

# INFRAVERMELHO NA SALA DE AULA

Mônica Sayuri<sup>a</sup> [monica\_sayuri@ufrj.br]

Marcos Binderly Gaspar<sup>a</sup> [mgaspar@if.ufrj.br]

<sup>a</sup> Instituto de Física - UFRJ

## RESUMO

*Verificamos, num levantamento informal entre colegas aqui do Instituto de Física da UFRJ, que são pouco conhecidos os dados históricos da descoberta da radiação infravermelha. No sentido de divulgar estes dados, refizemos, com material de baixo custo, o experimento histórico do astrônomo Herschel que revelou a existência desta radiação invisível ao olho humano. Neste experimento Herschel, motivado pelo aquecimento obtido por refração da luz solar, resolveu medir a contribuição de cada cor, na dispersão obtida por um prisma, para este aumento de temperatura, ficando muito surpreso ao descobrir que a maior contribuição estava fora da faixa visível, justamente “abaixo” do vermelho, batizado então de infravermelho. Propomos levar esta reprodução do experimento de Herschel a alunos do ensino médio, numa abordagem dentro das recomendações dos PCN-EM, esta óptica do não visível. Acreditamos também, ser possível levar o experimento, até mesmo, para os alunos da 8ª série do ensino fundamental. Propomos também um segundo experimento utilizando o fato de que os sensores de câmaras digitais e de celulares com câmara permitirem a visualização de feixes intensos de luz infravermelha como aqueles emitidos pelos controles remotos. Este segundo experimento, busca levar a esses alunos uma outra motivação para o estudo da radiação infravermelha com uso desta tecnologia atual que começa a se tornar mais acessível. Estes experimentos possuem um caráter de interdisciplinaridade com a História da Física, a Astronomia e aplicações tecnológicas. Podemos citar várias aplicações da luz infravermelha no campo astronômico como, por exemplo, as novas descobertas sobre formação estelar e planetária e no campo tecnológico a utilização desta radiação para fins medicinais, câmeras de segurança que usam infravermelho, os próprios aparelhos de controle remoto, etc.*

*Palavras chave: Herschel; infravermelho;*

## INTRODUÇÃO

O ponto de partida para este projeto foi a proposta de trabalho, da autora Mônica Sayuri, apresentada para a disciplina “Instrumentação para o Ensino de Física” em 2008/01 do Curso de Licenciatura em Física do Instituto de Física da UFRJ ministrado pela prof<sup>a</sup>. Deise Miranda Vianna. Seguindo a orientação geral da disciplina, um tema deve ser levado aos alunos com uma questão motivadora de partida e uma definição de abordagem metodológica a ser seguida. A questão proposta foi a própria pergunta do Herschel: se um feixe de luz do sol, concentrado pela refração de uma lente, produz um grande aumento de temperatura e sabendo que, também, pela refração podemos separar este feixe em diversas cores, qual a contribuição de cada cor para o aumento da temperatura?

Este trabalho foi ampliado para uma proposta mais abrangente de levar a uma sala de aula do ensino médio o estudo da radiação infravermelha. Assim, além da abordagem histórica contemplada pela reprodução do experimento de Herschel propomos um outro experimento focando o infravermelho, assim, o aluno pode relacionar a aplicação desta radiação como o seu cotidiano (no caso o controle

remoto) e também saber que existe uma outra tecnologia que é bastante utilizada atualmente e que pode ser usada para a observação desta radiação (no caso as câmeras digitais).

## INTRODUÇÃO HISTÓRICA

No século XVIII houve uma revolução intelectual na Europa, que ficou conhecida como Iluminismo. Para os iluministas a razão era a única coisa que seria capaz de esclarecer qualquer problema, possibilitando ao homem o entendimento sobre a natureza. Nessa época viveram muitos cientistas que contribuíram com idéias sobre a luz. Aqui vamos destacar a contribuição de Isaac Newton (1642-1727).

As publicações de Newton sobre óptica no período entre 1672 a 1676 foram coletadas em *Opticks*. A primeira edição de *Opticks* foi publicada em 1704, pois em 1692 um incêndio queimou todos os seus papéis, inclusive o seu trabalho sobre óptica (4, p 80 ).

O primeiro artigo escrito por Newton sobre o espectro solar foi publicado em 1672 na *Philosophical Transactions of the Royal Society*. Neste trabalho:

Newton escreveu que ele não foi o primeiro a observar as cores produzidas por um prisma [...] *A formação do espectro colorido já havia sido discutido por pelo menos quatro filósofos naturais: René Descartes em sua La Dioptrique (1637), Robert Boyle em seu livro Experiments and considerations touching colours (1664), Francesco Maria Grimaldi em Physico-mathesis de lumine (1665) e Hooke em sua Micrographia (1665). No entanto esses estudos, que eram qualitativos e sem um aprofundamento matemático e geométrico, não levaram à explicação atualmente aceita para o fenômeno* (SILVA, MARTINS, 1996).

O primeiro pensamento que ocorreu a todos nessa época (incluindo Newton) era que o prisma produzia as cores, ou seja, acreditavam que o prisma criava cores (que é diferente de separar as cores) .

Newton iniciou seu experimento com um prisma triangular para obter o fenômeno das cores em um quarto escuro com uma cortina com um furo para deixar uma quantidade de luz do Sol entrar para que o prisma refratasse a luz para uma parede oposta. Mas Newton observou que a mancha na parede tinha um formato alongado, ele esperava uma mancha circular (NEWTON, 1952, p.28 ). Ele pensou que as causas desse fenômeno eram a espessura do vidro do prisma ou manchas no interior do prisma, mas ele não encontrou nada que pudesse fazer esse efeito.

No Experimentum Crucis de Newton, a luz atravessou dois prismas. O primeiro foi usado para reproduzir o efeito das cores e o segundo para estudar o desvio de cada cor. Ele observou que o segundo prisma não modificava a cor e também observou que as cores sofriam deflexões diferentes. A luz vermelha sofria o menor desvio e a luz azul o maior. A explicação dele foi que cada cor foi separada das outras pelo prisma devido à refrangibilidades diferentes. Nesta explicação, foi abandonada a idéia que o prisma “criava” cores e entendido o formato alongado da mancha.

“[...] a verdadeira causa do comprimento da Imagem foi detectada não ser outra, senão que a Luz consiste em Raios diferentemente refrangíveis que, sem qualquer diferença em suas incidências, foram transmitidos em direção a diferentes partes da parede, de acordo com seus graus de refrangibilidades”. (SILVA, MARTINS, 2003 )

Uma importante argumentação de Newton para mostrar que as cores espectrais são imutáveis:

*“[...] refratei [os raios de uma cor] com Prismas e refleti-os com corpos que na luz do Dia eram de outras cores. Interceptei-os com filmes coloridos de Ar entre duas placas de vidro comprimidas; transmiti-os através de Meios irradiados com outros tipos de Raios, e limitei-os de várias formas; e, contudo nunca pude produzir qualquer nova cor deles”.* (SILVA, MARTINS, 2003)

*“[...] qualquer corpo pode aparecer de qualquer cor. Eles não têm cor própria, mas sempre aparecem da mesma cor da luz lançada sobre eles, no entanto com a diferença que eles são mais brilhantes e vívidos na luz de suas próprias cores à luz do dia”.* (SILVA, MARTINS, 2003)

A teoria de Newton foi construída por uma complexa argumentação utilizando, além de experimentos, argumentos teóricos e epistemológicos. Newton escreveu que:

*“[...] as cores são qualidades da luz, tendo seus raios como sujeito inteiro e imediato, como podemos pensar aqueles raios como qualidades também, a menos que uma qualidade possa ser sujeito e sustentáculo de outra, o que de fato é chamá-la de substância”.* (SILVA, MARTINS, 1996).

*“[...] quem jamais pensou que alguma qualidade fosse um agregado heterogêneo, tal como se descobriu que é a Luz? Mas não é tão fácil determinar mais absolutamente o que é a luz, de que maneira é refratada e por quais modos ou ações ela produz em nossas mentes os fantasmas das cores. E não misturarei conjecturas com certezas”.* (SILVA, MARTINS, 1996).

Nessas duas argumentações, Newton descreve a diferença entre substância e qualidade. Às cores, que são qualidades, devem ser atributos de uma substância (a luz) e não de uma outra qualidade. Para Newton, as propriedades das cores e da composição da luz branca eram baseadas em experimentos e não são passíveis de dúvida. Mas para explicar as cores, que são sensações da mente, seriam necessárias hipóteses incertas.

Newton usou as deflexões das cores para sua teoria do arco-íris. A outra conclusão que ele chegou com as deflexões foi em achar (erroneamente) que as lentes dos telescópios possuíam um defeito intrínseco para a formação da imagem e por causa disso deveriam ser substituídos pelos telescópios baseados na reflexão da luz. O erro de Newton foi por causa de sua crença de que diferentes materiais transparentes refletiam cores de maneiras similares. Em *Optics*, Newton descreveu propriedades da luz nas proposições. Ele descreveu uma força entre o vidro e o raio de luz. Se realmente existisse essa tal força puxando as partículas da luz para dentro do vidro, a velocidade da luz do vidro seria naturalmente maior do que a do ar o que seria incorreto. Huygens tinha encontrado um resultado contrário ao de Newton, mas a teoria de Huygens não foi reconhecida por muito tempo, pois Newton era uma grande autoridade na época, e Huygens não teve precisão matemática para argumentar sua teoria. (GAMOW, 1963, p 94-95).

*Após a morte de Huygens e com o sucesso da mecânica de Newton, a teoria ondulatória entrou em declínio.* (da SILVA, 2007)

*Uma curiosidade em relação à época em que Huygens viveu, podemos citar seu contemporâneo e conterrâneo o pintor holandês Johannes Vermeer, que foi um gênio em capturar diferentes efeitos de luz em suas pinturas. Partindo da arte no século dourado, o XVII, na Holanda, percebemos que, paralelamente ao vigor artístico da produção de seus pintores, aconteceram avanços no estudo da luz, liderados por Christiaan Huygens. (BARBOSA, QUEIROZ e SANTIAGO, 2007)*

Neste ponto temos uma interdisciplinaridade histórica entre a Física e a Arte naquela época. Ciência e técnicas artísticas se desenvolviam. Os trabalhos do pintor Vermeer e de Christiaan Huygens se entrelaçam através de seus estudos sobre a luz.

Até agora, vimos teorias da luz que o olho humano consegue captar. Vamos ver uma curiosa descoberta sobre certa “luz invisível” feita pelo astrônomo William Herschel em 1800. Herschel fez uma série de experimentos usando as cores produzidas por um prisma e termômetros. Os trabalhos de Newton descritos anteriormente irão ajudar o entendimento sobre o experimento descrito abaixo.

Em: Experiments on the heating Power of coloured Rays, (HERSCHEL, 1800a) Herschel começou a escrever sobre a condensação da luz solar no foco de uma lente e queria verificar de que maneira os raios coloridos contribuem ao aquecimento. Para isso ele projetou sobre um anteparo o espectro solar obtido com um prisma e colocou termômetros nas diversas faixas de cores e verificou nos dados obtidos que o termômetro iluminado pela faixa vermelha mostrou um aumento de temperatura maior do que as outras cores. Não havia grande disponibilidade de termômetros na época e Herschel precisou pedir termômetros emprestado a seu amigo Dr. Wilson, professor de Astronomia em Glasgow. Herschel mediu as temperaturas associadas às cores para verificar se o aumento da temperatura ocorria em todos os termômetros e percebeu que as temperaturas aumentaram do violeta ao vermelho do espectro.

No trabalho: Experiments on the refrangibility of the invisible rays of the Sun, (HERSCHEL, 1800b) Herschel usou termômetros iguais colocados na faixa além da parte vermelha do espectro em uma região onde nenhuma luz solar fosse visível. Para sua surpresa, encontrou que esta região teve a temperatura mais alta.

Hoje, essa “luz invisível” descoberta por Herschel é conhecida como infravermelho. A faixa do espectro conhecida antigamente era somente a visível. Com o passar dos anos, a faixa espectral foi sendo ampliada com outros comprimentos de onda (ultravioleta, raios X, radio, etc.).

## **OS EXPERIMENTOS**

### **1. Objetivos:**

Montamos dois experimentos com os objetivos de detectar a radiação infravermelha, respectivamente:

- a) Com termômetros.
- b) Com uma câmara fotográfica digital

### **2. Enfoques principais:**

Enfoques histórico e experimental.

### **3. Tema da física a ser trabalhado:**

#### 4. Fenômenos a serem observados:

Verificar que:

a) A luz solar decomposta nas sete cores do arco-íris, ao ser projetada sobre os termômetros mostra variações de temperatura com um predomínio na faixa ao lado do vermelho.

b) O feixe de infravermelho de um aparelho de controle remoto pode ser detectado por uma câmera fotográfica digital, podendo mostrar o desvio do mesmo por um prisma.

#### 5. Desenvolvimento da atividade:

**Materiais:** 3 termômetros a álcool, tinta preta, prisma (foi utilizado um prisma de acrílico), placa de isopor, folha de papel milimetrado, controle remoto, máquina fotográfica digital (ou celular que tenha câmera).

**Procedimento:** Para a montagem deste experimento, seguimos as observações de Henrique Aita Fraquelli, do IF da UFRGS que traduziu o site: <http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/>

Obtivemos o nosso prisma de acrílico de base triangular de uma sobra de acrílico cortada no formato de prisma na oficina mecânica do IF da UFRJ. Este prisma foi colado com fita dupla face a um cilindro de madeira que podia girar encaixado numa grossa placa de isopor como mostrado na figura 1. Esta montagem permite facilmente girar o prisma para obtenção da melhor imagem do espectro solar projetada sobre uma bancada ou mesmo sobre o piso do local de observação. As fotografias foram feitas numa sala com as janelas abertas, para evitar alguma eventual atenuação da luz que passasse através de uma vidraça.



figura 01: Foto da montagem

Os termômetros a álcool, ao preço de R\$ 1,50 cada, foram adquiridos numa loja do tipo “tudo a R\$ 1,99”. Estes termômetros são do tipo usados para medir temperatura ambiente em residências (no formato de enfeites de parede) ver figura 2.



figura 02: Termômetro com sua moldura

Adquirimos diversos termômetros, embora apenas três tenham sido usados para medições de temperaturas. Estas medições foram feitas nas faixas do extremo azul-violeta, do verde-amarelo e do vermelho/infravermelho. Este tipo de termômetro apresenta discrepâncias até  $0,5^{\circ}\text{C}$  quando colocados juntos à temperatura ambiente. Esta foi a razão da aquisição de um número maior de termômetros permitindo a seleção de um grupo deles que apresentassem a melhor concordância na extensão da coluna de álcool para uma mesma temperatura. Os termômetros, retirados de suas molduras de enfeite, tiveram seus bulbos pintados de preto para que absorvam melhor a radiação e foram alinhados numa folha de papel milimetrado, já que o nosso interesse era apenas uma demonstração qualitativa do maior aquecimento na faixa além do vermelho.

Inicialmente os termômetros foram colocados sobre o papel milimetrado, ainda sem a projeção do espectro solar. Esta etapa serve para confirmar a intercalibração dos termômetros escolhidos.

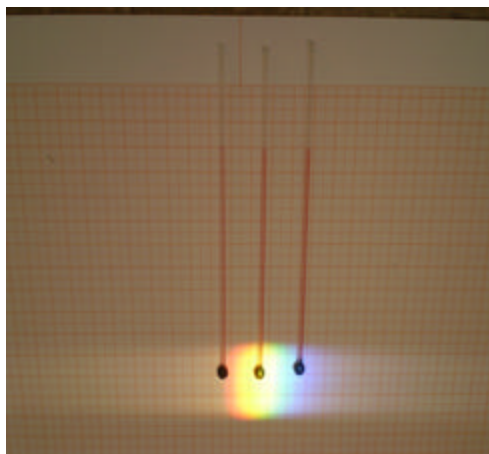


Figura 03: Alinhamento dos termômetros

Alinhamos a extremidade superior das colunas de álcool dos termômetros sobre o papel milimetrado. Em seguida, já pretendendo confirmar a verificação histórica de Herschel, um termômetro foi colocado na região não visível do espectro ao lado da cor vermelha, o bulbo do termômetro seguinte foi colocado na faixa verde-amarelo, e o outro na faixa azul-violeta figura 3. Após alguns minutos foi possível verificar a diferença nas temperaturas registradas por cada termômetro, figura 4.

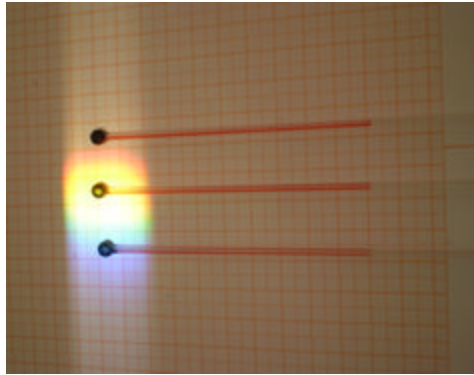


Figura 04: Registro das diferentes temperaturas

Com este resultado concluímos a primeira parte deste trabalho verificando a viabilidade e facilidade de reproduzir, ainda de maneira qualitativa, o experimento de Herschel.

Na segunda parte do trabalho, que foi realizada em uma sala pouco iluminada, nos propomos a verificar que essa “luz invisível” poderia ser visualizada através de um meio indireto disponibilizado pela tecnologia atual.

Utilizamos um controle remoto emissor de infravermelho e uma máquina fotográfica, enxergamos uma fonte luminosa no controle remoto. Isso acontece porque o filtro existente nas câmeras não atenua completamente o efeito da grande sensibilidade dos sensores para o vermelho e infravermelho de modo a corresponder à resposta do olho humano. Na figura 6 está a configuração da fonte emissora (controle remoto), do prisma e do detector (câmera). A figura 5 mostra a foto feita pelo detector quando o controle remoto foi ativado. Os pontos luminosos no prisma e no controle remoto são visualizações do infravermelho.

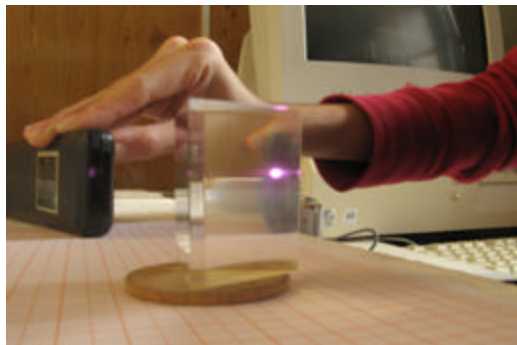


Figura 05: Desvio do infravermelho com o prisma

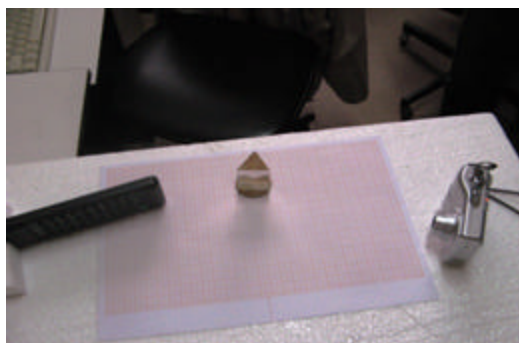


Figura 06: Vista de cima da montagem da foto anterior

## 6. Análise

Esse experimento é muito rico, já que numa apresentação em sala de aula pode-se fazer várias ramificações de temas recomendados pelos PCN-EM: desde calibração de termômetros, passando pela astronomia (rotação da Terra que rapidamente desloca o espectro projetado sobre os termômetros) e astrofísica (como o Sol emite radiação) e fazendo conexões sobre radiação no cotidiano (o por quê do uso protetor solar, por ex.)

Como recomendações para quem pretenda reproduzir este experimento, sugerimos que o mesmo seja realizado no horário próximo ao meio dia, num dia claro, ou seja, sem nuvens. Naturalmente as temperaturas iniciais marcadas pelos termômetros podem variar conforme as condições climáticas do local e/ou o horário em que for feito.

Como exemplo de aplicação em Astronomia, podemos citar a participação do interferômetro do observatório Keck no esforço da NASA para encontrar planetas, e finalmente vida, além de nosso sistema solar. Ele combinará a luz dos telescópios gêmeos de Keck para medir a emissão de radiação (predominantemente infravermelha) da poeira que orbita estrelas para detectar diretamente os mais quentes planetas gigantes gasosos, imagens de discos em torno das estrelas novas e dos outros objetos do interesse astrofísico, e levantamentos de centenas de estrelas para a busca da presença de planetas do tamanho de Urano ou maiores. (11)

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verificamos a viabilidade de trabalhar com a radiação infravermelha em dois experimentos simples e de baixo custo. Pretendemos dar continuidade a este projeto em duas vertentes que podem ser sinalizadas por duas questões motivadoras podendo ser trabalhadas ao nível de um laboratório de graduação: por quê sabendo-se que na distribuição em frequência (portanto em energia) da radiação solar o pico da intensidade estando na região do verde-amarelo, o termômetro acusa um aumento de temperatura na região vermelho-infravermelho onde a curva da distribuição fica mais baixa? Qual o comprimento de onda do feixe infravermelho usado em um aparelho de controle remoto?

Para o nível do ensino médio este experimento pode ser complementado mostrando o desvio do feixe infravermelho emitido por um aparelho de controle remoto que opere com feixe infravermelho. Neste caso a visualização pode ser



facilmente obtida com câmeras fotográficas digitais de baixo custo, atualmente facilmente encontradas no mercado, e mesmo com as câmeras integradas a telefones celulares.

#### **BIBLIOGRAFIA:**

1- SILVA, C. C.; MARTINS, R. A. **A “nova teoria sobre luz e cores” de Isaac Newton: Uma tradução comentada.** *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 18, n. 4, 1996.

2- SILVA, C. C.; MARTINS, R. A. **A teoria das cores de Newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula** *Ciência & Educação*, v. 9, n. 1, 2003

3- da SILVA, F. W.O. **A evolução da teoria ondulatória da luz e os livros didáticos** *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 29, n. 1, 2007.

4- GAMOW, GEORGE. **Biografia da Física**, Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1963.

5- a-HERSCHEL, WILLIAM. **XIII. Investigation of the power of the prismatic colours to heat and illuminate objects.** *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, p.255-283

6- b-HERSCHEL, WILLIAM. **XIV. Experiments on the refrangibility of the invisible rays of the Sun.** *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, p. 284-293

7- BARBOSA-LIMA, M.C.; QUEIROZ, G.; SANTIAGO, R. **Ciência e arte: Vermeer, Huygens e Leeuwenhoek** *Física na Escola*, v. 8, n. 2, 2007

8- NEWTON, Isaac. **Opticks**. Nova York: Dover Publications, Inc, 1952.

9- [http://www.if.ufrgs.br/~ico/fis2004/Roteiro\\_Experimento\\_Herschel.htm](http://www.if.ufrgs.br/~ico/fis2004/Roteiro_Experimento_Herschel.htm)

10- [http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic\\_classroom/timeline/time32.html](http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic_classroom/timeline/time32.html)