m_{Al}}^2 + \left( \frac{\partial c_{Al}}{\partial T_R} \right)^2 \sigma_{T_R}^2 . \quad (8)$$

Desenvolvendo as derivadas parciais da equação 8 e substituindo os respectivos valores, encontramos que:  $\sigma_{c_{Al}} = 0,05 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$ , assim o calor específico do bloco de alumínio pode ser descrito como:  $c_{Al} = 0,22 \pm 0,05 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$ . O resultado foi excelente frente aos valores encontrados na literatura<sup>13</sup> de  $c_{Al} = 0,22 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$ , para a temperatura de 20°C. Ressaltamos ainda que não foi levada em consideração a pureza do alumínio utilizado, bem como o tratamento estatístico de coletas múltiplas, com o intuito de redução de erros aleatórios. Todavia, um ponto que chamou a atenção foi a incerteza de aproximadamente 23%. Fato este que está associado principalmente às incertezas das temperaturas (poderia ser minimizada com a adoção de sensor de temperatura com incerteza menor que 0,25°C). No entanto, como já dito anteriormente, não objetivamos a comprovação de valores amplamente difundidos do calor específico do alumínio; porém, para os cursistas foi um balizador da modelagem proposta, uma vez que, diversas hipóteses foram levantadas durante a coleta de dados, bem como tratamentos distintos foram sugeridos durante a realização das análises. Além do exposto, foi possível refletir sobre os possíveis comprometimentos dos resultados experimentais, tendo em vista as limitações do modelo da lei de resfriamento de Newton para situações com recipiente aberto, apontado por Heidemann *et al.* (2013).

#### IV. Discussão dos resultados

Durante os encontros do curso de extensão, e em particular na 1ª fase do 1º Estágio do ciclo de Modelagem com apoio da automatização de experimento, ficou evidente a necessidade da intencionalidade e ruptura do cursista com a sua própria passividade. Apesar da liberdade que a ferramenta de prototipagem Arduino proporciona, bem como as estratégias do ciclo de Modelagem, os cursistas escolheram, na grande maioria das vezes, reproduzir situações semelhantes às discutidas nos artigos e textos de apoio apresentados durante o curso de extensão. Presume-se que a pouca familiaridade com a técnica e o equipamento envolvido nas atividades tenham comprometido de forma deliberada a variabilidade de proposições elencadas pelos cursistas. Nesse sentido, observamos pouca criatividade na conjectura de situações novas e desafiadoras, fato este também identificado no trabalho de Heidemann, Araujo e Veit (2012). A dificuldade de lidar com a modelagem e, possivelmente, a incorporação dessa prática no contexto escolar foi apontada por muitos cursistas como uma tarefa bastante difícil. Destacaram que a “cobrança” por resultados em vestibulares e o número reduzido de aulas de Física são condições que geram o abandono de estratégias que fogem do escopo tradicional.

<sup>13</sup> Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Calor\\_espec%C3%ADfico](https://pt.wikipedia.org/wiki/Calor_espec%C3%ADfico)>. Acesso em: 01 jun. 2016.

Contudo, acreditamos que um grande obstáculo seja suas próprias convicções sobre o ensino de Física, estas, por sua vez, cristalizadas desde sua formação inicial e, muitas vezes, reforçadas em sua ação profissional pelos grupos sociais em que estão inseridos. Presume-se ainda que as próprias estratégias a serem utilizadas durante a modelagem, além do uso das ferramentas tecnológicas (tanto a plataforma Arduino quanto os softwares de tratamento de dados), podem influenciar sobre as concepções de ensino de Física, ao passo que os cursistas precisam tomar a frente do projeto e construir estratégias investigativas que sirvam para uma determinada demanda. Essa mudança de foco, à primeira vista, foi perturbadora para os cursistas, mas se tornou “mais natural” à medida que avançamos nas discussões durante os encontros do curso de extensão.

Cabe mencionar que a versão do curso de 2015, em comparação com a versão de 2014, apresentou menor evasão entre os participantes. Nesse sentido, podemos supor que a estratégia de empréstimo dos elementos eletrônicos e material de apoio foi um instrumento de fidelização e envolvimento dos cursistas, isto é, permitiu a eles a proposição de alternativas às demandas apresentadas e, principalmente, oportunizou momentos para testar suas hipóteses, além dos momentos dos encontros presenciais. Em contrapartida, a estratégia utilizada na versão de 2014, na qual os professores cursistas puderam convidar um de seus alunos, a nosso ver, repercutiu na maior assiduidade dos professores cursistas no comparativo com a versão de 2015, isto é, essa situação gerou maior comprometimento dos professores, pois esses não estavam apenas na condição de alunos, mas sim em uma relação mais complexa estabelecida entre o curso e seus alunos convidados.

A implementação do 2º Estágio do ciclo de Modelagem é um momento mais raro, pois as extrapolações e a contextualização demanda maior tempo para sua realização, mesmo assim, os cursistas puderam propor experimentos que fossem mais próximos de suas realidades, mas que, de alguma forma, faziam uso dos modelos e ferramentas tratadas durante todo o curso, e, assim, apresentaram na Semana Nacional de Ciência e Tecnologia do IFSP – Campus São Paulo. Dentre os projetos apresentados, podemos citar o projeto de automação residencial com controle de lâmpadas via smartphone, desenvolvido pelo professor cursista e seus alunos da escola pública. Talvez, esse momento possa ter contribuído de forma efetiva na consolidação das metodologias tratadas no curso, ao mesmo tempo, possa ter ajudado, de forma estável, na incorporação de estratégias em suas concepções de ensino.

A literatura tem apontado a grande confiança dada às atividades experimentais pelos professores de Física, tanto no aspecto metodológico quanto no aspecto cognitivo. Contudo, é preciso uma reflexão constante sobre sua importância e, conseqüentemente, sua inserção de forma adequada, isto é, priorizando o maior envolvimento do aluno com a inserção de abordagem com viés investigativo. Nesse sentido, a modelagem apoiada no ciclo de Modelagem de Hestenes e a incorporação de uma tecnologia de prototipagem podem contribuir para a inserção de estratégias metodológicas que tenham o aluno como foco, durante o processo de ensino e de aprendizagem.

Por fim, cabe mencionar que, mesmo não sendo o intuito deste artigo a obtenção de grandezas físicas já consolidadas, nem ao menos sua melhor acurácia, foi possível refletir com os cursistas sobre a constante necessidade de estratégias que possam confirmar ou refutar proposições experimentais, trazendo à tona a percepção de uma Ciência em constante transformação. Além do exposto, e apoiado na proposta de Ricardo (2011, p. 44), o retorno à realidade, a partir da curva B da Fig. 1, “[...] exige uma competência crítico-analítica dessa realidade a partir da sua problematização.” Isto é, o processo de modelagem e os diversos conhecimentos necessários para a obtenção do calor específicos do alumínio surgiram da problematização, em contrapartida, a contextualização é estampada na ação de retorno aos trabalhos norteadores (artigos de apoio) dessa proposição.

## V. Considerações finais

Entendemos como necessário a ampliação de cursos de extensão universitária dessa natureza, não como uma transposição de técnicas e de métodos da academia para a escola básica, mas, sim, um processo de troca, permitindo uma constante reflexão sobre a própria prática. Portanto, é razoável afirmar que a vivência com os métodos de modelagem (propondo modelos implícitos e explícitos), a familiarização com os aspectos metodológicos e habilidades inerentes, bem como a implementação e a validação dos modelos construídos podem favorecer a inserção de novas estratégias metodológicas em práticas experimentais já consolidadas pelo professor.

Notamos, essencialmente nos momentos iniciais do curso de extensão, considerável desinformação dos cursistas sobre alternativas de uso de atividades experimentais que estejam alicerçadas em uma participação ativa do aluno. Portanto, além do aporte tecnológico e metodológico apresentado e utilizado pelos cursistas, a promoção de momentos de reflexão das estratégias metodológicas passou a ser fundamental na condução dos encontros. Nesse sentido, é importante destacar que observamos, com o desenvolvimento dos encontros, um alinhamento dos discursos dos cursistas sobre a substancialidade do envolvimento discente durante todas as etapas do ciclo de Modelagem, inclusive o próprio planejamento da prática experimental.

De maneira geral, as impressões verbalizadas pelos cursistas foram positivas em relação às proposições do curso de extensão. Muitos destacaram que farão uso em suas unidades escolares; contudo, salientam diversos obstáculos para tal implantação (carga excessiva de trabalho, número insuficiente de aula semanal do componente curricular, infraestrutura inadequada entre outros). Nesse sentido, e como possibilidade de ampliação dos resultados destacados neste trabalho, valeria a pena, como foco de pesquisa, um acompanhamento dos professores cursistas em sua ação profissional, tanto no momento que antecede ao curso quanto após sua realização, buscando, sobretudo, maior entendimento de como as estratégias do ciclo de Modelagem de Hestenes associados à automatização com o Arduino podem influenciar nas concepções de ensino e de aprendizagem e, conseqüentemente, nas ações dos docentes.

## Agradecimento

Os autores agradecem à Pró-Reitoria de Extensão (PRX) – IFSP pelo apoio financeiro, aos cursistas pela participação na pesquisa e aos pareceristas pelas contribuições.

## Referências

AMORIM, H. S.; DIAS, M. A.; SOARES, V. Sensores digitais de temperatura com tecnologia on-wire: um exemplo de aplicação didática na área de condução térmica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 4, p. 4310-2-4310-9, 2015.

BORGES, A. T. Novos Rumos para o Laboratório Escolar de Ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. 3, p. 291-313, 2002.

CARRASCOSA, J.; GIL PEREZ, D.; VILCHES, A. PAPEL DE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 23, n. 2, p. 157-181, 2006.

CARVALHO, A. M. P. DE. As práticas experimentais no ensino de Física. *In*: CARVALHO, A. M. P. DE (Ed.). **Ensino de Física - Coleção Idéias em Ação**. São Paulo: Cengage Learning, 2010. .

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C.; MOLISANI, E. Física com Arduino para iniciantes. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 4, p. 4503-4503, 2011.

CORDOVA, H.; TORT, A. C. Medida de g com a placa Arduino em um experimento simples de queda livre. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 38, n. 2, p. e2308, jun. 2016.

CORRALLO, M. V.; JUNQUEIRA, A. C. **A Lei de esfriamento de Newton utilizando a automatização da tomada dos dados por meio do Arduino** XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2015. Uberlândia. **Anais...Uberlândia, MG: 2015** Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xxi/sys/resumos/T0308-2.pdf>>. Acesso em: 1 jul. 2016.

GIL-PÉREZ, D. *et al.* Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, p. 125-53, 2001.

HAAG, R. *et al.* **Aquisição Automática de Dados no Laboratório de Física da Escola de Ensino Médio**. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/producao/WIE2002/Aquisicao.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2015.

HAUGEN, A. J.; MOORE, N. T. A model for including Arduino microcontroller programming in the introductory physics lab. **Physics Education**, p. 11, 2014.

HEIDEMANN, L. A. *et al.* **Um ciclo de modelagem sobre a lei de resfriamento de newton**

XX Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2013, São Paulo. **Anais...**São Paulo: 2013.

HEIDEMANN, L. A.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Ciclos de Modelagem: uma alternativa para integrar atividades baseadas em simulações computacionais e atividades experimentais no Ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. Especial 2, p. 965–1007, 2012.

HESTENES, D. **Modeling Methodology for Physics Teachers** INTERNATIONAL CONFERENCE ON UNDERGRADUATE PHYSICS EDUCATION. **Anais...**College Park, United States, 1996.

JACKSON, J.; DUKERICH, L.; HESTENES, D. Modeling Instruction : An Effective Model for Science Education. **Science Educator**, v. 17, n. 1, p. 10–17, 2008.

MATTOS, C.; GASPAR, A. Uma Medida de Calor Específico sem Calorímetro. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 1, p. 45–48, 2003.

MICROBERTS, M. **Arduino Básico**. 1ª ed. São Paulo: Novatec Editora, 2013.

MORAES, J. U. P.; SILVA JUNIOR, R. S. Experimentos didáticos no Ensino de Física com foco na Aprendizagem Significativa. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 4, n. 3, p. 61–67, 2014.

PIACENTINI, J. **Introdução ao laboratório de física**. 3ª ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2008.

PIETROCOLA, M. A matemática como estruturante do conhecimento físico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. 1, p. 89–109, 2002.

REZENDE, F.; OSTERMANN, F.; FERRAZ, G. Ensino-aprendizagem de física no nível médio: o estado da arte da produção acadêmica no século XXI. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 1, p. 1402.1-1402.8, 2009.

RICARDO, E. C. Problematização e Contextualização no Ensino de Física. *In*: CARVALHO, A. M. P. DE (Ed.). **Ensino de Física - Coleção Idéias em Ação**. São Paulo: Cengage Learning, 2010. .

ROCHA, F. S. DA; MARRANGHELLO, G. F.; LUCCHESI, M. M. Acelerômetro eletrônico e a placa Arduino para ensino. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 31, n. 1, p. 98–123, 2014.

SASSERON, L.; CARVALHO, A. M. P. Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 1, p. 59–77, 2011.

SIAS, D. B.; RIBEIRO-TEIXEIRA, R. M. RESFRIAMENTO DE UM CORPO: A AQUISIÇÃO AUTOMÁTICA DE DADOS PROPICIANDO DISCUSSÕES

CONCEITUAIS NO LABORATÓRIO DIDÁTICO DE FÍSICA NO ENSINO MÉDIO. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 23, n. 3, p. 360–381, 2006.

SILVA, R. B. *et al.* Estação meteorológicas de código aberto: Um projeto de pesquisa e desenvolvimento tecnológico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 1, 2015.

SILVA, W. P. da *et al.* Medida de Calor Específico e Lei de Resfriamento de Newton: Um Refinamento na Análise dos Dados Experimentais. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 4, p. 392–398, dez. 2003.

SOUZA, A. R. de *et al.* A placa Arduino: uma opção de baixo custo para experiências de física assistidas pelo PC. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, p. 01–05, 2011.

VOULO, J. H. **Fundamentos da teoria de erros**. São Paulo: Blucher, 1996.

## Apêndice A

Quadro 1: Proposições e projetos dos encontros.

Proposições e Projetos
<b>Discussão e reflexão:</b> diferentes usos do laboratório didático para o ensino de Ciências. Plataforma Arduino e seu potencial para o ensino de Ciências.
<b>Organização do Conhecimento:</b> conceitos básicos de eletrônica e programação para a plataforma Arduino.
<b>Projeto 1:</b> acendendo e apagando LED.
<b>Projeto 2:</b> automação de semáforo.
<b>Projeto 3:</b> semáforo com botão tátil.
<b>Projeto 4:</b> LDR e as portas analógicas.
<b>Projeto 5:</b> LDR e o estudo de movimento oscilatório amortecido.
<b>Projeto 6:</b> LDR e a lei do inverso do quadrado para a luz.
<b>Projeto 7:</b> LDR e a luz ambiente.
<b>Projeto 8:</b> LDR e sonorizador.
<b>Projeto 9:</b> medindo resistência variável e controle pelo teclado.
<b>Projeto 10:</b> experimento de irradiação térmica.
<b>Projeto 11:</b> lei de resfriamento de Newton utilizando a automatização da tomada dos dados por meio do Arduino.
<b>Projeto 12:</b> determinação e comparação da aceleração obtida por sensor ultrassônico, acelerômetro e o software de análise de vídeo Tracker.
<b>Projeto 13:</b> comunicação via Ethernet e WiFi com o módulo ESP8266.
<b>Projeto 14:</b> transferência de dados utilizando a plataforma ThingSpeak.
<b>Projeto 15:</b> transferência de dados via WiFi e acesso via smartphone.
<b>Projeto 16:</b> determinação do calor específico de sólidos sem calorímetro.

**Projeto final:** apresentação de projeto na Semana Nacional de Ciência e Tecnologia do IFSP – Campus São Paulo.

Fonte: elaborado pelos autores.

## Apêndice B

Projeto: Comunicação via WiFi ESP8266 com ThingSpeak e sensor de temperatura LM35

// Fonte: Adaptado de: <http://electronut.in/an-iot-project-with-esp8266/>

// conectar: LM35 leitura em A1 (porta analógica A1)

// Lembre-se que o módulo ESP8622 deve ser ligado em 3,3V.

```
#include <SoftwareSerial.h>
```

```
#include <stdlib.h>
```

```
#include <Wire.h>
```

```
String apiKey = "XXXXXXXXXXXXXXXX"; //Chave para escrita ThingSpeak
```

```
SoftwareSerial ser(10, 11); // TX, RX (comunicação Arduino e ESP8622 via RX TX)
```

```
void setup()
```

```
{
```

```
  Serial.begin(9600);
```

```
  ser.begin(9600);
```

```
  // inicia conexao rede WiFi
```

```
  String cmd="AT+CWJAP=\""; // a variável String rede o comando AT para conexão WiFi
```

```
  cmd+="Digite nome da Rede WiFi"; // Rede WiFi
```

```
  cmd+="\"";
```

```
  cmd+="Senha da Rede WiFi"; // Senha rede WiFi
```

```
  cmd+="\"";
```

```
  ser.println(cmd); // executa a partir da função ser o comando cmd
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
  String analogValue1 = String(analogRead(A1)*5.0*100/1023, DEC);
```

```
  Serial.print("Temp_LM35 (°C): ");
```

```
  Serial.println(analogValue1);
```

```
  // conexão via TCP
```

```
  String cmd = "AT+CIPSTART=\"TCP\",\"";
```

```
  cmd += "184.106.153.149"; // api.thingspeak.com
```

```
  cmd += "\",80\"";
```

```
  ser.println(cmd);
```

```
  if(ser.find("Error")){
```

```
    Serial.println("AT+CIPSTART error");
```

```
  return;
```

```

}
// preparando GET string
String getStr = "GET /update?api_key=";
getStr += apiKey;
getStr += "&field1=";
getStr += String(analogValue1);
getStr += "\r\n\r\n";
// Enviando dados para ThingSpeak
cmd = "AT+CIPSEND=";
cmd += String(getStr.length());
ser.println(cmd);
if(ser.find(">")){
    ser.print(getStr);
}
else{
    ser.println("AT+CIPCLOSE");
    // alerta usuário
    Serial.println("AT+CIPCLOSE"); }
// thingspeak necessita de 15 segundos para a próxima atualização
delay(16000);
}

```

## Apêndice C

Na sequência, apresentamos as descrições relacionadas às etapas utilizadas neste artigo para o processo de modelagem com o software SciDAVis versão 1.D005.

A importação dos dados de arquivo texto simples, com colunas separadas por tabulação em ASCII, para o SciDAVis, foi feita a partir da opção na barra de Menu **File → Import ASCII...** . É importante mencionar que desabilitamos a opção **Use first row to name columns** (veja Fig. 6), pois o arquivo ASCII não carregava título nas colunas. Depois do carregamento dos dados, ajustamos os dados e incluímos as colunas das incertezas para o tempo e temperatura. Para tal, clicamos no ícone da barra de ferramenta em **append a new column to the table**, conforme indicação na Fig. 7, três vezes, isto é, três colunas novas foram inseridas. É oportuno mencionar que a incerteza do tempo tem valor único de 0,01s e a incerteza da temperatura tem valor de 0,25°C, conforme foi mencionado no corpo do texto. Contudo, tivemos que utilizar o processo da linearização para a coluna da temperatura, logo, a incerteza também foi recalculada. Nesse sentido, Piacentini (2008, p. 35) destaca que a propagação de erro nas operações básicas para logaritmo natural é dada por:

$$\ln(y \pm \Delta y) = \ln y \pm \frac{\Delta y}{y} . \quad (9)$$



Fig. 6 – Import ASCII file(s). (Fonte: os autores)

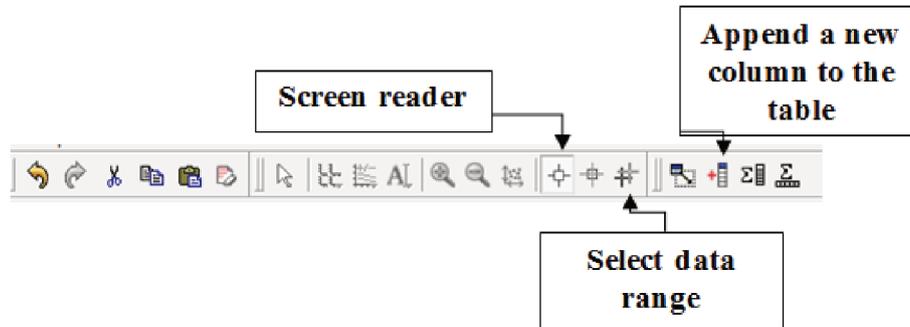


Fig. 7 – Barra de Ferramenta do SciDAVis. (Fonte: os autores)

Para aplicarmos a equação 3, com os valores das temperaturas, procedemos da seguinte forma: com o cursor na linha 1 da coluna 3 (veja Fig. 8) escrevemos a fórmula  $\ln(\text{col}("2")-20.5)$ , na caixa de texto à direita, e, em seguida, clicamos em **Apply**. Lembrando que  $20.5^{\circ}\text{C}$ <sup>14</sup> corresponde à temperatura ambiente usada em nosso exemplo. Para indicar que a coluna 4 foi utilizada para a incerteza em x, clicamos com o botão direito do mouse sobre a coluna que pretendemos configurar, e assim escolhemos, na barra de Menu, os comandos: **Table** → **Set Column(s) As** → **X Error**. O procedimento foi repetido para a coluna 5, isto é, escolhemos a opção **Y Error**. Para ajustar as incertezas, utilizamos a equação 9, para tal, colocamos o cursor na coluna 5 e, em seguida, inserimos, no campo fórmula, a expressão  $0.25/\text{col}("2")$ , e finalmente acionamos o comando **Apply**. Para x, utilizamos o mesmo procedimento descrito anteriormente, porém, inserimos o valor  $0.01$ <sup>15</sup>.

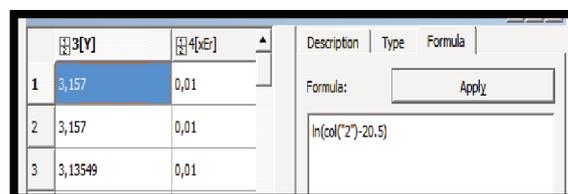


Fig. 8 – Inserindo valor de y. (Fonte: os autores)

<sup>14</sup> Por uma inconsistência do software SciDAVis versão 1.D005, é necessário utilizar, somente no campo fórmula, a separação decimal por ponto.

<sup>15</sup> Para a versão 1.D005 do SciDAVis, há uma inconsistência no software, obrigado o uso de ponto para separar a parte inteira da parte decimal, somente em descrição na caixa de texto (vide Fig. 8).

O passo seguinte foi construir o gráfico, para isso, selecionamos todas as colunas (para a seleção das colunas, basta manter o botão Ctrl do teclado pressionado), exceto col("2"), já que essa representa a temperatura sem a aplicação do  $\ln$ . Dessa forma, escolhemos, na barra de Menu, os comando: **Plot** → **Scatter**.

Outro ponto importante foi a delimitação da região do gráfico para os ajustes de reta. Nesse sentido, selecionamos o botão **Select data range** na barra de ferramenta (veja Fig. 7). Escolhemos os limites para o ajuste da região I, veja o gráfico da Fig. 4. Para mudar entre a região da esquerda e direita, utilizamos as setas direita e esquerda do teclado. Após a escolha das regiões limítrofes, clicamos, na barra de Menu, nos seguintes comando: **Analysis** → **Quick Fit** → **Fit Linear**. O procedimento para a região III foi o mesmo, como descrito anteriormente. Com um duplo clique no gráfico, temos a caixa **Plot details** (veja Fig. 9), e com novo duplo clique em **LinearFit1** (veja Fig. 10) foi possível aumentar o valor da escala do eixo x. O mesmo procedimento foi feito com a região III. Feito a ampliação da reta I, escolhemos, na barra de ferramenta, a função **Screen reader** (veja Fig. 7). Esta função nos permitiu escolher a região de início do processo e ler os valores dos eixos, conforme os gráficos das Fig. 4 e 5, no corpo do texto. Cabe mencionar que ampliamos as escalas dos gráficos com um duplo clique no eixo x, e assim facilitando a visualização para os ajustes.

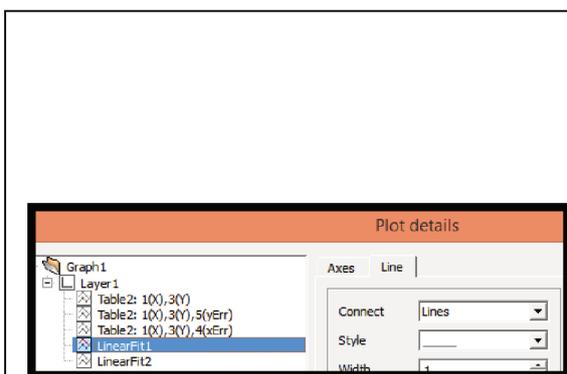


Fig. 9 – Caixa – Plot details. (Fonte: os autores)

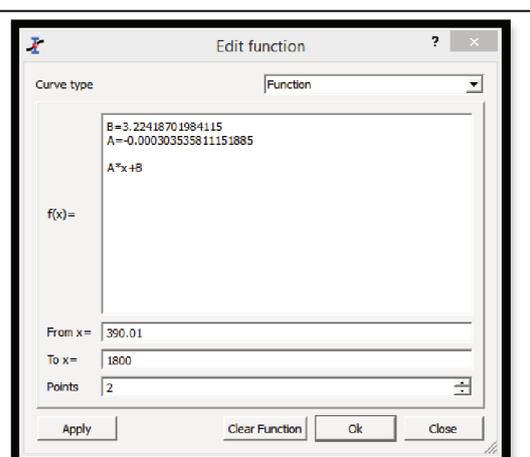


Fig. 10 – Caixa – Edit function. (Fonte: os autores)



**Direito autoral e licença de uso:** Este artigo está licenciado sob uma [Licença Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).