

---

# MEXENDO COM POLARÓIDES E MOSTRADORES DE CRISTAIS LÍQUIDOS (O ENSINO DA FÍSICA CONTEMPORÂNEA, TENDO COMO PANO DE FUNDO A FÍSICA DO COTIDIANO)

---

C. E. Laburú<sup>1</sup>

A. M. Simão<sup>2</sup>

A. A. Urbano<sup>3</sup>

Depto. de Física, Universidade Estadual de Londrina  
Londrina –PR

## Resumo

*Este artigo descreve o funcionamento dos mostradores de cristal monocromáticos, empregados na maioria dos displays de relógios, calculadoras, etc.*

*Procura-se entender esse funcionamento através da desmontagem de displays de aparelhos danificados e da observação dos fenômenos ópticos que se pode realizar com essa desmontagem.*

## I. Introdução

Como se pode constatar nos eventos da área de educação científica da década atual, o volume de trabalhos em física moderna e contemporânea (FMC) vem constantemente se avolumando, mostrando, com isso, uma preocupação de professores e pesquisadores com a importância do tema. No último Encontro de Pesquisadores de Ensino de Física (V EPEF) e Simpósio Nacional de Ensino de Física (XII SNEF), contam-se por volta de 11 a 30 trabalhos apresentados, respectivamente, que abordam direta ou indiretamente tópicos relacionados àqueles temas, o que representa uma quantidade expressiva de trabalhos. Nas publicações, já é possível encontrar sugestões

---

<sup>1</sup> Do grupo de ensino.

<sup>2</sup> Do grupo de termodinâmica estatística de cristais líquidos.

<sup>3</sup> Do grupo de filmes finos.

pedagógicas para o terceiro grau (ver por exemplo, Villani & Arruda; 1996; Fisher & Lichetfeldt, 1992). Para o segundo grau, encontram-se autores que vêem a necessidade de atualizar o currículo de física, propondo que se inclua conteúdos de FMC (ver por exemplo, Costa & Santos, 1995; Terrazzan, 1992) e, neste caso, o primeiro argumento poderia ser o de que simplesmente *"devem os alunos secundaristas estudar a física moderna (ou contemporânea) do século XX; antes que ela se acabe"*.<sup>4</sup>

A importância de se procurar entender os mostradores de cristal líquido LCD - liquid crystal display) é indiscutível. No nosso cotidiano, cada vez mais estamos nos deparando com relógios digitais, joguinhos de bolso (mini games), calculadoras, computadores lap-tops, rádios, etc., que empregam os mostradores de cristal líquido, e estes estão se disseminando em função dos seus reduzidos custos ao consumidor, baixo consumo de energia, leveza e principalmente a possibilidade de construção de telas muito delgadas (existem televisores com espessura de menos de 1 cm). Nos dias de hoje, existe uma feroz competição em tecnologia, na busca de solução de alguns problemas de LCD. Um dos problemas atuais desses dispositivos é encontrar maneiras de construir telas de dimensões intermediárias (como as telas de uma televisão de sala, por exemplo). A tecnologia de telas pequenas, até por volta de 10 polegadas, ou enormes, de alguns metros, parece dominada. Nessa disputa, os países asiáticos parecem ter alguma vantagem em relação aos países ocidentais.

Atualmente, a pesquisa em LCD pode ser dividida em dois grandes ramos. No primeiro, está a pesquisa com os cristais líquidos em si, sua configuração, geometria e arranjo do dispositivo, que serão empregados na fabricação do display. No outro, está a eletrônica, que controla o dispositivo. É neste último que estão os problemas para telas intermediárias, citados acima.

Esse artigo pretende fazer uma discussão sobre os LCDs monocromáticos mais comumente usados, propondo experimentos simples e de custo zero; nesse sentido, é nossa intenção complementar um trabalho anterior de introdução a esse assunto, já apresentado neste mesmo periódico (Kroin, 1985). Como se terá a oportunidade de ver no decorrer da nossa discussão, com alguns procedimentos experimentais, consegue-se motivar o estudo destes visores, possibilitando a compreensão do seu funcionamento.

Desse modo, esperamos estar contribuindo para a divulgação de um conhecimento contemporâneo que pode ser convenientemente abordado num curso de física de 2º grau, onde, apesar da tecnologia envolvida ser de ponta, o conteúdo de física fica limitado a um tratamento de física clássica. Para que os princípios envolvidos no LCD sejam compreendidos, basta que se conheça, basicamente, o funcionamento

---

<sup>4</sup> Aqui nos permitimos parafrasear uma antiga citação do sempre estimulante professor João Zanetic (IFUSP).

dos polaróides e a física relacionada com eles<sup>5</sup>. Conseqüentemente, na apresentação dos LCDs, as propriedades fenomenológicas relacionadas aos polaróides serão consideradas como conhecidas. Em Colombo & Jáen (1991) é possível entrar em contato com um número variado de experimentos fáceis que usam esses elementos. Para um primeiro contato com o conceito de polarização, podemos citar Halliday et al. (1995), enquanto um tratamento mais aprofundado pode ser visto em Crawford (1968).

Do desmonte dos LCDs de calculadoras, relógios, etc., danificados, e que seriam descartados, podemos obter polaróides de qualidade para os experimentos sugeridos nas referências anteriores. Assim sendo, fica como uma primeira contribuição deste trabalho a possibilidade da obtenção imediata de placas polaróides para realização desses experimentos.

## II. Desmontando e investigando os LCDs

Nesta seção, descreveremos o que é possível encontrar e investigar no desmonte dos LCDs dos diversos equipamentos. Os aparelhos especificamente por nós estudados foram: calculadoras (Dismac LC 8, Sharp Elsimate EL 2300), um jogo (Brickgame 16IN1 E161) e relógios de pulso (Cassio FS10, Chyman, Gillette). Estes últimos apresentam uma certa dificuldade de manipulação por serem, em geral, demasiadamente pequenos.

Ao retirar cuidadosamente os LCDs desses instrumentos, já é possível verificar que eles estão, geralmente, interligados a circuitos impressos, onde consta o chip responsável pelo funcionamento do aparelho, ligado por uma borracha comprida que apresenta regiões de propriedades condutoras. Destacado o LCD, vemos que o mesmo é formado pelas seguintes partes (ver Fig. 1): um polaróide (em alguns equipamentos o próprio plástico protetor do LCD já é o polaróide), um vidro duplo soldado, contendo o cristal líquido entre eles, um segundo polaróide e um espelho refletor acinzentado<sup>6</sup>. Muitas vezes, o segundo polaróide encontra-se aderido a este espelho, enquanto o primeiro polaróide vem unido à face externa do vidro duplo. Alguns vidros duplos podem facilmente ser separados com um estilete e dessa forma podemos verificar que entre eles há uma substância líquida transparente, que é o cristal líquido. Isto também pode ser verificado quando pressionamos levemente a superfície dos LCDs quando estão em funcionamento nos aparelhos. Com os vidros separados ou não, podemos presenciar figuras semitransparentes em suas superfícies. Estas figuras são circuitos elétricos condutores impressos através da deposição da técnica de filmes

---

<sup>5</sup> A conceitualização da polarização das ondas eletromagnéticas, necessariamente envolvida com a explicação dos polaróides, é uma motivação, inclusive, para elucidar a padronização das aparentemente “esquisitas” formas das antenas de TV que ficam sobre os telhados das casas.

<sup>6</sup> Em alguns joguinhos esse aparelho tem partes pintadas coloridas.

finos (ver uma discussão introdutória sobre o assunto no anexo). Estes circuitos, quando acionados eletricamente, formam os elementos alfanuméricos que são por nós lidos nos mostradores.

De posse de um polaróide, que pode ser destacado do vidro, já é possível começar a realizar algumas observações e prestar atenção a certos fenômenos.

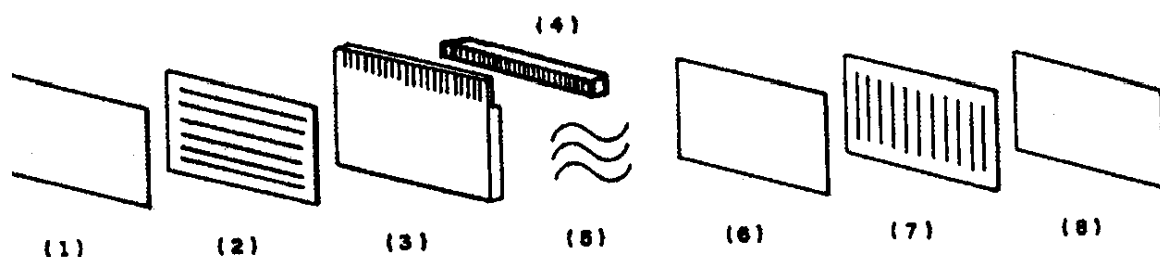


Fig. 1 – Esquema das partes que formam um LCD: Capa protetora (1), Polaróides (2 e 7), Vidros com circuito elétrico (3 e 6), Borracha condutora (4), Cristal líquido (5), Espelho (8).

Inicialmente, olhemos para o mostrador LCD dos aparelhos através do polaróide solto. Ao realizarmos uma rotação de até 90 graus no polaróide, podemos observar que a intensidade da luz refletida pelos visores dos aparelhos de LCD é anulada (Lei de Malus), logo, a luz que se vê nos mostradores é polarizada. Ao se preservar a ordem de desmontagem, procurando manter a orientação original dos polaróides do LCD e, neste caso, sem separar os vidros, ou mesmo, mantendo o LCD unido, mas destacando do último vidro somente uma parte do espelho refletor que se encontra colado ao último polaróide, podemos fazer uma importante constatação para o entendimento do funcionamento do LCD. Ou seja, olhemos através de um polaróide extra, retirado de um outro instrumento, os polaróides do LCD, isoladamente (não esquecer que é muito importante manter a orientação original de montagem). Com o refletor parcialmente destacado, devemos observá-lo obliquamente, de tal forma que consigamos ver os dois polaróides, independentemente um do outro, através do nosso polaróide extra. O que se consegue verificar é que, para uma determinada posição de rotação do nosso polaróide extra, um dos polaróides do LCD fica escuro e, conforme se vai girando, há alternância na luminosidade entre um e outro. Portanto, conclui-se que os polaróides do LCD são originalmente instalados de forma cruzada<sup>7</sup>. Uma outra maneira de observar isso é quebrar uma parte do segundo vidro de um LCD, de tal forma que escorram, ou mesmo se limpe, o cristal líquido do vidro que se contrapunha à

<sup>7</sup> Polaróides cruzados significa, tecnicamente, que eles estão dispostos um em frente ao outro, de tal forma que a sua orientação relativa torne a intensidade da luz reduzida ao mínimo possível ou, para o caso ideal, não passe nenhuma luz.

parte quebrada<sup>8</sup>. Ao visualizar através do nosso terceiro polaróide, numa orientação conveniente, presenciamos que, na parte onde o cristal líquido não foi alterado, continua a haver passagem de luz pelo LCD, enquanto que na parte danificada, há um escurecimento, pois os polaróides encontram-se cruzados, como vimos. Isso nos conduz à seguinte questão: por que se vê a luz refletida, portanto, o acinzentado do refletor, se os polaróides estão cruzados quando a luz passa pelo cristal líquido? Que papel tem essa substância nesse fenômeno? A resposta a essa questão, que será melhor esclarecida na próxima seção, pode ser adiantada ao supor que o cristal líquido, de alguma forma, gira o plano de polarização da luz, no caso, de aproximadamente 90 graus, a fim de que ela passe pelo segundo polarizador na vinda do exterior e o inverso aconteça na volta, ao ser refletida pelo espelho.

Apenas como curiosidade, podemos constatar, por final, mais uma interessante propriedade óptica dos cristais líquidos. Sabe-se que a luz refletida em superfícies planas é parcialmente ou totalmente polarizada, o que pode ser verificado com um polaróide. Se olharmos para uma luz deste tipo através de um polaróide e de um sanduíche de cristal líquido<sup>9</sup>, segurando este último a uma certa distância do primeiro, ao girarmos vagarosamente o polaróide conseguimos observar uma mudança de cor no sanduíche. No caso de um cristal líquido de mini-game, notamos a mudança da cor verde para a cor púrpura, ao rotacionarmos de 90 graus o polaróide; vemos que, sem este último, o cristal é simplesmente transparente. Mostra-se, assim, mais uma das interessantes propriedades ópticas dessas substâncias.

### III. Introdução aos cristais líquidos

As propriedades óptico-eletrônicas dos cristais líquidos foram identificadas há mais de 20 anos por James Fergason e Ted R. Taylor (do Departamento de Física da UFSC), na Universidade Estadual de Kent, em Ohio, USA. Eles observaram que estes cristais respondiam opticamente a pequenas tensões elétricas e que poderiam ser usados como componentes alfanuméricos em dispositivos eletrônicos, iniciando, a partir daí, todo o avanço tecnológico que presenciamos hoje em dia.

Para se entender o que é um cristal líquido é fundamental que, em primeiro lugar, entendamos o que é um cristal. Para isso, vamos recorrer a uma imagem comum. Todos nós já estivemos num cinema ou teatro e notamos a maneira altamente organizada com que estão dispostas suas poltronas. Geralmente, elas estão organizadas

---

<sup>8</sup> Novamente, os visores dos relógios digitais, em geral, dificultam essa operação devido ao seu reduzido tamanho; o conveniente é trabalhar com visores de calculadoras ou mini-games, por exemplo.

<sup>9</sup> Aqui devemos retirar os polaróides dos vidros do LCD e ficar apenas com o sanduíche de cristal líquido.

formando “fileiras” tanto na direção horizontal quanto na vertical. Isto é, ficam uma ao lado da outra em linha; exatamente na frente de uma poltrona haverá sempre uma outra. Estão assim dispostas no espaço de modo muito bem organizado, periódico e simétrico. Além do mais, cada poltrona não está dirigida para uma direção qualquer. Todas elas estão voltadas para o palco porque, evidentemente, quem nelas se sentar vai querer estar olhando para ele. Os átomos ou moléculas de um cristal têm um arranjo espacial simétrico, exatamente como o conjunto de poltronas descritas acima. Além de estarem colocadas em posições periodicamente ordenadas no espaço, estão todas voltadas para a mesma direção, formando uma rede cristalina.

Imagine agora, que você queira destruir o arranjo periódico das poltronas do teatro, mas pretenda que os espectadores continuem podendo ver o espetáculo. As poltronas ficarão dispostas no teatro de maneira aleatória. Não haverá mais nenhum ordenamento espacial. Na frente de uma poltrona não haverá necessariamente outra, nem ao seu lado. A falta do arranjo espacial simétrico e ordenado caracteriza um líquido, pois, num líquido as moléculas não têm nenhum tipo de arranjo, umas em relação às outras. Já no caso das poltronas, para que o espetáculo possa ser visto, todas elas, ainda que desordenadas, deverão estar voltadas para o palco. É exatamente assim que pode ser imaginado um cristal líquido. Suas moléculas não possuem um arranjo espacial definido, lembrando um líquido, mas possuem uma orientação espacial comum para todas as moléculas, como nos cristais.

Usualmente, a característica da orientação espacial fixa é devida à forma geométrica dessas moléculas, que favorece esse alinhamento. Essas moléculas têm, em geral, a forma de bastões que se assemelham, em proporção, a um lápis. Imagine que você queira colocar um número muito grande de lápis numa caixa, exercendo sobre suas paredes uma forte pressão para compactá-los. Para “aliviar” a pressão, essas moléculas vão procurar alinhar-se umas paralelas às outras, não havendo nenhum compromisso em relação a sua posição média, que não formará uma rede cristalina. Em suma, esta é a representação que se tem de um cristal líquido.

A substância cristal líquido é um estado da matéria que não é tão ordenada quanto o sólido cristalino, nem tão desordenada quanto o estado líquido. Pode-se dizer que é um estado intermediário entre a fase sólida e líquida, chamado de *mesofase* ou *fase mesomórfica* (Jeu, 1980 p. 1). Essa substância pode fluir como um líquido ordinário, enquanto as suas propriedades, por exemplo, bi-refringência, mostram uma reminiscência da fase cristalina. Assim, a fase cristal líquido é caracterizada pelo fato de ter desaparecida ou fortemente reduzida a sua ordem posicional de longo alcance, enquanto mantém algum grau de ordem orientacional, apesar da agitação térmica. Usualmente, como o dissemos, as suas moléculas são compridas como bastões e conservam um alinhamento preferencial (ver Fig. 2a). A Fig. 2b mostra dois exemplos de moléculas nemáticas<sup>10</sup> usadas em mostradores e, como se pode ver, são complexas moléculas orgânicas.

---

<sup>10</sup> A palavra nemático vem do grego e quer dizer fio, bastão fino.

Agora, tentemos entender os princípios físicos envolvidos com o cristal líquido na operação dos LCDs mais comumente usados. Na orientação  $\mathbf{n}$ , da Fig. 2a, podem estar envolvidas forças externas elétricas e superficiais, pouco intensas. No primeiro caso, quando se submete o cristal líquido a um campo elétrico, as suas mo-

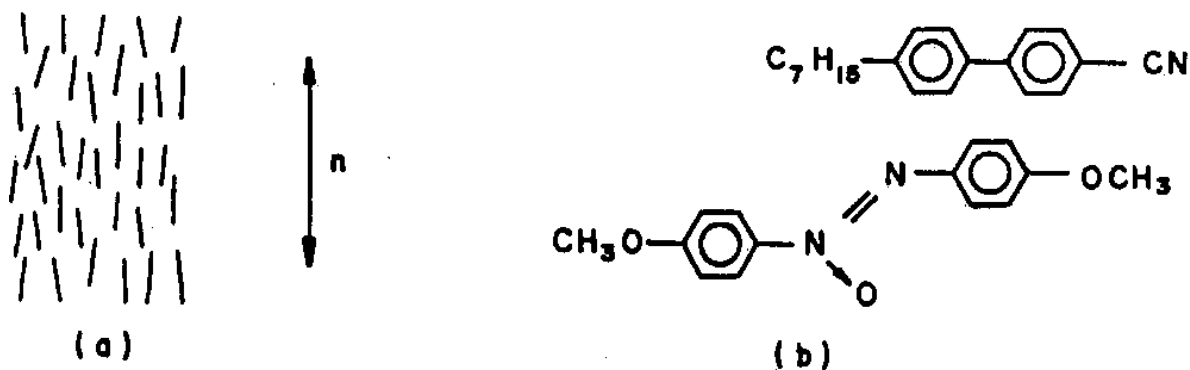


Fig. 2 – (a) Esquema representando o alinhamento parcial da fase nemática de um cristal líquido. As moléculas estão parcialmente orientadas, devido à agitação térmica, numa direção preferencial  $\mathbf{n}$ . (b) Exemplos de moléculas de cristal líquido (Jeu, 1980 p. 2)

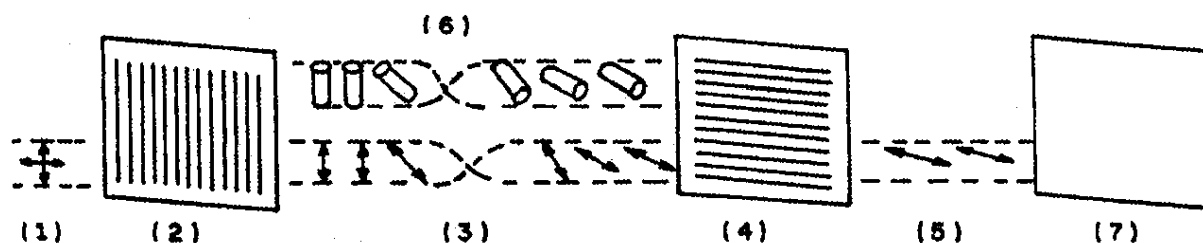
léculas se orientam, por exemplo, na direção desse campo<sup>11</sup>. Por outro lado, quando estão presentes forças superficiais de contorno, estas tencionam o conjunto de moléculas, dando-lhes uma direção preferencial. É possível proporcionar forças superficiais para a promoção de uma direção preferencial  $\mathbf{n}$ , da seguinte forma. Pega-se um pequeno vidro, semelhante a uma lâmina de microscópio, e esfrega-se várias vezes a sua superfície com um pedaço de papel de filtro branco, mantendo um sentido fixo. Em função da manipulação prévia do vidro, este fica impregnado com a gordura dos dedos. O polimento serve para criar microranhuras na gordura. Essas microranhuras na superfície do vidro estabelecem uma orientação de referência para as moléculas, obrigando-as a se alinharem na sua direção (Cladis, 1995). Se colocarmos o cristal líquido nemático entre dois desses vidros, de tal forma que estes últimos fiquem cruzados (com polimento em direções perpendiculares entre si), as suas moléculas ficarão submetidas a forças que as obrigam a torcionarem umas em relação as outras, como um tapete de borracha parcialmente torcido. Estabelecida uma distância conveniente entre os vidros, pode-se restringir a rotação das moléculas a aproximadamente 90°.

A luz ambiente, não polarizada, ao passar pelo primeiro polaróide (ver Fig. 3) fica polarizada. Em seguida, essa luz polarizada sofre uma rotação de aproximadamente 90°, em razão da passagem pelo cristal líquido; é como se o conjunto

<sup>11</sup> Essa orientação dependerá da anisotropia dielétrica da substância e, assim, poderá haver orientação perpendicular ao campo aplicado.

das moléculas submetidas à torção se comportassem como “um trilho de montanha russa” para a luz polarizada. Em razão do giro do plano da luz, esta consegue passar pelo segundo polaróide e sofre reflexão no refletor. Após ser refletida, a luz segue pelo mesmo caminho da luz incidente, saindo do polaróide, como se vê pela Fig. 3. Entende-se dessa forma, primeiramente, porque a luz vista dos LCDs, através de um polaróide externo, é polarizada.

Porém, como se pode prever, em havendo desconfiguração da forma torcionada nemática, o plano de polarização da luz deixa de ser rotacionado, mantendo o plano original de saída do primeiro polaróide. Portanto, ela é barrada pelo segundo polaróide quando aí chegar, logo, deixando de ser refletida no espelho, o que visualmente se percebe como uma escuridão. Mas, se somente em certas regiões do cristal conseguirmos, através de um campo elétrico aplicado, desconfigurar a torção, podemos deixar essas regiões escuras e produzir figuras por contraste. Como isto poderia ser possível? Aqui entra o circuito impresso através da técnica de filmes finos. Como se pode verificar, olhando obliquamente os vidros com muita atenção, vendo o reflexo da luz, há um circuito alfanumérico sobre as superfícies internas dos vidros. Como dissemos anteriormente, o cristal líquido ao ser submetido a campos elétricos (alternados ou não), gerenciados por um circuito integrado, é ativado opticamente. Isto é, as moléculas se orientam em relação ao campo. Essa orientação (vetor  $\mathbf{n}$ , na Fig. 2a) pode se dar tanto na direção do campo, como perpendicularmente a ele (ver nota 11). Conseqüentemente, ao ser ativado o campo elétrico, entre as duas placas de vidro, o agrupamento das moléculas perde a forma torcionada e se alinha em relação ao campo elétrico. Na Fig. 4, mostramos a situação de paralelismo das moléculas com o campo, situação que é a mais usual nos LCDs.



*Fig. 3 – Esquema de mostradores de cristais líquidos mais simples que empregam a configuração nemática rotacionada. A luz não polarizada do ambiente (1) entra pela esquerda no polaróide (2). Ao sair do primeiro polaróide essa luz torna-se polarizada (3). Na sua travessia pelo cristal líquido (6) ela sofre um giro de 90° (3), conseguindo, desse modo, passar pelo segundo polaróide (4) e segue mantendo esse plano (5) para o refletor (7). Ao ser aí refletida, retorna pelo mesmo caminho.*

Com as considerações acima, podemos ter uma idéia do princípio básico de operação dos LCDs e, também, interpretar alguns dos fenômenos e observações realizadas com a desmontagem dos mesmos.



A partir desta apresentação, existe a possibilidade de se propor uma questão complementar que poderia provocar uma discussão interessante com os alunos em sala de aula, ou seja, o que aconteceria com a luz, logo com o LCD, se os polaróides fossem colocados em paralelo (não cruzados), mantendo-se todas as outras condições? Como se pode ver pela Fig. 3, se o segundo polaróide estiver na direção do primeiro, a rotação do plano de polarização da luz, durante a passagem no cristal, não seria de grande vantagem, pois ela não conseguiria passar por este polaróide e ser refletida pelo visor, para seguir a sua trajetória de volta em direção aos nossos olhos. Assim sendo, o visor do LCD ficaria escuro. Porém, vejamos o que acontece quando acionamos eletricamente o cristal (ou seja, apertamos alguma tecla numérica de uma calculadora ligada, por exemplo). Neste caso, as moléculas nemáticas se orientariam em relação ao campo (ver Fig. 4) e o plano da luz não seria mais rodado. Em termos visuais, poderíamos enxergar a luz. Tal mostrador de LCD pode ser usado principalmente em aparelhos eletrônicos, como toca-fitas de carro, que precisam ter luz própria para serem vistos no escuro. Quando ligados, os símbolos alfanuméricos são os que mais se destacam no fundo escuro, o que é bem conveniente num ambiente com pouca ou nenhuma luminosidade.

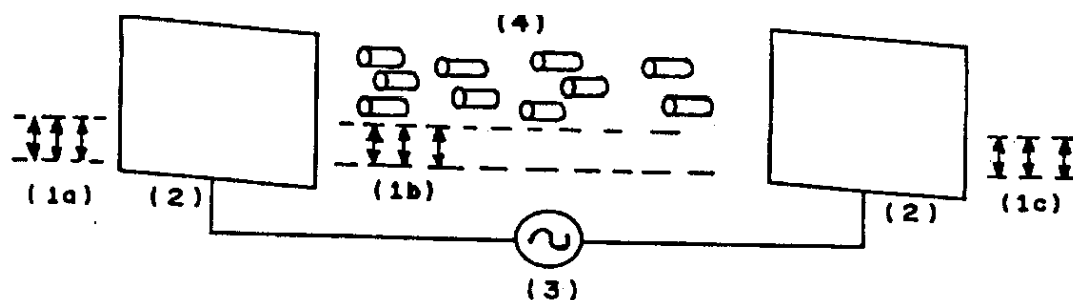


Fig. 4 -O esquema mostra que a direção da luz polarizada (1 a) (vinda do polaróide (2) da Fig.3) não sofre rotação durante a sua passagem pelo cristal líquido (1 b), pois as moléculas nemáticas (4) estão orientadas na direção do campo elétrico, devido ao acionamento do circuito impresso nas placas de vidro (2). Desse modo, a luz (1 c) vai ser bloqueada quando passar pelo polaróide (4) da Fig.3. Logo, não haverá reflexo de luz no espelho e externamente ver-se-á uma região escura. O número (3), na figura, representa o chip que gerencia os campos elétricos para formarem as figuras alfanuméricas.

#### IV. Considerações finais

Esta apresentação pretendeu contribuir para a aproximação dos professores de segundo grau em um assunto contemporâneo, que são os cristais líquidos. Com alguns conceitos de eletricidade e de polarização da luz, compatíveis com o nível secundário, vimos que é possível estudar e introduzir a tecnologia avançada dos LCDs, sem maiores formalismos. Conseqüentemente, em razão da compreensão necessária ao

assunto não mostrar dificuldades relevantes, é real a possibilidade de incorporar este conhecimento num currículo atualizado do segundo grau. Levando em consideração que um dos objetivos dos cursos de ciências na escola é o de subsidiar o aluno com a visão da ciência sobre o mundo e mostrar que dessa visão, desse entendimento, passa-se a controlá-la, transformando a natureza por meio dos artefatos tecnológicos que ao homem vão servir, a divulgação dos LCDs cumpre um papel.

Por meio da sugestão da exploração dos mostradores de cristais líquidos de aparelhos (danificados), os quais fazem parte comumente do nosso cotidiano hoje em dia, espera-se criar um ambiente motivante para que os alunos despertem o seu interesse por fenômenos ópticos que eles, por si próprios, podem começar a explorar.

Fica aqui então uma proposta de apresentação de um conhecimento atual para ser utilizado pelos professores do secundário, durante um curso de óptica ou de eletromagnetismo, que, além de acompanhar o desenvolvimento da ciência, responde a folclóricos e justificados anseios dos alunos: “*Professor, para que serve isso que eu estou estudando?*”

## V. Agradecimentos

Estamos gratos pelas sugestões dos árbitros anônimos.

## VI. Referências Bibliográficas

CLADIS, P. E. O estado de Cristal líquido de alguns materiais, ou: como funciona o mostrador de cristal líquido (LCD) do meu relógio de pulso? In: Halliday, D., Resnick, R. & Walker, J., *Fundamentos de Física. Óptica e Física Moderna*, V4, 4 edição, Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos S.A., 247-251, 1995.

COLOMBO, E. & JÁEN, M. Polarização da luz: uma proposta de experiências simples. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, V. 8, 1, 37-55, 1991.

COSTA, I. & SANTOS, M.S. How to introduce moderate topics in high school curriculum? A proposal. *Thinking Physics for teaching*. Edited by Carlo Bernadini et al.. Plenum Press, N. Y., 371-379, 1995.

CRA WFORD, F. S. Jr. Ondas. Berkeley physics course. V. 3, Espana. Editorial Reverté, S. A., 1971-1974, 635p, 1968.

FISCHLER, H. & LICHTFELDT, M. Learning quantum mechanics. In: *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies. Proceedings of an International Workshop Held at the University of Bremen*, march 4-8, 1991. Duit, R. et al. (Eds), 240-251, 1992.

HALLIDA Y, D., RESNICK, R. & W ALKER, J. *Fundamentos da física. óptica e física moderna*. V4,4ª edição, Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., 355p, 1995.

IEU, W. H. (1980). *Physical properties of liquid crystalline materials*. Gordon and Breach Science Publishers, NY., London, Paris, 133p, 1980.

KROIN, T. Cristais líquidos. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 2, 25-30, 1995.

TERRAZZAN, E. A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, V. 9, 3, 209-214, 1992.

VILLANI, A. & ARRUDA, S. M. (1996). Special theory of relativity, conceptual change and history of science. *Science & Education*, in press, 1996.

## Anexo

### Tecnologia de Filmes Finos

Filme fino é o nome dado a uma camada delgada de um material qualquer. Filmes são produzidos desde a antiguidade, quando os egípcios martelavam folhas de ouro até espessuras muito reduzidas, para fins decorativos. Atualmente, filmes finos estão presentes na nossa vida cotidiana, seja em bijuterias (“banhadas” a ouro), óculos que nos protegem de radiações nocivas (como a ultravioleta), “chips” ou circuitos integrados, “displays” óticos, etc. Os métodos de deposição evoluíram significativamente no último século, desde os métodos galvanostáticos até os de deposição a alto vácuo.

Hoje em dia, os métodos a vácuo são largamente empregados, já que estes permitem obter filmes com alto grau de pureza. Entre os métodos de deposição de filmes a vácuo destacam-se dois: “sputtering” e evaporação térmica. Estas duas técnicas permitem que se produza filmes de qualquer tipo de material, ou seja, metálicos, plásticos (polímeros), semicondutores, óxidos e outros. Filmes são “depositados” ou produzidos sobre uma infinidade de materiais, aos quais chamamos de substratos (vidros, plásticos, metais, e etc.).

Como exemplo, um filme fino de óxido de estanho ( $\text{SnO}_2$ ) possui propriedades elétricas de um condutor e propriedades óticas de um meio transparente. Estas características são fundamentais quando se deseja um material que seja condutor de eletricidade, mas transparente à luz visível, para, por exemplo, aplicações em “displays” de cristal líquido.

A técnica de “sputtering” consiste de dois eletrodos dispostos paralelamente em uma câmara de vácuo. Entre os eletrodos é aplicado uma diferença de potencial de alguns milhares de volts ( $\sim -5\text{kV}$ ), quando é injetado um gás nobre na câmara (argônio). A diferença de potencial causa a ionização do gás argônio ( $\text{Ar}^+$ ), resultando num plasma.

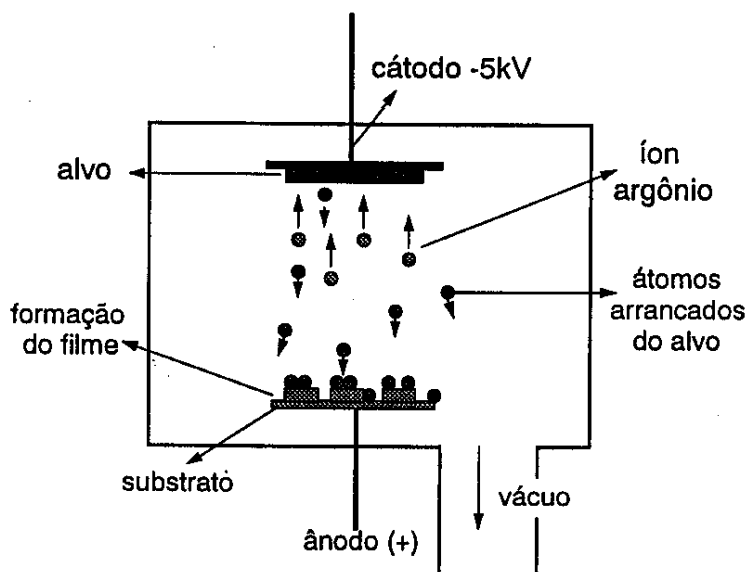
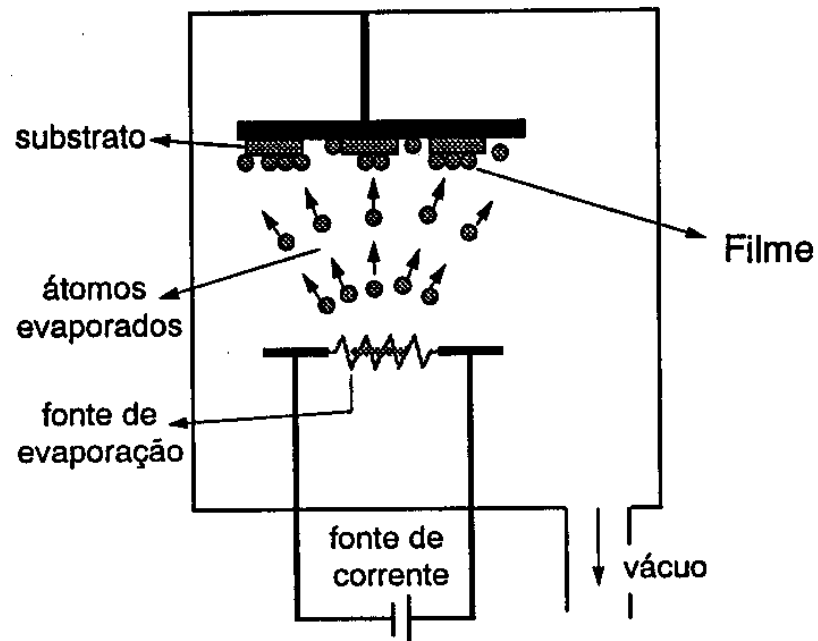


Fig. 5 -Esquema de deposição de filmes finos por "sputtering".

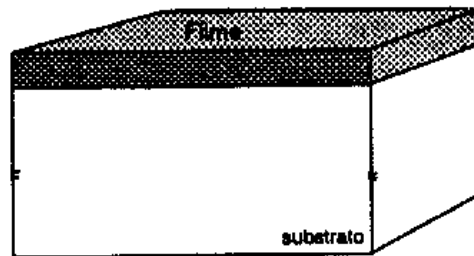
Num dos eletrodos, o cátodo ( - ), é colocado o material (alvo) que se deseja obter na forma de filme. Como o íon argônio é positivo, ele acelera em direção ao cátodo, que é negativo, com altíssimas energias (cinética), colidindo com o alvo e causando a ejeção de átomos deste material. Estes átomos, que são arrancados do alvo, vão se depositar nos "substratos" colocados sobre o outro eletrodo, ânodo. Desta maneira, um filme fino vai sendo formado. Na Fig. 5, vemos um esquema de um sistema de deposição de filmes por "sputtering".

Outro método de deposição a vácuo muito empregado hoje em dia é a evaporação térmica. Neste método, o material que se deseja obter na forma de filme é colocado em contato com uma fonte de calor, geralmente um filamento de tungstênio, que é aquecido pela passagem de altas correntes ( $\sim 300A$ ). Com o aquecimento, átomos são evaporados da fonte e onde quer que colidam, condensam e formam o filme (Fig. 6).



*Fig 6 -Esquema de deposição de filmes finos por evaporação térmica.*

Um filme nada mais é, então, do que um material numa forma bidimensional, ou seja, pode se dizer que um filme possui apenas comprimento e largura, já que sua espessura é muito reduzida ( $\sim 2000\text{\AA}$ ). A ilustração de um filme fino é mostrada na Fig. 7.



*Fig. 7- Ilustração de um filme fino sobre um substrato.*