



Herschel e os raios invisíveis de calor: experimentos históricos e as tecnologias atuais

Ana Paula Bispo da Silva
Universidade Estadual da Paraíba
Brasil
silva.anapaulabispo@gmail.com

Rilavia Almeida de Oliveira
Universidade Estadual da Paraíba
Brasil
rilavia.almeida@gmail.com

ABSTRACT

This research on History and Philosophy of Science and Science Teaching considers that these fields could be related in four levels: conceptual, epistemological, social-cultural and motivational (SEKER, 2012). Concerning these levels, this work aims to explore a historical episode which goes deeper in conceptual and epistemological aspects, such as the early ideas on the light spectrum and the radiant heat and the related experiments. As part of the research, we studied William Herschel's experiment on refrangibility of the invisible rays of Sun and radiant heat. Herschel's hypothesis and results are the starting point to discuss concepts like light's spectrum and reflection and refraction of infrared radiation. This is the subject of a supplementary resource developed based on case studies (STINNER, et. al., 2003) in which Herschel's activities are contextualized. This resource also presents his experiment and a didactical version of it, and emphasizes how his studies are related to modern infrared radiation technologies.

RESUMO

A pesquisa que realizamos envolvendo a relação entre História e Filosofia da Ciência e Ensino de Ciências parte do pressuposto que estes dois campos podem estar relacionados em quatro níveis: conceitual, epistemológico, sócio-cultural e de motivação (SEKER, 2012). Dentre estes níveis, o presente trabalho buscou explorar um episódio histórico em que fossem destacados aspectos conceituais e epistemológicos; mais especificamente as primeiras impressões sobre a relação entre espectro de cores da luz e a emissão de calor radiante, e os experimentos que buscaram verificar esta relação. Neste intuito, estudamos os experimentos de William Herschel de 1800 sobre a refrangibilidade dos raios invisíveis do Sol e o calor radiante. A partir das hipóteses elaboradas por Herschel e os resultados a que chega, propõe-se a discussão de aspectos conceituais como a constituição do espectro de luz, os fenômenos de refração e reflexão da radiação infravermelho. Para o material educacional, adotamos o estudo de caso histórico (STINNER, et. al., 2003), elaborando um material do tipo paradidático em que contextualizamos as atividades de Herschel, apresentamos em detalhe um de seus experimentos e uma possibilidade de reprodução didática e destacamos as consequências de seus resultados em tecnologias atuais que envolvem radiação infravermelho.

Palavras-chave. William Herschel. Experimentos históricos. Material paradidático

Keywords: Historical experiments. Supplementary resources.



INTRODUÇÃO

Ao longo da história da física, alguns experimentos realizados por personagens não muito discutidos no ensino de física assumem grandes proporções quando são vinculados a novas tecnologias. É o caso, por exemplo, dos experimentos realizados por William Herschel em 1800, que são considerados atualmente como a “descoberta” da radiação infravermelha, que possibilitaram o desenvolvimento de inúmeras tecnologias (GOLDBERG, 1954; RING, 2010; ROGALSKI, 2012; BARR, 1960). Aplicações da radiação infravermelha estão presentes em várias tecnologias modernas, usadas em áreas como medicina veterinária, na geologia, no monitoramento ambiental, no diagnóstico de doenças, bem como em aplicações militares.

Porém, assim como em outras situações análogas na física, dos experimentos de Herschel para as tecnologias atuais, os caminhos são tortuosos e diferentes interpretações foram dadas aos “raios invisíveis”. A ausência dos problemas enfrentados pelos estudiosos enfatiza a linearidade da ciência e reforça sua autoridade, construindo um mito científico no âmbito do Ensino de Ciências (Gil-Perez et. al, 2001).

Para superar essas dificuldades, Seker (2012) sugere que professores de ciência precisam conectar seu conhecimento de conteúdo pedagógico com conhecimento de História da Ciência, sugerindo quatro níveis: nível de interesse (motivacional), nível sociocultural, nível epistemológico e nível conceitual, que visam ajudar professores de ciência a inserir a História da Ciência no Ensino de Ciências sem incorrer em distorções e, ao mesmo tempo, atingir objetivos educacionais. Além disso, os professores devem ter uma conexão entre conhecimento do conteúdo pedagógico e a História da Ciência, bem como saber empregar estratégias instrucionais adequadas no uso da História da Ciência no Ensino (SEKER, 2012). Na tentativa de atender aos níveis conceitual, epistemológico e de interesse (motivacional), fizemos uma análise detalhada das pesquisas de William Herschel sobre calor radiante que o levaram à observação da radiação além da região visível no espectro Solar. A partir deste episódio histórico construímos um material paradigmático, no qual utilizamos como estratégias educacionais: a reprodução didática do experimento de William Herschel para a discussão de conceitos envolvendo óptica e eletromagnetismo; inserimos a discussão sobre a metodologia empregada na atividade empírica do início do século XIX; e associamos o referido episódio com as novas tecnologias da física aplicada, ampliando a perspectiva inicial da História e da Filosofia da Ciência. O material pretende suprir a lacuna existente de fontes com abordagem histórica que o professor possa explorar de forma complementar em suas aulas.

MARCO TEÓRICO

A presente pesquisa divide-se em duas etapas gerais. A primeira etapa consistiu na busca e análise bibliográfica de fontes que permitiram compreender o episódio histórico, em todos os seus aspectos. Nesse intuito, foram consultadas fontes primárias e secundárias. A leitura de textos originais, nos proporcionou um contato direto com as ideias dos pesquisadores, sem interferência das interpretações de autores de obras secundárias. Porém, a consulta a obras secundárias também foi importante, uma vez que nos permitiu um mapeamento do contexto científico da época.



Analisamos quatro artigos, publicados por Herschel, na Philosophical Transactions of the Royal Society of London, em 1800, que estão interligados e se complementam:

1º) Investigation of the Powers of the Prismatic Colours to Heat and Illuminate Objects; With Remarks, That Prove the Different Refrangibility of Radiant Heat. To Which is Added, an Inquiry into the Method of Viewing the Sun Advantageously, with Telescopes of Large Apertures and High Magnifying Powers: discute o poder de aquecer e iluminar das diferentes cores do espectro prismático, bem como a diferente refrangibilidade dos raios de calor (HERSCHEL, 1800a).

2º) Experiments on the Refrangibility of the Invisible Rays of the Sun: Herschel procura estabelecer a existência dos raios invisíveis de calor (HERSCHEL, 1800b). Ao encontrar radiação além do espectro visível, Herschel desenvolve uma série de estudos visando comparar, através de experimentos, as características observadas nos raios de calor e de luz, de modo a determinar se eles são ocasionados pelos mesmos raios ou não. Esses estudos são apresentados nos seguintes trabalhos:

3º) “Experiments on the Solar, and on the Terrestrial Rays that Occasion Heat; With a Comparative View of The Laws to Which Light and Heat, or Rather the Rays Which Occasion them, are Subject, in order to Determine Whether They are the Same, or Different” Parte I: Herschel discute a Reflexão e Refração dos raios de calor (HERSCHEL, 1800c).

4º) “Experiments on the Solar, and on the Terrestrial Rays that Occasion Heat; With a Comparative View of The Laws to Which Light and Heat, or Rather the Rays Which Occasion them, are Subject, in order to Determine Whether They are the Same, or Different” Parte II: Herschel traz o estudo da diferente refrangibilidade do raios de calor; sua interceptação através de corpos translúcidos; seu espalhamento em superfícies ásperas e por fim, discute se luz e calor são ocasionados pelos mesmos raios ou não (HERSCHEL, 1800d).

Pretende-se que a abordagem do episódio histórico da nossa pesquisa ressalte a importância de estudar a Física através do processo histórico, ressaltando os aspectos conceituais, epistemológicos e metodológicos envolvidos no fazer científico.

A partir do capítulo teórico produzimos um material paradidático (segunda etapa de nossa pesquisa). No material paradidático, a partir das hipóteses elaboradas por Herschel e os resultados a que chega, propõe-se a discussão de aspectos conceituais como a constituição do espectro de luz, os fenômenos de refração e reflexão da radiação infravermelha e as medidas de intensidade luminosa. Aspectos epistemológicos e metodológicos também são considerados como a questão causa-efeito bem como a precisão de medidas e as discordâncias que o experimento gerou na época. No material paradidático, contextualizamos as atividades de Herschel, apresentamos em detalhe um de seus experimentos e uma possibilidade de reprodução didática e destacamos as consequências de seus resultados em tecnologias atuais que envolvem radiação infravermelho.



ESTUDO DE CASO: OS EXPERIMENTOS DE HERSCHEL SOBRE CALOR RADIANTE¹

William Herschel (1738–1822) foi um astrônomo alemão naturalizado inglês que interessou-se inicialmente por música, assim como seu pai – Isaac Herschel. Posteriormente, ele se dedicou à construção de telescópios com o intuito de observar os céus e a natureza e distribuição das estrelas distantes e nebulosas. Ele alugava telescópios e polia seus próprios espelhos (HOSKIN, 2012). Durante estas observações, Herschel descobriu o planeta Urano, fato que o tornou mundialmente famoso como descobridor de um planeta. Como resultado desta descoberta, ele foi eleito membro da Royal Society, premiado com o Copley Prize, e nomeado astrônomo do Rei George III (LOVELL, 1968).

Envolto às observações astronômicas e ao aprimoramento dos instrumentos, aos 61 anos Herschel também desenvolveu estudos sobre o calor, mantendo o mesmo método observacional e descritivo do estudo dos céus. No contexto da discussão sobre luz e os fenômenos de interferência, reflexão e refração, diretamente relacionados com as observações das estrelas, Herschel se concentrou no estudo principalmente dos raios solares.

No período entre 1800 e 1830, experimentos com calor radiante realizados por William Herschel, John Leslie, Macedonio Melloni e outros, apresentaram que algo denominado calor radiante tinha a maioria das propriedades da luz, entre elas, reflexão e refração. Vale ressaltar que no início do século XIX supunha-se que calor e luz eram substâncias fluidas. Para o caso da luz, havia também os partidários de Newton que consideravam a visão corpuscular. Como também havia, para o caso do calor, aqueles que adotavam a visão cinética. É neste ambiente complexo com visões antagônicas de luz e calor que Herschel realizou seus experimentos.

O poder de aquecimento e iluminação dos raios coloridos

Nos experimentos sobre o poder de aquecimento dos raios coloridos, Herschel construiu um aparato, no qual os termômetros pudessem mostrar o aumento de temperatura ocasionado por cada cor do espectro prismático.

Três termômetros localizados sobre uma placa recebiam a luz do espectro colorido obtido pela refração da luz do sol por um prisma (ver figura 1). Um papelão permitia filtrar as diferentes cores que incidiam sobre os termômetros. Os termômetros, com os seus bulbos dispostos numa linha, foram colocados próximos à abertura, de modo que qualquer um deles pudesse ser facilmente avançado para receber a irradiação da cor que passasse através da abertura, enquanto o resto permanecia próximo, sob a sombra do papelão. Com este experimento, após vários ensaios, Herschel tirou conclusões sobre o poder de aquecimentos das cores. Ele concluiu que o poder de aquecimento dos raios vermelhos era quase o dobro daquele dos raios verdes, e quase quatro vezes maior do que o poder de aquecimento do violeta. Sem muita convicção, Herschel supôs que tal diferença poderia estar relacionada à sensibilidade dos termômetros.

Segundo Herschel, para obter maior precisão ainda quanto ao poder de aquecimento da cor, seria suficiente escurecer os bulbos dos termômetros e realizar a exposição ao Sol em altitudes maiores, em que a luz seria mais poderosa e estável. Entretanto, ele julga que as experiências



relatadas são suficientes para o seu propósito, o qual seria de provar que o poder de aquecimento das cores prismáticas, não é igualmente dividido, e que a máxima emissão, e portanto maior poder de aquecimento, estaria nos raios vermelhos. Na continuidade do trabalho, Herschel buscará investigar se os diferentes raios prismáticos possuem diferentes poderes de iluminação e assim, relacionar poder de aquecimento com poder de iluminação. Para este propósito, Herschel utiliza um microscópio que recebe diretamente os raios prismáticos.

Através dos experimentos, Herschel encontrou que seus objetos eram muito bem vistos no vermelho, melhor no laranja, e ainda melhor no amarelo e no verde. Mas, com uma menor vantagem no azul e no índigo, e com mais imperfeição no violeta. Os experimentos levam Herschel a conjecturar que o calor radiante possui diferente refrangibilidade, ressaltando que, assim como a luz, ele não é apenas refratável, mas também está sujeito às leis da dispersão decorrente da sua diferente refrangibilidade. Isto é, devido a sua diferente refrangibilidade, ao ser dispersado pelo prisma, os raios de calor são refratados em diferentes direções (Herschel 1800a).

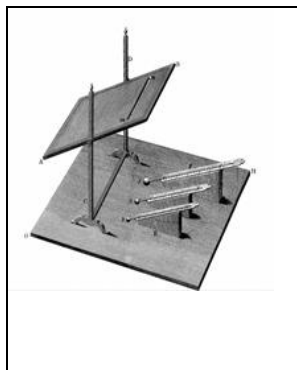
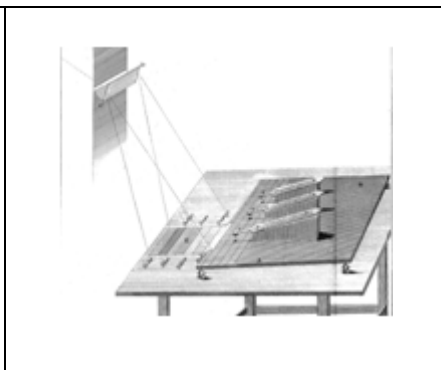
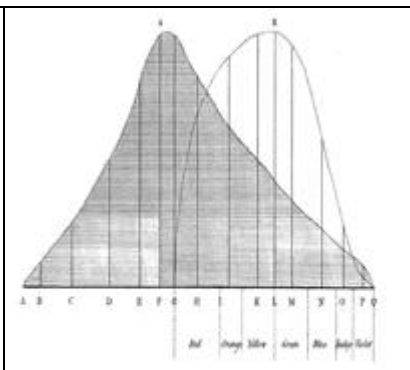
Novamente recorrendo aos conceitos newtonianos, Herschel faz uma analogia entre calor radiante e luz, supondo o primeiro também como partículas com momentum. Herschel, supõe que pode haver partículas que não são detectáveis como luz. Ele esclarece que através de uma exposição gradual do termômetro para os raios do espectro prismático, começando a partir do violeta, chega-se ao máximo da luz, muito antes de chegar ao máximo de calor, que se encontra no outro extremo. Segundo as conclusões de Herschel, o calor radiante consistiria, ao menos em parte, se não principalmente, de luz invisível. Ou seja, calor radiante consistiria dos raios que vêm do Sol, que possuem momentum inadequado para a visão. Assim, se fosse admitido, como era na época, que os órgãos da visão são apenas adaptados para receber impressões de partículas de certo momentum, o máximo de iluminação seria no meio dos raios refrangíveis; e aqueles que saíssem deste intervalo seriam inadequados para a visão, como no caso do calor radiante. Isto gera certo “desconforto”, pois como seria luz, se seria invisível? Este “desconforto” foi motivo de críticas quando o trabalho foi publicado, como discutiremos em outro tópico.

Confirmando a existência dos raios invisíveis

Talvez o experimento mais conhecido de Herschel seja o apresentado no 2º artigo de 1800, no qual ele procura provar a hipótese que fez anteriormente, de que a extensão da refrangibilidade dos raios de calor é provavelmente mais ampla que as das cores prismáticas. Herschel (1800b) providenciou um suporte com quatro pequenas pernas, e o cobriu com papel branco. Neste, ele desenhou cinco linhas paralelas à extremidade do suporte e separadas por uma distância de meia polegada uma da outra, mas de modo que a primeira das linhas pudesse estar a apenas $\frac{1}{4}$ de uma polegada da borda. Interceptou as linhas com 3 perpendiculares, sendo a segunda a 2 polegadas e meia da primeira e a terceira a 4 polegadas da primeira.

Neste arranjo, todo o espectro, exceto o último quarto de uma polegada da cor de leitura, que servia como uma direção, passou abaixo da borda do suporte, e não podia interferir nos experimentos. Herschel escureceu a janela, na qual o prisma foi colocado, fixando uma fina cortina verde escura para manter fora tanta luz quanto conveniente (Figura 2).



		
<p>Figura 1: Aparato utilizado por Herschel para investigar o poder de aquecer e iluminar das diferentes cores prismáticas.</p>	<p>Figura 2: Aparato utilizado para investigar o aumento de temperatura ocasionado pelos raios na região além do vermelho..</p>	<p>Figura 3: Representa o espectro de calor e de luz.</p>

Ele realizou medidas do aumento de temperatura para as quatro linhas além do vermelho e também da região em que estava o violeta. Para este último caso não houve aumento considerável de temperatura, e Herschel conclui que não há raios “invisíveis” que aqueçam além do violeta. (HERSCHEL, 1800b).

Considerando que raios próximos ao violeta não possuíam poder de aquecimento, Herschel partiu diretamente para medir a variação da temperatura da região que estava além do vermelho total. Após várias medidas, Herschel conclui que: (i) há raios vindo do Sol que são menos refrangíveis do que aqueles que afetam a visão e que possuem alto poder de aquecimento e nenhum de iluminar; (ii) o máximo poder de aquecimento está entre os raios invisíveis e a menos de meio polegada além do vermelho visível (considerando a projeção utilizada). Tais conclusões, levam-no a questionar: “*se nós chamamos luz esses raios que iluminam objetos; e calor radiante esses que aquecem corpos, nós podemos investigar, se luz é essencialmente diferente de calor radiante?*” Para responder, ele pretende comparar as propriedades do calor radiante com as da luz, de acordo com a . Os experimentos já realizados permitiram-lhe concluir que um *espectro termométrico* poderia ser traçado ao longo do espectro prismático, com limites indo para além da cor vermelha (HERSCHEL, 1800b).

Mesmo com contradições, ao final do artigo, Herschel (1800d) chama a atenção para uma importante diferença: os raios de calor possuem uma refrangibilidade mais extensiva que os de luz. Para ilustrar isto, Herschel (1800d) delinea o espectro de luz e posteriormente delinea o espectro de calor, tomando como base os resultados dos experimentos obtidos em Herschel (1800a) e Herschel (1800b) (ver figura 3). Lembrando que em Herschel (1800a), ele já menciona conclusões que obteve a partir deste diagrama, sem detalhar como.

Herschel (1800d) esboça o espectro de luz, assumindo uma linha de certo comprimento, e dividindo esta linha em sete partes, de acordo com as sete cores designadas por Isaac Newton, no seu *Optics*. Associado a ele, Herschel constrói um espectro de calor de forma que é possível ver a diferença na dispersão, pelo prisma, dos raios que produzem calor e os que ocasionam luz (figura



3). Esses raios não concordam em sua refrangibilidade média, nem na situação de seu máximo: onde temos mais luz, temos pouco calor, e onde temos mais calor, não encontramos nenhuma luzⁱⁱ. Então, Herschel questiona: *Como pode efeitos que são tão opostos, serem atribuídos para a mesma causa? Que modificação podemos supor ser acrescentada ao poder de produzir calor que produzem tais resultados inconsistentes?*

Novamente, Herschel recorre às regras de raciocínio filosófico de Newton para embasar seus argumentos pois, na sua segunda regra, Newton aponta que a similaridade de efeitos permite inferir similaridade de causas. Portanto, aos mesmos efeitos naturais devemos, na medida do possível, atribuir as mesmas causas. Herschel questiona como pode efeitos tão opostos serem atribuídos à mesma causa, para argumentar acerca da diferença entre luz e calor radiante. Fica evidente aqui outra contradição no trabalho de Herschel. Inicialmente, ao conjecturar que *luz e calor radiante não são essencialmente diferentes*, Herschel (1800a) recorre a 1ª regra de raciocínio filosófico de Newton para argumentar em torno da relação entre luz e calor radiante, afirmando que não se pode admitir diferentes causas para explicar certos efeitos, se eles podem ser descritos por uma. Agora, Herschel recorre à outra regra para enfatizar a diferença entre luz e calor radiante.

Consequências e conclusões de Herschel

As conclusões a que Herschel chega após seus experimentos de transmissão e espalhamento dos raios de calor são completamente diferentes das aceitas atualmente. Herschel aceita que seria possível ter luz visível que absolutamente não esquenta, mesmo quando concentrada por lentes, e que também poderíamos ter, com a mesma refrangibilidade, raios de calor que mesmo concentrados não dão nenhuma luz.

Ao divulgar seus resultados, Herschel foi objeto de críticas positivas e negativas. As primeiras vieram principalmente daqueles que viam em seu trabalho uma possibilidade de afirmar a natureza ondulatória tanto da luz quanto do calor radiante. As críticas negativas, e incisivas, vieram de John Leslieⁱⁱⁱ (1766-1832), que ao tomar conhecimento dos dois primeiros artigos de Herschel, enviou um comunicado ao editor do *Nicholson's Journal* para que emitisse um alerta contra a autoridade de um astrônomo cuja *“autoridade na presente situação retardaria o progresso da ciência por fornecer opiniões que, estou totalmente convencido, são inaccuradas e infundadas”* (HILBERT, 1999). As críticas de Leslie eram voltadas tanto aos procedimentos experimentais de Herschel, os quais ele julgava terem levado a resultados questionáveis; quanto aos aspectos metafísicos, como a escolha por sete cores. A análise feita nos leva a concluir que apesar das limitações do trabalho de Herschel, ele contribuiu para o desenvolvimento do espectro ao levantar questões cujas respostas levaram a outras investigações. Assim, a utilização do presente episódio histórico pode ser de grande valia na inserção de conceitos de física moderna no ensino, como o caso do mapeamento de imagens usando infravermelho.

O MATERIAL PARADIDÁTICO

Para elaboração do material paradidático, fomos em busca de diversas referências que pudessem nos ajudar na transposição didática da HFC para o material a ser divulgado. Nesse



sentido, o principal referencial teórico que utilizamos foram as diretrizes apontadas por Stinner et. al. (2003) para elaborar estudos de casos históricos.

Os estudos de casos históricos podem ser apresentados sob diferentes perspectivas: i) Contexto histórico: nesta perspectiva, as ideias científicas do período são apresentadas e correlacionadas com os principais fatos científicos do período; ii) Experimentos e ideias principais: as ideias principais e o suporte empírico que é central para o estudo de caso são apresentados; iii) O estudo de caso é utilizado de forma a mostrar a confrontação de ideias, através de debates históricos; narrativas que mostrem a interdisciplinaridade envolvida no episódio histórico ou pela dramatização, com a realização de peças de teatro que apresentem os diferentes pontos de vista coexistentes (STINNER et. al., 2003).

Este trabalho se enquadra no item (ii), em que um experimento é aprofundado para estudar a constituição do espectro de luz. Desta maneira,

1) contextualizamos as atividades de William Herschel, de modo a capturar a imaginação do estudante; vinculamos a ideia central (radiação de calor) com o cotidiano do estudante. Para isso, apresentamos exemplos de situações que envolvem calor irradiado em suas vidas, bem como aplicações da radiação infravermelha em aparelhos e dispositivos utilizados atualmente, de modo que a ideia central passe a fazer sentido para ele;

2) apresentamos em detalhe um de seus experimentos e uma possibilidade de reprodução didática^{iv}, buscando que o estudante fique envolvido e compreenda as situações-problema envolvidas nas atividades experimentais;

3) trabalhamos conceitos como constituição do espectro eletromagnético, reflexão e refração da radiação infravermelha, bem como aspectos epistemológicos e metodológicos das pesquisas de Herschel;

4) por fim, destacamos as consequências de seus resultados em tecnologias atuais que envolvem radiação infravermelha - câmera infravermelha, leitor de código de barras, fotodetectores, etc.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de caso escolhido permite explorar vários assuntos do ponto de vista histórico. Porém, em consonância com os critérios da moderna historiografia da ciência, e em atenção aos aspectos educacionais envolvidos, delimitamos o episódio histórico aos dois experimentos iniciais realizados por Herschel. Estes experimentos envolvem, de maneira implícita, considerações sobre a natureza do calor, natureza da luz, o paradigma newtoniano sobre o modo de fazer ciência (regras para filosofar) e também questões metafísicas que foram objeto de contestação à época. Torna-se impossível explorar todas estas considerações. Desta maneira, enfocamos os aspectos conceituais e epistemológicos, bem como relacionamos este episódio histórico com as novas tecnologias da física aplicada, buscando alargar a perspectiva inicial da História e da Filosofia da Ciência.



Outro ponto a destacar é o fato do material paradidático conter além da discussão histórica, a reprodução didática do experimento realizado por Herschel para detectar radiação além do visível em 1800. A introdução de uma atividade manual parte do pressuposto que experimentos históricos, quando apresentados dentro de seu contexto, podem contribuir na discussão do método científico, na análise da visão empirista-indutivista predominantes nas ciências naturais e ainda estimular o professor na realização de experimentos de baixo custo. Assim, acreditamos que nosso material poderá ajudar o professor a explorar a História e Filosofia da Ciência em suas aulas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barr, S. (1960). Historical survey of the early development of the infrared spectral region. *American Journal of Physics*, 28, 42-54.
- Gil-Pérez, D.; et. al. (2001). Para uma imagem não deformada do trabalho científico. *Ciência & Educação*, 7, 2, 125-153.
- Goldberg, L. (1954). Infrared solar spectrum. Math-Hulbert Observatory, University of Michigan, Pontiac, Michigan.
- Herschel, W. (1800a). Investigation of the powers of the prismatic colours to heat and illuminate objects; with remarks, that prove the different refrangibility of radiant heat. To which is added, an inquiry into the method of viewing the sun advantageously, with telescopes of large apertures and high magnifying powers. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 90, 255-283.
- Herschel, W. (1800b). Experiments on the refrangibility of the invisible rays of the sun. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 90, 284-292.
- Herschel, W. (1800c). Experiments on the solar, and on the terrestrial rays that occasion heat; with a comparative view of the laws to which light and heat, or rather the rays which occasion them, are subject, in order to determine whether they are the same, or different. Part I. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 90, 293-326.
- Herschel, W. (1800d). Experiments on the solar, and on the terrestrial rays that occasion heat; with a comparative view of the laws to which light and heat, or rather the rays which occasion them, are subject, in order to determine whether they are the same, or different. Part II. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 90, 437-538.
- Hilbert, M. (1999). Herschel's investigation of the nature of radiant heat:: the limitations of experiment. *Annals of Science*, 56, 357 – 378.
- Hoskin, M. A. William Herschel. *In: Complete Dictionary of Scientific Biography*. Disponível em: <http://www.encyclopedia.com/topic/William_Frederick_Herschel.aspx>. [Consulta: 10/07/2012].



- Leslie, J. (1804). *Experimental inquiry into the nature and properties of heat*, London.
- Lovell, D. J. (1968). Herschel's dilemma in the interpretation of thermal radiation. *Isis*, 59,1, 46-60.
- Ring, E. F. J. (2010). Beyond human vision: the development and applications of infrared thermal imaging. *The Imaging Science Journal*, 58, DOI:10.1179/174313110X12771950995671.
- Rogalski, A. (2012). History of infrared detectors. *Opto-Electronics Review*, 20, 3, 279–308.
- Seker, H. (2012). The instructional model for using history of science. *Educational Sciences: Theory & Practice*, 12, 2, 1152-1158.
- Seroglou, F.; Koumaras, P. (2001). The contribution of the history of physics in physics education: a review. *Science&Education*, 10, 153-172.
- Stinner, A.; et. al. (2003). The renewal of case studies in science education. *Science&Education*, 12, 617-643.

ⁱ Por questões de espaço, não detalharemos todas as etapas e resultados de Herschel, o que pode ser encontrado em Oliveira e Silva (2014 - no prelo)

ⁱⁱ A construção desta figura pode ser melhor compreendida em Hilbert, 1999.

ⁱⁱⁱ John Leslie, escocês, desenvolveu investigações sobre medidas de calor, recebendo a Medalha Rumford, da Royal Society, em 1804 pelo seu trabalho *Experimental Inquiry into the Nature and Properties of Heat* (LESLIE, 1804).

^{iv} A reprodução didática do experimento de Herschel pode ser encontrada em:

http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic_classroom/classroom_activities/herschel_experiment2.html