



Receitas doces e coloridas: Demonstrações com luz polarizada

Diogo Soga

Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil
E-mail: diogosp@usp.br

Simone P. Toledo

Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil

Mikiya Muramatsu

Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil

.....
A luz é uma onda eletromagnética [1] (Fig. 1) que se propaga pelo vácuo ou por meios materiais, e é composta por um campo elétrico **E** e um campo magnético **B** que se propagam conjuntamente. A direção de oscilação de cada campo é perpendicular à direção do outro campo e ambos são perpendiculares à direção de propagação da onda. Neste trabalho estamos interessados apenas no campo elétrico. Considere o caso de uma fonte de luz que emita vários raios de luz, cujos campos elétricos oscilam em direções diferentes (Fig. 2). Quando esses raios de luz incidem no polarizador 1, apenas os campos elétricos paralelos à direção desse polarizador irão atravessá-lo. Na Fig. 2, eles estão representados pelos raios E_a , E_b^v e E_c^v . Diz-se então que a luz está polarizada. Quando os raios de luz polarizados incidem no polarizador 2, e se a direção de polarização for ortogonal à direção do polarizador 1 (figura a), nenhum raio de luz atravessará; eles serão absorvidos. Se o polarizador 2 tiver a direção de polarização paralela à do polarizador 1 (figura b), então todos os raios de luz atravessarão o polarizador 2. Logo, quando o campo elétrico de todos os raios de luz

oscilam em apenas uma direção durante a propagação da luz, é possível dizer que a luz está linearmente polarizada. A luz polarizada é um tema importante no dia a dia, pois ela está vinculada a diversos produtos tecnológicos atuais: monitores, óculos e telas de cristal líquido, cinema 3D, óculos de sol, Laser etc.

Na literatura e internet são encontrados experimentos para demonstrar efeitos da luz polarizada [2-9]. Em alguns casos são utilizados materiais que modificam a polarização da luz, como a rotação da direção de oscilação do campo elétrico, o que é uma propriedade física importante apresentada por exemplo por moléculas quirais [5]. Tal propriedade é identificada como “atividade óptica”.

Na classe de materiais de moléculas quirais, temos os açúcares (sacarose [10], glicose [11], e outros). Neste caso o campo elétrico da luz polarizada pode ser girado tanto para a direita (dextrógira) quanto para a esquerda (levógira).

Os trabalhos que utilizam açúcar de cozinha [3,5,6] não apresentam alguns detalhes importantes, o que dificulta a montagem do experimento e a apresentação dos efeitos sobre a luz polarizada. Nos trabalhos publicados não foi encon-

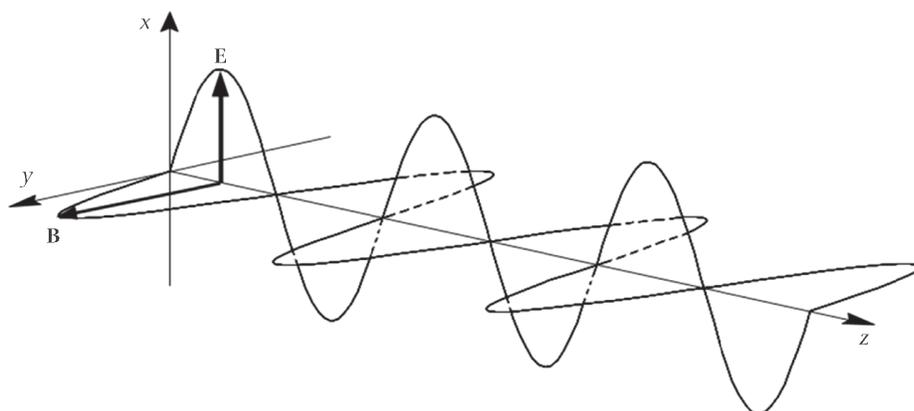


Figura 1: Uma onda eletromagnética, com o campo elétrico **E** e o campo magnético **B**.

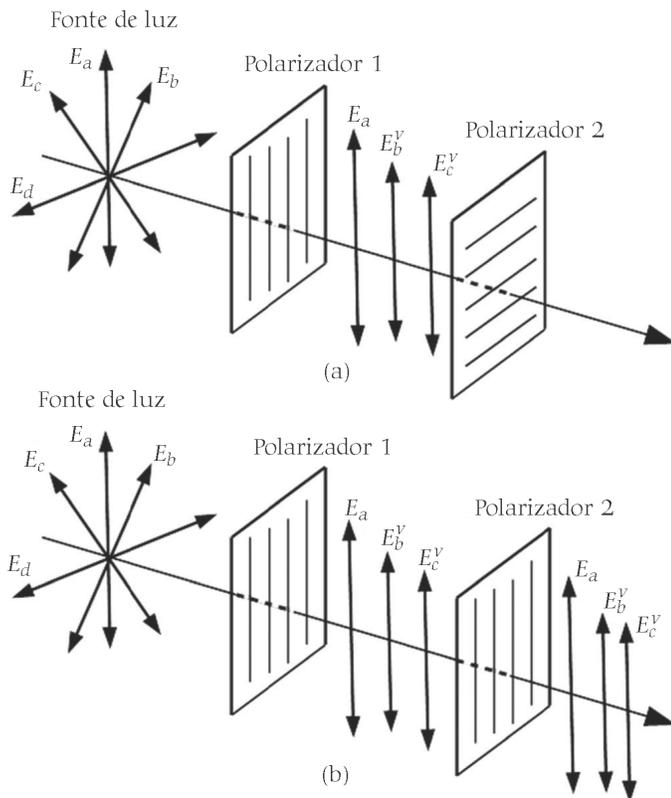


Figura 2: Polarização da luz ao atravessar polarizadores. (a) Dois polarizadores com direções ortogonais. (b) Dois polarizadores com direções paralelas.

trado o uso da glicose de milho [11,12], apenas nos vídeos [7-9].

Este trabalho apresenta algumas “receitas” para preparar demonstrações sobre luz polarizada e obter padrões coloridos nítidos, conforme poderá ser visto adiante. Estes experimentos podem ser feitos em salas de aula escuras ou outro ambiente escuro. É destacada a possibilidade do uso de um monitor de cristal líquido como fonte de luz polarizada e discutido o papel de bolhas de ar na nitidez dos padrões coloridos. Além disso, no final do artigo é proposto um experimento diferente ao estudado. Um copo, contendo água e glicose de milho, apresenta resultados diferentes entre eles.

Experimentos

O campo elétrico pode ser modificado

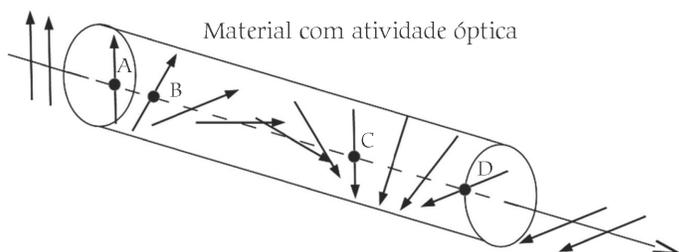


Figura 3: Material com atividade óptica. As setas indicam a direção de oscilação do campo elétrico ao atravessar o material.

ao atravessar um material com atividade óptica. No exemplo da Fig. 3, vemos que a direção de oscilação do campo elétrico (seta) muda ao atravessar um material com atividade óptica. No ponto A a direção não se altera, depois no ponto B sofre um giro, no ponto C está invertida e no ponto D a direção é totalmente diferente daquela no ponto A. Ao completar a travessia mostrada, ela girou de 270° neste exemplo. Se o comprimento do material fosse menor, por exemplo até o ponto C, após atravessar o material o campo elétrico estaria invertido.

O valor do giro do campo elétrico, devido a materiais como os quirais, é:

- a) diretamente proporcional à distância percorrida pela luz nesse meio: quanto maior for a distância maior será o giro, e quando a distância é curta não é possível visualizar facilmente o giro, como o campo no ponto A da Fig. 3;
- b) inversamente proporcional ao comprimento de onda da luz: a luz azul (de menor comprimento de onda na região do visível) terá o maior giro, enquanto a luz de cor vermelha (o maior comprimento de onda na região do visível) terá o menor giro;
- c) diretamente proporcional à atividade óptica do material: quanto maior o valor da atividade, maior será o giro. No caso de o material ser uma solução, quanto maior a

concentração do material, maior será o giro.

Considerando o caso de termos dois polarizadores cruzados (direções de polarizações ortogonais [1]), iluminados por luz branca, então não veremos nada, pois o segundo polarizador permite apenas a passagem de luz que seja ortogonal à direção de polarização do primeiro polarizador. Caso seja colocado um recipiente com uma solução de sacarose entre os polarizadores, veremos uma cor, pois a luz polarizada é girada por um ângulo que permite a passagem pelo segundo polarizador. Mas ao girar o segundo polarizador a cor muda, pois a rotação do campo elétrico da luz polarizada é dependente do comprimento de onda da luz. Para cada comprimento de onda temos um ângulo de rotação. Outro detalhe importante é que a rotação da luz também depende do caminho óptico percorrido por ela. Quanto maior o caminho percorrido na solução de sacarose, maior será a rotação da luz polarizada. Se a concentração do material mudar, o padrão de cores também mudará. Para concentrações maiores, a rotação da luz polarizada será maior.

Para preparar uma demonstração eficiente dos efeitos de giro do campo elétrico da luz polarizada, deve-se ter um recipiente transparente e longo contendo um material com alta concentração, iluminado por uma luz branca, polarizada e intensa, e um ambiente escuro.

Basicamente, os experimentos (Fig. 4)

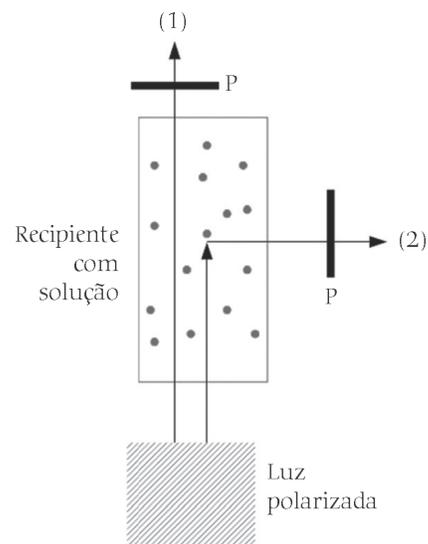


Figura 4: Esquema para a observação dos padrões de cores que são formados pela luz polarizada modificada ao atravessar a solução no recipiente, e a luz transmitida é observada através do polarizador P. (1) observação pelo topo, (2) observação pela lateral.

consistem em observar a luz transmitida através de materiais contendo açúcares em ambiente escuro. Os componentes necessários são uma fonte de luz branca polarizada, o material contido em um recipiente de vidro e um polarizador, para observar a luz que atravessa o material. A observação pode ser feita pelo topo, após a luz atravessar todo o material, ou pela lateral.

Ao observar do topo, vemos padrões com uma única cor, pois a luz percorre distâncias iguais em vários pontos, as bordas podem diferir um pouco. Ao girar lentamente o polarizador de observação, a cor muda devido a dependência com o comprimento de onda da luz. A luz polarizada gira diferentemente para cada comprimento de onda.

Ao observar pela lateral, o padrão é formado por várias cores. São faixas coloridas que variam ao longo da lateral, pois são diferentes distâncias percorridas pelos raios de luz. Ao girar lentamente o polarizador de observação, o padrão muda causando a impressão de que as faixas percorrem a lateral em um sentido. Caso a rotação do polarizador seja invertida, as faixas se movem em sentido contrário.

Neste trabalho foram utilizados: açúcar de cozinha, glicose de milho, água, copo de vidro, garrafa de vidro, dois polarizadores, lanterna de LED e monitor de cristal líquido (neste caso basta ter um polarizador).

A Iluminação

A iluminação é importante e são apresentadas duas alternativas. A primeira alternativa é usar um monitor de cristal líquido (microcomputadores ou *notebook*), pois sua luz é polarizada. Usando um programa de apresentações como o MS *Powerpoint* ou o *BR Office Impress* (ou *Open Office* ou *LibreOffice*), em modo de apresentação de uma página em branco, obtém-se uma área em branco. Aumente o brilho do monitor. Deste modo é utili-



Figura 5: Sugestão de base com lanterna LED, polarizador e pote (com um orifício na base). O polarizador está sobre a lanterna, e o pote deve ser posto sobre eles.

zando apenas um polarizador para realizar as observações. Não é possível usar a tela de *smartphones* (celulares) ou *tablets*, pois nessas telas há uma camada sensível ao toque que distorce a luz polarizada original da tela.

A segunda alternativa é utilizar uma lanterna de LED (Fig. 5) com um polarizador na frente da mesma, assim a luz será branca e polarizada. A luz emitida da lanterna passa pelo polarizador e então teremos luz branca polarizada. Nesse caso será preciso ter outro polarizador para fazer a observação.

Normalmente a fonte de luz polarizada fica sob o recipiente que contém a glicose ou a solução de sacarose. Ao utilizar a lanterna de LED com o polarizador, sugerimos também usar um pote de plástico com um orifício no fundo, para cobrir a lanterna com o polarizador, e usar esse pote invertido, que funcionará como um suporte (Fig. 6) para apoiar o recipiente com material e a luz polarizada passará pelo orifício.

Os polarizadores podem ser filtros polarizadores de câmera fotográfica ou as lentes de óculos de sol polarizadas.

Recipientes

Foram utilizados uma garrafa de vi-



Figura 6: Imagem de uma garrafa contendo glicose de milho sobre a base (um pote contendo a lanterna de LED e um polarizador).

dro (Fig. 6) com tampa e um copo de vidro (Fig. 7). Não é possível utilizar recipientes de plástico, pois esse material pode interferir no resultado do experimento. Os recipientes devem ter altura de 20 cm, o que possibilita observar tanto de cima quanto pelo lado. O importante é que haja caminho suficiente para a luz percorrer e sofrer alterações a serem observadas. O diâmetro da base não é importante.

O recipiente deve ser transparente e com a menor quantidade possível de deformações ou bolhas. O copo de vidro utilizado em nosso experimento era transparente, com altura de 12 cm e bocal de 6,5 cm. Foi usada uma garrafa de vidro com 22 cm de altura e diâmetro de 4,5 cm, com um gargalo um pouco estreito somente na parte superior.

Todos os recipientes usados devem ser limpos. A garrafa de vidro foi lavada e depois fervida em uma panela com água. Higienizar tanto a garrafa quanto a tampa (devem estar separadas), esse procedimento evita (ou retarda) o aparecimento de bolor no recipiente.

É importante testar os recipientes com a luz polarizada e o polarizador. Sem nenhum recipiente, observe a luz polarizada através do polarizador. Gire o polarizador até que fique escuro, então a direção de polarização do polarizador estará ortogonal à polarização da luz. Depois coloque o recipiente entre a fonte de luz e o polarizador. *A priori*, o resultado não deve mudar, permanecendo escuro. Caso apareça alguma cor, o recipiente não serve para a



Figura 7: Imagem de um copo de vidro contendo solução de sacarose e água na frente de um monitor de *notebook*.

demonstração, já que apresenta efeito de alguma polarização.

Açúcar e água

Soluções de sacarose são feitas com o açúcar de cozinha [1,9], que é constituído em grande parte de sacarose. A quantidade usada foi cerca de 220 g, o que equivale a cerca de 14 colheres de sopa, dissolvidas em 200 mL de água à temperatura ambiente. Como a quantidade é grande, é aconselhável colocar uma colher por vez e misturar bem até homogeneizar a solução. Caso a temperatura ambiente esteja muito baixa, a dissolução deve ser difícil. Então é aconselhável aquecer a água até uma temperatura de 20 °C. Como o volume final é maior do que os 200 mL iniciais, deve-se utilizar um recipiente maior para dissolver o açúcar de cozinha na água. Não deve haver açúcar acumulado no fundo do recipiente.

A água utilizada deve ser a mais limpa possível, para evitar o aparecimento (retardar) de bolor nos recipientes.

Glicose

A glicose de milho (conhecido comercialmente como glicose líquida) [12] é utilizada para produzir doces, sucos e sorvetes. Esse material contém uma quantidade de açúcares superior ao obtido com o açúcar de cozinha em água. Os resultados obtidos com esse material são melhores. Porém sua viscosidade alta pode dificultar a manipulação. Para encher a garrafa de vidro utilizada, usamos cerca de 230 mL de glicose, o que equivale em massa a cerca de 300 g (de um pote de 500 g).

Foram obtidos bons resultados com uma solução de glicose de milho, proporções iguais de glicose e água (por exemplo 100 mL de água e 100 mL de glicose). Proporções menores de glicose não apresentaram resultados tão bons quanto esses. É melhor usar a glicose pura.

Câmera

Caso pretenda registrar a demonstração com uma câmera digital, é preciso fazer alguns ajustes. Para registrar as imagens deste trabalho foi utilizada a câmera digital de um *smartphone*.

Para registrar do topo é preciso ajustar a opção “valor de exposição” para o menor valor (negativo) possível, enquanto na observação lateral é usado o maior valor (positivo) possível.

Ao observar do topo a quantidade de luz é grande, e então deve-se diminuir o tempo de exposição da câmera, para a imagem não ficar saturada. A observação a olho nu não apresenta nenhum proble-

ma por um intervalo de tempo curto, mas pode cansar os olhos quando observado por um intervalo de tempo longo, o qual pode variar conforme a sensibilidade de cada pessoa.

Por outro lado, quando observar pela lateral, a quantidade de luz desviada é pequena e então é preciso que o tempo de exposição para observar seja maior. É melhor observar através da câmera, pois a olho nu não temos como compensar facilmente a baixa intensidade.

Receitas

Foram obtidos bons resultados utilizando a garrafa de vidro de altura de 22 cm e quase cheia de glicose de milho (Fig. 6). Ao observar a garrafa pela lateral, sem tampa, iluminada com luz polarizada, através de um polarizador, vemos os padrões coloridos da Fig. 8. Neste caso temos um polarizador junto à lanterna, para polarizar a luz, e outro para fazer a observação. A primeira imagem é



Figura 8: Sequência de imagens de garrafa, sem tampa, com glicose de milho, iluminada por lanterna de LED com polarizador e observada com o segundo polarizador girando; exceto a primeira imagem, que está sem o polarizador. Observe a variação do espectro luminoso ao girar o polarizador.

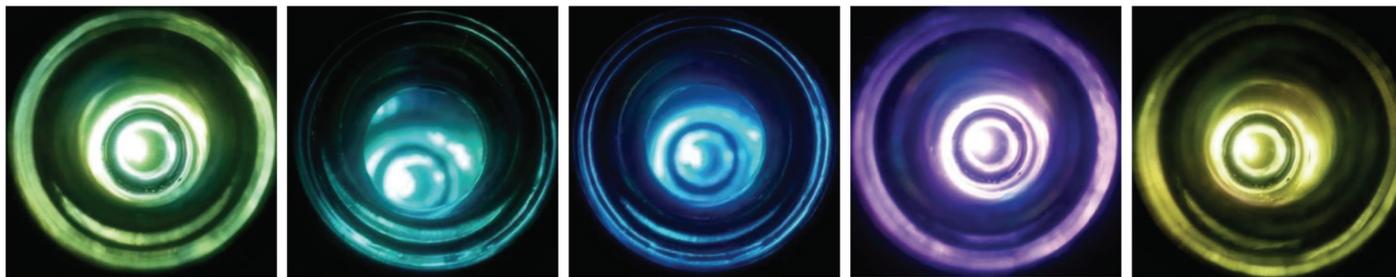


Figura 9: Sequência de imagens de solução de glicose de milho diluída observada pelo topo, em uma garrafa de vidro sem tampa.

sem o polarizador e as demais são através do segundo polarizador. Nelas aparecem padrões coloridos que são diferentes porque o polarizador foi girado lentamente, isto é, a direção de polarização da luz observada foi alterada. Observe que as cores mudam de posição ao longo do corpo da garrafa, por causa da dependência com o caminho que a luz percorre dentro do material. Na base da garrafa não são observados os padrões coloridos, porque há uma distância mínima para que o efeito do giro da polarização se torne aparente. No topo perto do gargalo o padrão torna-se tênue, pois a quantidade de luz desviada para os lados da garrafa é pequena. Observe que a segunda imagem à esquerda na primeira linha é muito parecida com a última imagem à direita na segunda linha, porque o polarizador de observação girou uma volta completa.

Usando a solução de glicose em uma garrafa de vidro, as observações foram feitas do topo (através do gargalo) e vemos padrões coloridos uniformes (vide Fig. 9), exceto pelo círculo preto que é o gargalo da garrafa, pois a luz não sai na mesma quantidade em relação ao resto da garrafa. Basicamente, estão presentes as cores verde, verde azulado (ou petróleo), azul, magenta e amarelo, e elas mudam ao girar lentamente o polarizador de observação. A cor uniforme ocorre porque os raios de

luz percorrem a mesma distância pelo corpo da garrafa, pois o giro da polarização é igual para todos os pontos. Ao diminuir a quantidade de glicose, as cores não são intensas e nem todas as cores citadas anteriormente aparecem. Tais padrões podem ser vistos na garrafa com glicose pura, mas sem as bolhas de ar.

No caso de utilizar um copo de vidro contendo a solução de sacarose, é possível fazer observações tanto do topo quanto pela lateral. Neste trabalho foram feitas observações pela lateral. Na Fig. 10 vemos uma sequência de imagens do copo, iluminado por um monitor de cristal líquido. Neste caso a vantagem é o uso de um polarizador apenas para realizar as observações. O resultado parece com o das observações feitas pelo topo da garrafa da Fig. 9. O diâmetro do copo utilizado não é uniforme, é menor na base do que no topo. Além disso, a luz que atravessa no topo ao centro do copo percorre a maior distância, produzindo nas bordas cores um pouco diferentes. Veja o segundo copo a partir da direita: a imagem apresenta a cor magenta ao centro mas é levemente amarelo nas bordas.

Também é apresentada uma garrafa cheia de glicose de milho pura (Fig. 11), iluminada por um monitor de cristal líquido pelo lado esquerdo. Para evitar acidentes, a garrafa fica deitada e com a tampa. Na frente do monitor colocamos uma

máscara de papel, para que a iluminação seja feita pela base da garrafa, isto é, há uma abertura no papel com o mesmo diâmetro da garrafa. No lado esquerdo da foto, vemos parte da máscara que obstrui a luz polarizada do monitor, exceto pelo orifício de onde a luz provém para iluminar a garrafa. O padrão observado é similar quando é iluminado pela lanterna com polarizador.

Agora discutiremos um ponto que não foi encontrado em outros trabalhos. A presença de bolhas de ar no experimento tem papel tanto benéfico quanto prejudicial, nos dois tipos de observação: pelo topo e pela lateral. Quando a observação é feita pelo topo, as bolhas prejudicam a visualização, produzindo padrões com cores misturadas e nem todas as cores são visíveis. Então, quanto menos bolhas temos no recipiente, melhores serão os resultados. As Figs. 9 e 10 não apresentam bolhas de ar no conteúdo.

Porém, quando as observações são feitas pela lateral, as bolhas de ar auxiliam a visualização, pois normalmente a luz polarizada entra por uma ponta e sai pela outra ponta do recipiente. No caso da Fig. 8, a luz entra pela base da garrafa e sai pelo topo. As bolhas desviam parte da luz para a lateral. Quanto maior a quantidade e o tamanho das bolhas, mais luz é desviada para os lados. Sem elas, pouca luz é espalhada e os

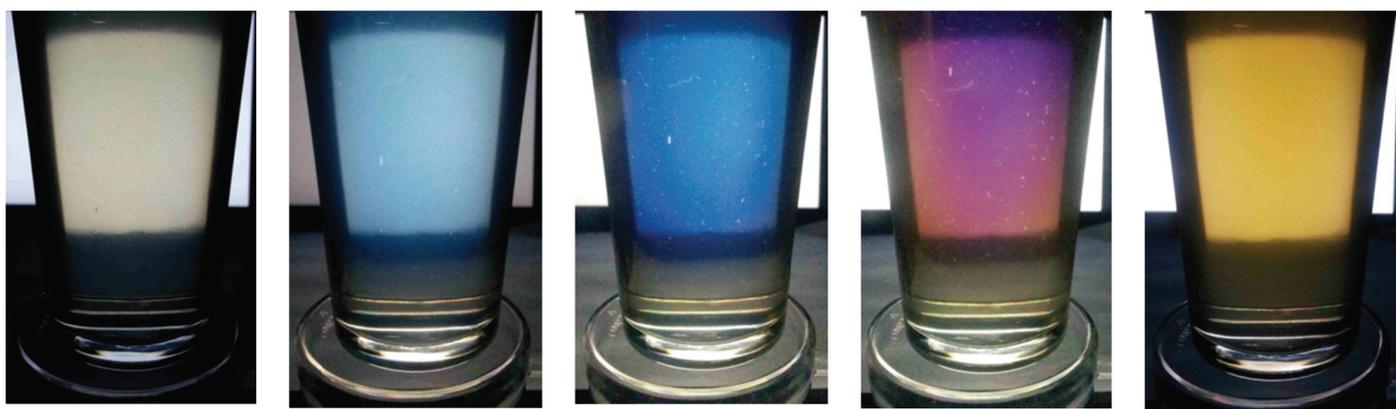


Figura 10: Sequência de imagens em sistema mais simples iluminado por monitor de cristal líquido. Um copo de vidro contendo a solução de sacarose e usando apenas um polarizador.

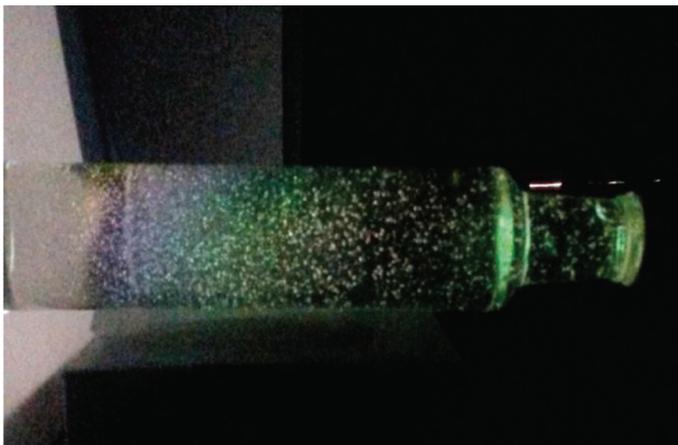


Figura 11: Imagem de garrafa deitada, contendo glicose de milho e iluminada por um monitor de cristal líquido.

padrões coloridos não são visualizados. A observação lateral permite vermos padrões coloridos ao longo do comprimento do recipiente. Na base e no topo não é possível visualizar bem, mas no meio vemos padrões de cores magníficos. Quando é utilizada a glicose de milho pura, é importante produzir muitas bolhas de ar no momento em que o recipiente é preenchido com a mesma. A glicose utilizada veio embalada em um pote de plástico e foi feita uma pequena abertura de 5 mm de diâmetro na tampa, o que produz um feixe de glicose bem fino, o qual ao verter no recipiente produziu muitas bolhas. As bolhas tendem a subir e explodir na superfície do material; após alguns dias será preciso agitar o material para produzir bolhas novamente.

Quando utilizar solução de açúcar de cozinha ou glicose diluída, é mais fácil usar a garrafa com tampa, pois basta agi-

tar rapidamente a garrafa e teremos bolhas. Nesse caso as bolhas tendem a subir mais rapidamente e explodir, não durando muito tempo.

Neste ponto propomos um experi-

mento diferente: em um copo de vidro, iluminado por um monitor de cristal líquido, uma porção da glicose pura foi colocada na parte inferior do copo, e na parte de cima foi colocada água (Fig. 12). A glicose tem densidade bem maior do que a água e então mantém-se na parte de baixo e não se mistura facilmente com água. Na primeira imagem à esquerda, sem o polarizador, vemos que é um copo com dois materiais incolores com um fundo iluminado. Na imagem seguinte, já com o polarizador, vemos que o fundo e a parte de cima ficaram escuros, mas a parte inferior está colorida. Ao girar o polarizador a cor muda, mas tanto o fundo quanto a parte de cima mudam de intensidade da iluminação, não sendo mais escuro. O que está ocorrendo?

Agradecimentos

Os autores agradecem a Cecil Chow Robilotta pela leitura crítica e sugestões deste trabalho.

Referências

- [1] E. Hecht, *Óptica* (Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 2002), 2ª ed.
- [2] E. Colombo e M. Jaén, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **8**, 280 (1991).
- [3] J.L.P. Ribeiro e M.F.S. Verdeaux, *Física na Escola* **13**,14 (2012).
- [4] E.R. de Azevedo, G.C. Faria, T.B. Batalhão, J.A. de Castro Filho, E. Santoni, J.L. Sartori e L.A.O. Nunes, *Química Nova* **33**, 1204 (2010).
- [5] O. Bagatin, E.I. Simplício, S.M.O. Santin e O. Santin Filho, *Química Nova na Escola* **21**, 34 (2005).
- [6] N. Carlin, E.M. Szanto, W.A. Seale, F.O. Jorge, E.A. Souza, I.H. Bechtold e L.R. Gasques, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **27**, 349 (2005).
- [7] <https://www.youtube.com/watch?v=jupOtMjF6W8>, acessado em 26/9/2016.
- [8] <https://www.youtube.com/watch?v=vqyuLEGrZcs>, acessado em 26/9/2016.
- [9] <https://www.youtube.com/watch?v=a4zUYVxvFnk>, acessado em 26/9/2016.
- [10] <https://pt.wikipedia.org/wiki/Sacarose>, acessado em 26/9/2016.
- [11] <https://pt.wikipedia.org/wiki/Glicose>, acessado em 26/9/2016.
- [12] https://pt.wikipedia.org/wiki/Xarope_de_milho, acessado em 26/9/2016.



(a) imagem sem o segundo polarizador. (b) o segundo polarizador cruzado com o monitor. (c) o segundo polarizador girando. (d) o segundo polarizador girando. (e) o segundo polarizador girando. (f) o segundo polarizador girando.

Figura 12: Imagens de um copo de vidro com glicose embaixo e água em cima, iluminado por um monitor de cristal líquido.