

CDs como lentes difrativas

(*CDs as diffractive lenses*)

Francisco Catelli¹ e Helena Libardi

¹Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, RS, Brasil

²Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil

Recebido em 14/9/2009; Aceito 13/11/2009; Publicado em 17/1/2011

Atividades didáticas que envolvem o uso de CDs como redes de difração não são novidade. A confecção de espectroscópios simples e a projeção de espectros para grandes audiências são algumas das sugestões de uso. Neste trabalho, é sugerido o uso de um retroprojetor como fonte de luz, munido de uma fenda circular. As vantagens desta montagem vão da interpretação bastante simples da figura de difração obtida ao estudo dos CDs como “lentes difrativas”. Uma variante da montagem aqui sugerida permite a medida acurada da distância entre trilhas adjacentes de um CD gravável. Os dividendos didáticos que podem ser auferidos a partir da exploração de objetos do cotidiano (neste caso, o CD) vão da aprendizagem ativa à “resolução” destes objetos como geradores de reflexão, indagação e conscientização.

Palavras-chave: difração da luz, ensino de óptica, óptica física, CD como rede de difração, fenda circular.

Didactic activities involving the use of CDs as diffraction gratings are not new. The preparation of simple portable spectrometers and the projection of spectra for large audiences are some of the suggestions for use. An overhead projector as light source, along with a circular slit, is also suggested. The advantages of this assembly are the very simple interpretation of the diffraction figure obtained. A small change in the assembly suggested here allows for accurate measure of the distance between adjacent tracks of a recordable CD. The didactic dividends can be earned from the exploitation of objects of everyday life (in this case, the CD) goes from active learning to the “resolution” of the everyday objects as generators of reflection, inquiry and awareness.

Keywords: light diffraction, teaching of optics, optical physics, CD as a diffraction grating, circular slit.

1. Introdução

O uso de demonstrações ou experimentos, principalmente nas áreas de ciências, torna as atividades de ensino - aprendizagem mais atraentes, e isto parece ser verdadeiro para estudantes de qualquer nível. E quando estas demonstrações ou experimentos envolvem objetos e (ou) dispositivos tecnológicos, o grau de significado destas atividades para os alunos cresce proporcionalmente. Este é um dos objetivos deste trabalho: além da acessibilidade e baixo custo, os dispositivos experimentais improvisados aqui empregados pertencem ao cotidiano dos estudantes, o que faz com que a física à qual eles são “apresentados” pareça algo mais próximo, mais acessível, algo “deste mundo”. Na área de óptica, tratada neste trabalho, estas qualidades estão presentes com bastante frequência, como é o caso da decomposição da luz na região do visível por meio de CDs “transmutados” em redes de difração improvisadas. Um detalhe adicional, mas não o menos importante, refere-se à beleza dos espectros obtidos: este

é seguramente um fator adicional de motivação a considerar.

A idéia de usar CDs como redes de difração já é bastante conhecida. Kettler [1], em 1991, sugeriu a medida da separação entre as trilhas de dados de um CD por meio do feixe refletido de um laser de HeNe. Além da reflexão, os CDs graváveis podem ser improvisados como redes de transmissão, conforme será descrito com mais detalhes a seguir.

Uma das aplicações didáticas mais curiosas e estimulantes é a que se refere à construção pelos próprios alunos de espectroscópios bastante simples, nos quais o CD é o elemento difrativo: Knauer [2], Catelli e Pezzini [3], Cavalcante e Tavolaro [4] são exemplos de trabalhos publicados nesta linha.

Entretanto, a aplicação didática mais marcante é sem dúvida a que envolve a projeção de espectros para largas audiências. Uma montagem especialmente eficiente consiste em colocar um anteparo opaco munido de uma fenda centralizada, de aproximadamente 20 cm de comprimento por 0,5 cm de largura, na superfície de

¹E-mail: fcatelli@ucs.br.

projeção de um retroprojektor. Após a focalização da imagem desta fenda numa tela, coloca-se uma réplica de rede de difração, logo após a lente de projeção. O efeito, numa sala escurecida, é impressionante (Sadler [6] e Burman [6]). Espectros de absorção de filtros podem ser observados simplesmente colocando-os sobre a fenda: a parte desta não coberta pelo filtro dá o espectro completo, enquanto que o espectro referente à parte coberta mostra apenas a luz que passa.

O passo seguinte é natural: porque não usar, nestes dispositivos de projeção, o CD como elemento difrator da luz? É o que faz por exemplo Cavalcante [7] e Ouseph [8]; no primeiro caso a fonte de luz é uma pequena lanterna de uso corrente, e no segundo, uma lanterna de projeção, própria de laboratórios didáticos de ensino de física. Nos parágrafos que seguem, apresentaremos uma técnica alternativa, que reúne as principais vantagens dos trabalhos referenciados acima, acrescida de uma novidade: o uso de uma fenda de projeção circular. Iniciaremos descrevendo a preparação de um CD gravável, logo após a construção da fenda e finalmente descreveremos a montagem completa, bem como alguns dos resultados obtidos.

Iniciemos com a preparação da “rede de difração”, um CD gravável, do qual foi retirada a película protetora [4, 9]. A técnica para retirá-la é simples: primeiramente recobre-se completamente a película do CD por meio de fita adesiva, fazendo pressão para que a adesão seja efetiva. A fita deve então ser retirada lentamente. Se, no início do procedimento de retirada da fita, a película protetora não sair, um pequeno corte reto de uns 2 cm, tangente à borda externa do CD, feito com faca ou estilete, resolverá o problema. Este corte deverá ser feito sobre a fita, atingindo a película protetora. CDs com a superfície de gravação clara produzem “redes de difração” melhores, já que menos luz é retida por absorção.

É possível também eliminar a película metálica de CDs comerciais por ataque químico [10]. Este procedimento nos pareceu o mais trabalhoso e inadequado do ponto de vista de seu uso em atividades didáticas, pelo risco envolvido na manipulação de agentes químicos corrosivos, e por isso não será aprofundado neste trabalho.

Além da projeção do espectro, que será detalhada a seguir, pode-se fornecer uma “rede de difração” para cada estudante; para isto, o CD pode ser cortado em “fatias”, como se fossem fatias de pizza, usando uma tesoura grande. Corte pequenas porções por vez, e use a parte das lâminas próxima ao eixo de rotação destas.

2. Fenda circular

Este é o aspecto mais importante deste trabalho: quando a rede de difração é improvisada com um CD, preparado da forma descrita acima, o uso de uma fenda circular leva a várias possibilidades de ambientes

didáticos experimentais. A fenda, de aproximadamente 5 mm de largura e diâmetro externo de 100 mm pode ser recortada com tesoura ou estilete, centralizada numa folha de papelão ou algum outro material suficientemente opaco que cubra completamente a superfície de projeção do retroprojektor. O “miolo” do corte, o disco circular resultante, deve ser preservado para a montagem da fenda sobre o retro projetor (Fig. 2). Fendas mais largas produzem espectros mais brilhantes, porém as cores projetadas não são tão “puras” [11].



Figura 1 - O CD gravável, com sua película protetora sendo retirada por meio de fita adesiva.

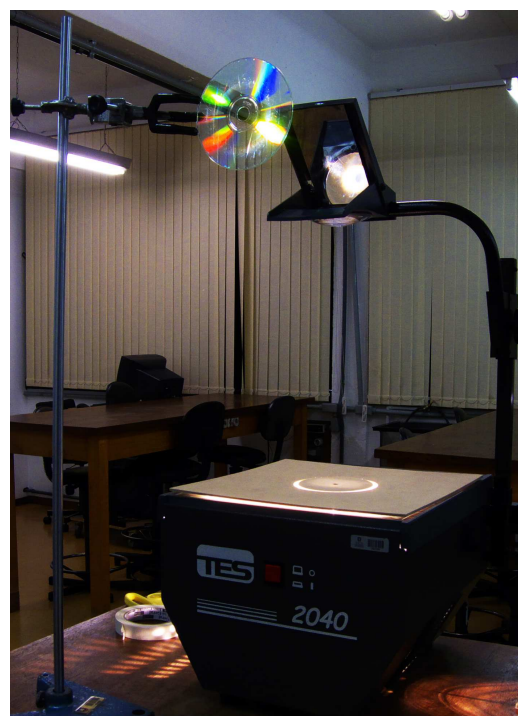


Figura 2 - Montagem para a projeção de espectros. O CD, que atua como uma rede de difração por transmissão, foi colocado na sua posição por meio de um tripé, uma haste e uma pinça, normalmente usada para prender termômetros. Note a fenda circular iluminada, bem como a posição do CD gravável, preparado como descrito no texto.

Por fim, os detalhes da montagem: a imagem desta fenda circular deve ser focalizada numa tela ou parede, a uma distância aproximada de uns dois metros do retroprojektor. A rede de difração (o CD preparado como descrito acima) é presa a algum dispositivo de fixação (haste munida de tripé e pinça usada para prender termômetros, por exemplo), e colocada logo após o espelho do retroprojektor. Esta montagem é a mesma proposta por Sadler e Burman (Refs. [6, 7]), com a diferença que, no caso deste trabalho, a rede de difração é o CD, e a fenda, circular. O anel de luz proveniente do retroprojektor deve atingir o CD da forma a mais concêntrica possível; para isso, ajuste cuidadosamente a posição deste.

O resultado é notável. O espectro, muito brilhante, apresenta um diâmetro externo de mais de 2,5 m, para uma distância do retro projetor à tela de aproximadamente 2 m. Um segundo espectro, de menor diâmetro, aparece sobreposto à imagem (máximo central) da fenda circular. Com a sala escurecida, o espectro é bastante brilhante: a audiência fica invariavelmente impressionada. (Fig. 3).

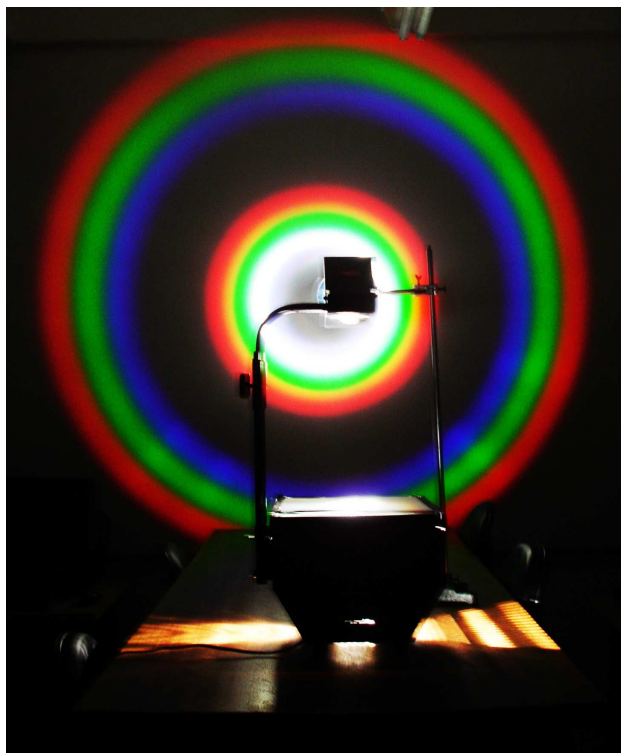


Figura 3 - A montagem com retro projetor, e os espectros obtidos. Tanto o anel colorido central quanto o anel maior, externo, são espectros de primeira ordem. A parte azul - violeta do espectro menor não aparece por estar sobreposta à imagem projetada da fenda em forma de anel. Esta última aparece muito brilhante devido ao longo tempo de exposição da foto (4 s).

2.1. Interpretação da figura de difração

Os estudantes ficam intrigados com o disco colorido menor, parcialmente sobreposto ao máximo central (ver

Fig. 3). Tanto o disco colorido menor quanto o disco colorido maior são espectros de primeira ordem originados da difração da luz que provém da fenda circular pelo CD. Isto pode ser percebido no diagrama da Fig. 4, no qual a imagem de fundo é idêntica à da Fig. 3, porém mais fraca. Imagine que apenas a parcela da luz contida no interior do pequeno retângulo pontilhado a , colocado sobre a imagem da fenda circular (Fig. 4) tenha passado pelo CD. Trace uma linha horizontal que passe por este retângulo e pelo centro da figura. Note que a região vermelha do espectro menor, R , vista sobre esta linha, está a uma distância aproximadamente igual da região vermelha equivalente, R' , porém sobre o espectro maior. Esta mesma “propriedade” vale para as outras cores: veja a região do verde, representada na vertical, na Fig. 4. Estas distâncias seriam precisamente iguais se o cone de luz que emana da fenda circular fosse um cilindro (ou seja, caso se tratasse de um feixe colimado de luz), o que não é o caso quando o retroprojektor é usado nas condições aqui descritas.

A principal vantagem de escolher uma fenda circular como fonte de luz é a exploração do CD como “lente difrativa”, conforme será descrito a seguir. Se uma tira de papel de cartolina branco for colocada a aproximadamente 15 cm do CD, entre este e a tela de projeção, pode-se ver uma mancha central de cor vermelha, circundada pelas outras cores do espectro (ver Fig. 5-a). Ao afastar lentamente a folha do CD, a mancha central vai mudando de cor (laranja, amarelo, verde, azul, violeta), enquanto que um disco colorido, de diâmetro cada vez maior, vai se formando. (Mais detalhes desta “lente difrativa” podem ser encontrados no artigo de Gluck [12]).

É fácil compreender porque a primeira cor a aparecer é o vermelho: como ele corresponde ao maior comprimento de onda da faixa visível, ele é desviado de um ângulo maior, conforme previsto pela teoria

$$m\lambda = d\sin(\theta). \quad (1)$$

Nesta expressão, m corresponde à ordem de difração ($m = 1$ para o espectro de 1^a ordem) e d é a distância entre duas trilhas adjacentes do CD, aproximadamente $1,5 \mu\text{m}$ (Refs. [2, 7] e a medida referida a seguir, neste trabalho). Então, podemos perceber que, para comprimentos de onda λ maiores, teremos ângulos de desvio θ também maiores.

A montagem proposta neste trabalho (fenda circular) propicia imagens de difração produzidas pelo CD como “lente difrativa” muito mais nítidas, visto que elas aparecem no interior não iluminado do anel de projeção. Se a fonte de luz fosse um orifício no lugar da fenda circular, as figuras geradas pela lente difrativa competiriam desfavoravelmente com o máximo central, um disco de luz branca, bastante brilhante.

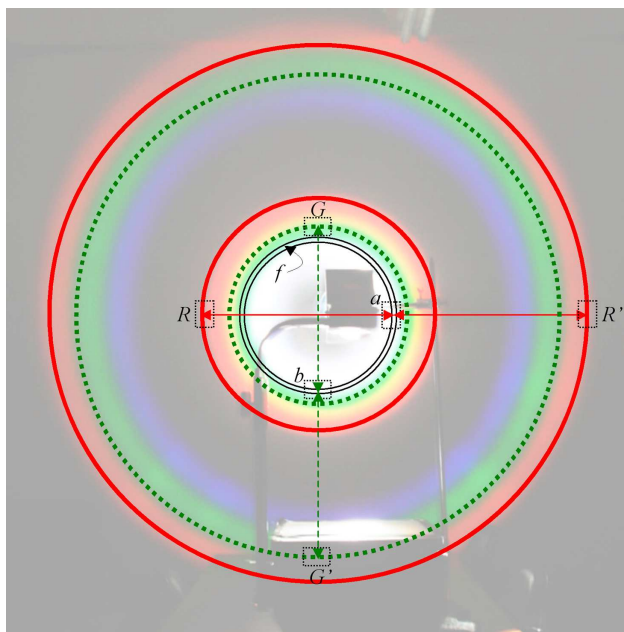


Figura 4 - A distância da região vermelha R do espectro colorido menor à parte da fenda circular no interior do retângulo pontilhado (a) é aproximadamente a mesma da região R' até (a). O mesmo vale para a região verde (e para qualquer outra cor), representada no desenho na vertical: a distância de G até b é a mesma de G' até b .

A comprovação experimental do que foi dito é imediata: ao observar imagens de difração como as da Fig. 5, experimente retirar o disco central que forma a fenda circular. Planinsick e cols [13] também propõem (como Sadler, Ref. [6] e Burmann, Ref. [7]) o uso do retroprojetor como fonte de luz; entretanto, um orifício central é utilizado para a projeção, ao invés da fenda circular aqui proposta. Por fim, cabe mencionar um artigo recente: Lunazzi e Magalhães exploram diversas possibilidades de produção de imagens por meio de CDs como lentes difrativas [14], todas diferentes das descritas aqui.

Uma pequena modificação na montagem aqui descrita pode levar à medida da “constante de rede” de um CD [15]. Substitua o anteparo com a fenda circular por outro, no qual foi executada apenas uma pequena fenda na região central, de 2 cm de comprimento por 0,5 cm de largura (estas dimensões são aproximadas: fendas mais estreitas produzirão espectros menos brilhantes). Projete esta fenda numa parede plana a uns 2 m de distância, e focalize-a. Esta projeção – o raio de luz que emana do retro projetor – deve incidir na parede perpendicularmente a esta. Para isto, coloque um espelho (ou até mesmo a superfície de um CD) sobre a parede, de modo que a imagem da fenda incida sobre ele. O feixe refletido deverá retornar sobre ele mesmo; ajuste com cuidado a posição do retro projetor para que isto ocorra. (veja a Fig. 6 e também o esquema da Fig. 7).

Uma vez feito o ajuste, não mova mais o retro projetor, nem o anteparo com a fenda. O último passo consiste em utilizar uma pequena área, de aproximada-

mente 1 cm x 1cm, da parte mais próxima à borda de um CD gravável. Para isto, retire uma pequena superfície da película protetora; apenas esta área será empregada para a medida da constante de rede.

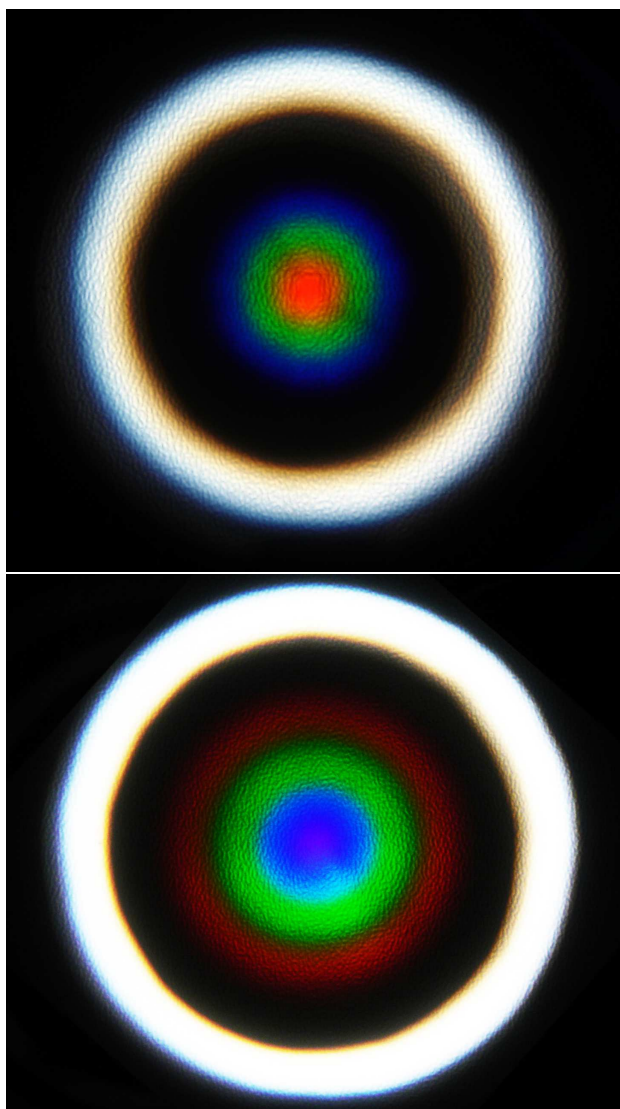


Figura 5 - Quando um anteparo é colocado entre a tela e o CD, próximo a este último, pode-se ver (A) uma região vermelha, no centro da imagem não dispersada da fenda circular. Afastando-se um pouco mais o anteparo, a imagem central, que era vermelha, torna-se azul e (B) passando por todas as cores intermediárias do espectro.

Por fim, posicione o CD da mesma forma sugerida na Fig. 1; um espectro como o da Fig. 6 aparecerá. O plano do CD deverá estar paralelo ao plano da parede ou tela de projeção. A grandeza x , na Fig. 7, é a distância do máximo central à região amarela do espectro. Foi tomado um valor de $0,59 \mu\text{m}$ para o comprimento de onda λ do amarelo. As grandezas x e y podem ser facilmente medidas com uma trena.

O ajuste da perpendicularidade do máximo central permite o uso da expressão (1). O valor obtido para a separação d entre duas trilhas contíguas de um CD de 700 Mb foi de $1,53 \pm 0,05 \mu\text{m}$, consistente com os va-

lores referidos na literatura. Uma curiosidade: os CDs graváveis mais antigos, com capacidade igual a 650 Mb, apresentam uma separação entre trilhas ligeiramente maior ($1,61 \pm 0,05 \mu\text{m}$, nas medidas por nós realizadas). Esta diferença pode ser detectada facilmente por meio do procedimento de medida aqui descrito. Se desejado, pode-se calcular o poder de resolução desta rede, como sugerido por Knauer [3].

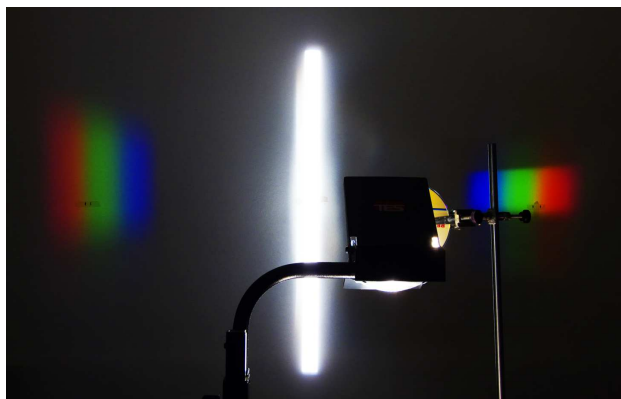


Figura 6 - Montagem com fenda linear, com vistas à medida da “constante de rede” do CD. Apenas uma área de 1 cm x 1 cm do CD foi preparada para permitir a transmissão da luz, e é ela que é responsável pelo espectro que aparece na foto. O fato de as trilhas do CD serem curvas faz com que o máximo de primeira ordem da esquerda tenha dimensão vertical maior que o da direita.

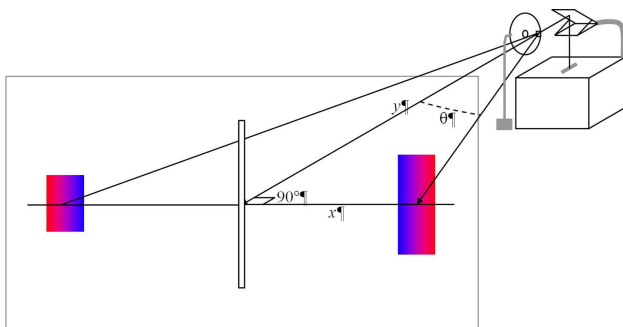


Figura 7 - Diagrama auxiliar para a medida da constante de rede d de um CD.

Por fim, uma experiência sensorial bastante simples pode ser proposta aos estudantes. Projete o espectro no fundo da sala, e peça aos alunos que caminhem, com um dos olhos fechado, ao mesmo tempo em que observam o CD iluminado, permitindo que a luz difratada entre diretamente na pupila. É conveniente fazer esta observação a uma distância de uns cinco metros ou mais, de modo que a luz não seja tão forte. Não há necessidade de escurecer a sala. Ao longo do movimento, as cores do arco-íris - bastante puras - vão aparecendo sucessivamente.

3. Considerações finais

Faremos a seguir algumas considerações sobre os dividendos didáticos que podem ser auferidos ao longo da

realização de uma atividade envolvendo a participação ativa dos alunos, como a que foi aqui proposta. Planinsic e cols., em artigo recente [13], exploram a possibilidade de trabalhos envolvendo aprendizagem ativa a partir dos espectros gerados pela difração da luz branca num CD. Neste artigo, a interpretação dos dois espectros circulares, um de maior e o outro de menor diâmetro é o centro da investigação colaborativa desenvolvida no ambiente da sala de aula.

O potencial de despertar a curiosidade e, em alguns casos, uma reflexão mais aprofundada, é certamente considerável, quando objetos do cotidiano (como um CD) fazem sua entrada no ambiente “oficial” da sala de aula. A reflexão dos alunos ocorre sem dúvida num nível individual, intrínseco, mas a indagação, o desafio a curiosidade são potencializados durante os momentos coletivos. A conscientização que daí pode emanar, como uma soma da experiência individual e da experiência coletiva, vivida no grupo, é sem dúvida de valor incalculável. Nesta linha, Angotti e cols. [16] elaboraram uma “[...] proposta processual que vem sendo construída via investigações e ações no ensino formal de física, que busca a mutação de equipamentos tecnológicos “resolvidos” em equipamentos geradores de reflexão, indagação e conscientização”.

As considerações feitas no parágrafo acima podem apontar para uma forma (dentre muitas) de concretização da interação com objetos tecnológicos, preconizada nos PCN [16]. O cotidiano imediato pode aparecer de forma natural (por exemplo, o espectro das lâmpadas que nos cercam) e o universo distante poderia ser evocado aqui pela via da espectroscopia.

Não exploramos aqui as extensas relações com outras disciplinas (a química, especialmente quando pensamos em espectroscopia); há aí certamente um belo trabalho por fazer. É claro que esta reflexão, indagação e conscientização referidas por Angotti, Bastos e Mion voltam-se não apenas aos aspectos tecnológicos do “objeto” aqui analisado (o CD), mas também a suas relações com outros elementos de nosso cotidiano (as diversas fontes de luz que nos cercam) e às implicações sociais de seu uso (a relação entre o espectro da luz emitida de uma lâmpada e seu consumo de energia poderia ser buscada, por exemplo). Todos estes aspectos (e outros que podem surgir neste tipo de ambiente de aprendizagem mais aberto) merecem em nossa opinião o status de “matéria de aula”. “Vejo com mais clareza e procuro entender as coisas, por que acontecem. Hoje, não fico no que vejo, mas procuro entender isso que vejo”. Esta fala de um aluno [17] sintetiza de maneira feliz este ponto de vista.

Em suma: este resgate do(s) significado(s) no cotidiano dos alunos dos conteúdos estudados, de física ou outros é urgente. “A física deve apresentar-se, portanto, como um conjunto de competências específicas que permitam perceber e lidar com os fenômenos naturais e tecnológicos, presentes tanto

no cotidiano mais imediato quanto na compreensão do universo distante, a partir de princípios, leis e modelos por ela construídos” (PCN+ Física [17, p. 2] – sublinhado nosso). Entender melhor o mundo em que vivemos talvez sintetize aquela que é uma das missões mais nobres e urgentes da escola.

Referências

- [1] J.E. Kettler, Am. J. Phys **59**, 367 (1991).
- [2] T. Knauer, Phys. Teach. **40**, 466 (2002).
- [3] F. Catelli e S. Pezzini, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **19**, 264 (2002). Também publicado na edição especial de novembro de 2004, disponível em www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica.
- [4] M.A. Cavalcante e C.R.C. Tavoraro, A Física na Escola **3**(2), 40 (2002).
- [5] P. Sadler, Phys. Teach. **29**, 423 (1991).
- [6] G.A. Burman, Phys. Teach. **29**, 470 (1991).
- [7] M.A. Cavalcante, C.R.C. Tavoraro e R. Haag, A Física na Escola **6**(1), 75 (2005).
- [8] P. Ouseph, Phys. Teach. **45**, 11 (2007).
- [9] E. Korenic, Phys. Teach. **41**, L1 (2003).
- [10] A. Byrne, Phys. Teach. **41**, 423 (2003).
- [11] Imagine que a fonte de luz (a fenda) emita apenas duas cores puras, na região do vermelho e do verde, por exemplo. Então, o espectro de difração apresentará uma “cópia” da fenda em vermelho e outra em verde. Se a fenda for excessivamente larga, haverá uma região onde as duas “cópias” aparecerão sobrepostas. Para mais detalhes, veja F. Catelli, J. Herber, J.C. Menegotto e S.L. Kessler, A Física na Escola **7**(2), 70 (2006).
- [12] P. Gluck, Phys. Teach. **40**, 467 (2002).
- [13] G. Planinsic, A. Corona and J. Slisko, The Physics Teacher **46**, 329 (2008).
- [14] J.J. Lunazzi e D.S.F. Magalhães, Revista Brasileira de Ensino de Física **31**, 2051 (2009).
- [15] A medida da constante de rede do CD pode ser feita a partir do espectro obtido na Fig. 3 e do diagrama da Fig. 4. Neste caso, é necessário levar em conta que o feixe de luz branca que atinge o CD (a luz que emana da fenda circular) não atinge perpendicularmente o CD. Seria então necessário usar a expressão $m\lambda = d(\sin\theta_1 - \sin\theta_2)$ (veja por exemplo a Ref. [1]), onde θ_1 é o ângulo resultante da difração da luz no CD e θ_2 , o ângulo correspondente à divergência do cone de luz produzido pela fenda circular ao passar pelo sistema óptico do retroprojeto. A versão apresentada no texto nos pareceu mais simples e adequada a uma primeira abordagem do assunto.
- [16] J.A.P. Angotti, F.P. de Bastos e R.A. Mion, Ciência & Educação **7**, 183 (2001), disponível em <http://www2.fc.unesp.br/cienciaeeducacao/viewissue.php?id=22>.
- [17] www.sbfisica.org.br/arquivos/PCN_FIS.pdf.