

Uma sugestão para a interação multidisciplinar: a observação do fenômeno da fluorescência⁺*

Jorge Roberto Pimentel
Depto de Física – UNESP
Rio Claro – SP

Fuad Daher Saad
Instituto de Física – USP
São Paulo – SP

Paulo Yamamura
UNIVESP
São Paulo – SP

Claudio Hiroyuki Furukawa
Instituto de Física – USP
São Paulo – SP

Vitor Helio Zumpano
Depto de Física – UNESP
Rio Claro – SP

Resumo

Abordagens multidisciplinares de eventos do cotidiano constituem valiosas ferramentas a serem utilizadas pelo professor para desencadear reflexões acerca de como a construção do conhecimento científico se faz por meio de um processo coletivo, bem como sobre a importância de que a investigação científica não fique limitada a uma determinada área do conhecimento, para a compreensão plena de quaisquer fenômenos. Neste trabalho, propomos a observa-

⁺ A suggestion for multidisciplinary: the fluorescence phenomenon observation

^{*} *Recebido: agosto de 2013.
Aceito: março de 2014.*

ção da fluorescência que se verifica em alguns materiais, objetos e seres vivos como atividade para que os estudantes sejam levados a perceber a existência de interação entre a Física, a Química e a Biologia, disciplinas geralmente não correlacionadas.

Palavras-chave: *Ensino de Física. Matéria e Radiação. Radiação Ultravioleta. Fluorescência.*

Abstract

Multidisciplinary approaches involving daily phenomena are valuable teaching tools to stimulate reflections in order to comprehend that scientific knowledge is developed in a collective process, as well as to understand the importance that scientific research cannot be done in a unique area of knowledge for the full understanding of any phenomenon. We suggest the fluorescence phenomenon observation in some materials, objects and living organisms so that students realize the interaction between Physics, Chemistry and Biology, generally regarded as not correlated disciplines.

Keywords: *Physics Teaching. Radiation and Matter. Ultraviolet Radiation. Fluorescence.*

I. Introdução

Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM)^[1] sugerem novos objetivos educacionais para o ensino no nível médio das escolas brasileiras. Dentro dessa nova concepção para o processo educacional, o aprendizado deve transcender a prática de sujeitar individualmente os alunos a materiais instrucionais e a aulas expositivas, devendo desenvolver-se numa atividade integrada de elaboração cultural que envolva a participação ativa do alunado e do coletivo educacional. Uma proposta é a de que o processo de aprendizado no nível médio de ensino seja planejado e conduzido de maneira que, ao mesmo tempo, se desenvolva com característica multidisciplinar e interdisciplinar.

Na parte que trata de ciências da natureza, matemática e suas tecnologias, os parâmetros destacam que esses objetivos envolvem tanto:

o aprofundamento dos saberes disciplinares em Biologia, Física, Química e Matemática, com procedimentos científicos pertinentes aos seus objetos de estudo, com metas formativas particulares, até mesmo com tratamento didático específico,

quanto:

a articulação interdisciplinar desses saberes, propiciada por várias circunstâncias, dentro das quais se destacam os conteúdos tecnológicos e práticos, já presentes junto a cada disciplina, mas particularmente apropriados para serem tratados desde uma perspectiva integradora.

Ao tratar da Física, os PCNEM apresentam seis temas estruturadores, subdivididos em unidades temáticas com objetivos específicos, cujo propósito é o de desenvolver nos estudantes os conhecimentos, as competências, as habilidades e as atitudes desejadas num cidadão participativo e solidário, que possa compreender e intervir no mundo atual.

Dentre as finalidades do tema estruturador “matéria e radiação” estão a de possibilitar a compreensão da constituição microscópica da matéria, bem como dos modelos atualmente existentes para explicar os efeitos provenientes das interações da matéria com a radiação eletromagnética. Neste contexto, o fenômeno da fluorescência é um assunto que apresenta características interessantes para ser explorado via uma abordagem interáreas, uma vez que sua observação pode ser feita em substâncias, objetos, minerais e seres vivos do cotidiano.

É importante que o assunto seja levado para apreciação nas reuniões de planejamento escolar com a finalidade de despertar o interesse dos professores de Biologia e de Química para que eles também o abordem em suas aulas. Dessa forma, atuará como elemento iniciador de um trabalho compartilhado (projeto coletivo), e que pode se estender a outros temas comuns, enriquecendo a formação dos estudantes e qualificando ainda mais os professores.

Ademais, a fluorescência ganhou destaque na comunidade científica com a divulgação dos ganhadores do Prêmio Nobel de Química de 2008^[2]. Três cientistas (Shimomura, Chalfie e Tsien) receberam a premiação por suas pesquisas relacionadas com a identificação da denominada proteína verde fluorescente (GFP) e de sua aplicação como marcador genético luminoso em diversos processos biológicos.

II. Dois fenômenos luminescentes: a fosforescência e a fluorescência

Determinadas substâncias emitem luz quando estimuladas por radiação eletromagnética, radiação ionizante, choques mecânicos, passagem de corrente elétrica em gases ou em decorrência de reações químicas. Esse fenômeno é denominado de luminiscência e a emissão luminosa difere daquela originada em função de variações na temperatura.

Quando a emissão luminosa persiste por algum tempo e com diminuição progressiva de intensidade, mesmo tendo cessada a excitação que a origina, a luminiscência é denominada de fosforescência. Exemplos familiares desse fenômeno ocorrem nas teclas de alguns interruptores de luz, que continuam visíveis no escuro por certo tempo, depois que se apaga a luz e em imagens religiosas e objetos de decoração que “brilham” no escuro por algum tempo, depois de terem sido iluminados.

Nas situações em que a emissão de luz termina assim que a excitação deixa de existir o fenômeno é chamado de fluorescência. Exemplos cotidianos em que a fluorescência está presente incluem a geração de luz visível pelas lâmpadas fluorescentes (compactas ou tradicionais) e as marcas de segurança existentes em alguns documentos e cédulas de dinheiro, visíveis somente quando expostos a radiação ultravioleta. A fluorescência também é utilizada no diagnóstico de lesões e alterações em tecidos biológicos, no exame de dentes e de tecidos periodontais e para acelerar algumas reações de polimerização de restaurações em consultórios dentários.

A energia da radiação incidente é um fator importante para a ocorrência da fluorescência. Radiações da região do infravermelho do espectro eletromagnético não possuem energia suficiente para gerar fluorescência visível, enquanto que a energia das radiações ultravioleta (UV) provoca tal emissão luminosa. O espectro UV abrange comprimentos de onda situados entre extremos definidos pelo violeta da luz visível (aproximadamente 400 nm) e o maior comprimento de onda dos raios X (aproximadamente 10 nm). A radiação ultravioleta é dividida em três categorias, de acordo com sua potencialidade energética, e recebe denominações específicas que correspondem aos intervalos de comprimento de onda indicados na tabela 1.

Tabela 1. Denominações da radiação ultravioleta, conforme o intervalo de comprimento de onda^[3].

Denominação	Comprimento de onda (nm)
UV A ou UV Próximo (próximo do violeta, luz negra)	315 – 400
UV B ou UV Médio	280 – 315
UV C ou UV Distante (distante do violeta, germicida)	200 – 280
UV Extremo (vácuo)	100 – 200

III. Interação da radiação com a matéria

Saber diferenciar os fenômenos luminescentes exige que se compreenda como ocorre a absorção e emissão de energia, quando a radiação interage com a matéria. Isto requer a intervenção da Mecânica Quântica, uma vez que para o entendimento de tais processos se devem conhecer os estados quânticos (e os níveis de energia correspondentes) dos espectros de emissão e de absorção, assim como das transições eletrônicas que são permitidas nos átomos e nas moléculas constituintes das substâncias.

A fluorescência e a fosforescência são processos de emissão de energia eletromagnética (fótons) que ocorrem durante a relaxação molecular, a partir de estados eletrônicos excitados. Quando uma molécula absorve energia eletromagnética (fóton), existem diferentes caminhos pelos quais ela pode retornar ao seu estado energético inicial.

Em decorrência da absorção de fótons de UV, os elétrons das moléculas de determinadas substâncias são levados a níveis energéticos superiores para, em seguida, retornarem (decaírem) aos níveis iniciais, emitindo de volta a energia que foi absorvida. Esse retorno pode ser feito diretamente entre os níveis energéticos inicial e final, ou pode envolver níveis intermediários. Essas transições eletrônicas são quase instantâneas ocorrendo em intervalos de tempo entre nanosegundos (10^{-9} s) e picosegundos (10^{-12} s). A fluorescência corresponde ao processo em que o elétron retorna do nível de excitação a que foi levado, diretamente para o nível energético em que estava inicialmente. A energia do fóton fluorescente emitido é menor do que a energia do fóton excitador e esta diferença se deve ao fato de que parte da energia é perdida em processos de conversão interna e de relaxamento vibracional.

As possíveis transições entre estados energéticos de uma molécula/átomo usualmente são representadas por intermédio de um conjunto de linhas retas, desenhadas e dispostas segundo critérios bem estabelecidos, ao qual se denomina de diagrama de Jablonski^[4]. A separação vertical entre essas linhas representa os níveis e subníveis de energia e as transições relevantes associadas aos possíveis estados energéticos que o elétron pode vir a ocupar. Na Fig. 1, temos exemplo de um desses diagramas representando o processo de fluorescência.

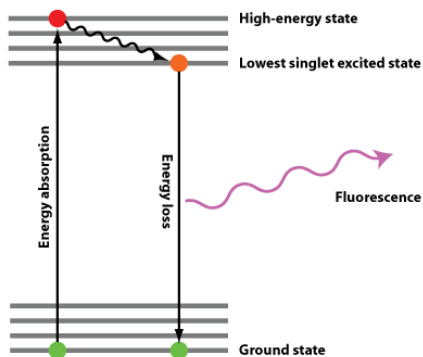


Fig. 1 – Exemplo de um diagrama de Jablonski para a fluorescência. A excitação externa (energy absorption) acrescenta energia ao elétron levando do estado fundamental (ground state) para uma condição de maior energia (high-energy state). Quase que instantaneamente o elétron tende a voltar para sua situação energética inicial, com a perda de parte de sua energia em conversão interna e relaxamento vibracional (lowest singlet excited state) para finalmente emitir a energia restante (energy loss) como um fóton de fluorescência, que tem comprimento de onda maior do que a radiação incidente.

IV. Fontes de ultravioleta

O Sol constitui nossa fonte natural de radiação ultravioleta mais importante. A radiação ultravioleta que ele emite é composta essencialmente por UV-A, UV-B e UV-C. Na superfície da Terra chega muita radiação UV-A, pouca UV-B e praticamente nenhuma UV-C. Isso se deve à existência de um “filtro” natural formado pelos gases da nossa atmosfera. A radiação UV-C é absorvida pelas moléculas

las de O_2 presentes na atmosfera as quais são “quebradas”, resultando em oxigênio atômico e possibilitando a formação de O_3 (ozônio). O ozônio nos protege dos raios UV-B e tem suas moléculas também “quebradas” quando absorve esta radiação, formando O e O_2 . Entretanto, moléculas de gases como os CFC’s (clorofluorcarbono ou freon, que era muito usado principalmente nos sistemas de refrigeração e como propelente em embalagens spray) provocam a diminuição da quantidade de ozônio nas camadas superiores da nossa atmosfera, eliminando a proteção natural contra os raios UV-B^[5]. Isto ocorre porque os átomos de cloro presentes nas moléculas de CFC são liberados sob ação excitadora do UV. Tais átomos atuam como catalizadores numa reação que destrói as moléculas de ozônio. Liberados na alta atmosfera, os átomos de cloro permanecem ali por muitos anos agindo de forma devastadora na camada de ozônio.

Embora a observação de alguns fenômenos fluorescentes e fosforescentes possa ser feita com a luz proveniente do Sol, para atividades em salas de aula é recomendável utilizar como fonte de UV determinadas lâmpadas que produzem “luz negra” (a radiação ultravioleta menos energética e de maior comprimento de onda – UV A), as quais podem ser adquiridas em lojas que comercializam produtos elétricos ou eletrônicos. Algumas dessas lâmpadas destinam-se à iluminação artística de ambientes e objetos; outras (mais compactas) são comercializadas com a finalidade de examinar a autenticidade de documentos ou de cédulas de papel moeda. Em seu interior – tal como em lâmpadas fluorescentes tradicionais – existe vapor de mercúrio que é o responsável pela emissão de UV. No entanto, elas não possuem o revestimento interno de fósforo, por meio do qual as lâmpadas fluorescentes tradicionais emitem luz branca.

Há no comércio outro tipo de lâmpada UV que é bactericida e, por essa razão, utilizada em purificadores domésticos de água. Elas emitem radiação ultravioleta muito energética (na faixa de ondas curtas – UV C) e são mais perigosas para os olhos e para a pele do que aquelas que produzem UV A. Tais lâmpadas não são recomendadas para atividades didáticas.

De acordo com as observações aqui relatadas, foi empregada uma lanterna de luz negra (Fig. 2), que é comercializada para detecção de notas falsas. Embora a intensidade da radiação emitida seja baixa, possibilita realizar as observações sugeridas e constatar os resultados descritos.



Fig.2 – Fonte de ultravioleta usada nas observações.

V. Procedimento

De início, os alunos devem ser instruídos sobre os cuidados que devem ter com a manipulação da fonte de UV antes e durante as observações que serão feitas.

Este momento propicia que se trabalhe questões de saúde, um dos temas transversais a que os PCNs fazem referência^[6]. Como exemplos, propomos discussões sobre os danos que a exposição excessiva ao Sol pode causar à pele (câncer de pele) e aos olhos (principalmente ao cristalino, uma vez que a radiação UV favorece o desenvolvimento precoce da catarata), ressaltando-se a importância do uso dos protetores solares para a pele e de óculos protetores com lentes tratadas para filtrar a radiação UV, quando as pessoas estiverem constantemente expostas ao Sol em decorrência de afazeres profissionais ou atividades de lazer.

Depois, os estudantes devem ser instruídos para examinar os materiais disponíveis (vegetais, animais e objetos variados) com auxílio da lâmpada de UV e anotar os resultados de suas observações numa planilha de coleta de dados. Na tabela 2 sugere-se um modelo para tal planilha. Além de determinar se o material é ou não fluorescente, devem ser observadas e anotadas outras informações do fe-

nômeno como, por exemplo, a cor que o objeto adquire e/ou detalhes que somente são revelados quando ele é exposto à radiação UV.

A visualização da fluorescência é intensificada se a observação ocorrer em ambiente escurecido. Uma forma de conseguir isto em aulas diurnas é empregar uma “caixa de observação” (papelão ou madeira) de dimensões adequadas para conter a lâmpada UV e o objeto a ser observado, ou então improvisar uma “tenda de observação” utilizando um tecido escuro que permita cobrir ambos.

ATENÇÃO: Evitar que a luz gerada pela fonte de UV atinja diretamente os olhos das pessoas e cuidar para que a observação não demore muito tempo.

Tabela 2. Sugestão de um modelo para a planilha de registro das observações.

OBSERVAÇÃO DA FLUORESCÊNCIA EM SERES E OBJETOS	
Aluno: _____ Data: __/__/____	
Material examinado	O que se observa

VI. Observações que podem ser feitas

VI.1a) Clorofila

É por meio da fotossíntese que plantas verdes e outros organismos fotossintetizadores (algas, microalgas e bactérias), a partir da luz, formam o ATP (adenosina trifosfato) e acumulam energia para seu metabolismo, transformando o dióxido de carbono, a água e alguns minerais em compostos orgânicos e produzindo oxigênio gasoso^[7].

A fotossíntese ocorre pela absorção de radiação eletromagnética por pigmentos fotossintéticos, principalmente as clorofilas e os carotenoides. Sob luz branca, a coloração das clorofilas é verde-azulada enquanto que os carotenoides têm cor alaranjada. Existem dois tipos de clorofilas que são denominadas clorofila **a** e clorofila **b**. Em todos os organismos clorofilados ocorre a presença da clorofila **a** que absorve luz de frequência próxima ao azul e ao violeta e exibe coloração verde/azulada. Ela possui a capacidade de converter a energia proveniente de fótons incidentes. A clorofila **b**, que possui coloração verde, não faz diretamente a

conversão de energia. Atua como um pigmento acessório, transferindo a energia proveniente do fóton para que a clorofila **a** faça essa conversão. As plantas que se desenvolvem bem na sombra possuem uma quantidade maior de clorofila **b** do que de clorofila **a**^[8].

VI.1b) Como obter a clorofila

A clorofila pode ser extraída de folhas verdes. Quaisquer plantas ou hortaliças como a rúcula, o agrião ou o espinafre, podem ser usadas. As folhas devem ser cortadas em pedaços pequenos e esmagadas num recipiente até obter uma boa quantidade de material macerado. Depois, deve-se adicionar um solvente orgânico (álcool ou acetona) em quantidade suficiente para cobrir a massa de folhas esmagadas. Em seguida, agitar cuidadosamente o recipiente para facilitar a mistura e ação do solvente e coar a mistura para separar o líquido resultante.

As medidas preventivas ao se manipular líquidos tóxicos podem ser obtidas interagindo-se com o professor de Química da escola. Entre elas incluem-se: proteger as mãos e os olhos e evitar a inalação dos produtos, cuidados esses que devem ser transmitidos aos estudantes.

ATENÇÃO: Como a obtenção da clorofila envolve a manipulação de solventes tóxicos, essa tarefa deve ser feita pelo professor.

VI.1c) Observação

O líquido obtido deve ser colocado num tubo de ensaio (ou algum recipiente transparente adequado) e fechado com uma rolha, para que possa ser manipulado sem que seu conteúdo vaze. Em seguida, deve-se incidir a radiação ultravioleta numa das faces do recipiente e observar a fluorescência que, neste caso, é percebida melhor olhando-se a 90° da direção em que se fizer incidir a iluminação.

VI.2) Tintas de canetas

Algumas tintas de cores vivas, existentes em canetas esferográficas e hidrográficas, contém pigmentos fluorescentes. Desenhos feitos com essas tintas, quando iluminados com UV, produzem belos efeitos. Em especial a tinta amarela das canetas utilizadas para destacar textos pode ser empregada pelo professor para causar impacto nos alunos e aumentar seu interesse pelo assunto. Para conseguir isto, antes do início da atividade o professor secretamente faz um desenho ou es-

creve uma mensagem na parte interna de seu antebraço. Depois de algum tempo, a tinta se tornará tênue e não mais será percebida com a luz natural. Num momento apropriado, o professor iluminará seu antebraço e o desenho/ mensagem será visualizada num “passe de mágica” e frente a uma reação mista de espanto e de curiosidade entre os alunos.

VI.3) Escorpiões

O fenômeno da fluorescência, embora seja raro em aracnídeos (como as aranhas e os opiliões), está presente em todas as espécies de escorpiões. Quando se faz incidir radiação UV sobre escorpiões, sua coloração superficial natural muda para um surpreendente e intenso “verde neon”.

De acordo com POLIS^[9] a origem da fluorescência parece estar ligada à produção de uma complexa mistura de lipídios e mucopolissacarídeos, feita por glândulas internas, e que chega até a epicutícula por meio de poros e dos canais de cera nela existentes. Mesmo com o animal morto, a fluorescência ainda persiste. A análise do espectro de emissão da fluorescência revela que, independentemente da espécie ou do fato do escorpião estar vivo ou morto, o pico de emissão ocorre em 472 nanômetros.

Recomenda-se utilizar animais mortos (geralmente preservados em solução alcoólica) para a visualização. Embora a fluorescência não seja tão intensa quanto num animal vivo, a observação do fenômeno é muito mais segura. Vários laboratórios de Biologia possuem espécimes preservados e podem colaborar com essa atividade, cedendo-os temporariamente. Entre as razões para não utilizar animais vivos está o fato de que a captura e utilização de espécimes vivos requer o conhecimento da legislação do IBAMA sobre coleta e captura de animais silvestres. Além disso, a manipulação de escorpiões vivos necessita de várias informações acerca da espécie, como sua periculosidade e potencialidade do veneno para o ser humano, bem como de conhecimento das técnicas apropriadas de manuseio, para evitar acidentes como ferroadas, fuga ou morte acidental desses aracnídeos.

VI.4) Corais e seres marinhos

A fluorescência pode ser observada em seres marinhos como determinados corais, cnidários, larvas, vermes e criaturas microscópicas^[10]. Em alguns laboratórios de Biologia são mantidos aquários de água salgada com alguns seres marinhos. Nesses casos, a observação deve ser planejada para que o professor demonstre o efeito ou para que os próprios alunos o façam.

VI.5) Dentes e unhas

ATENÇÃO: Para evitar constrangimentos que possam repercutir negativamente na autoestima dos estudantes, o professor deve avaliar a pertinência da observação de dentes e unhas ser realizada nos alunos ou em si mesmo. A pessoa que se submete à observação deve manter os olhos fechados e protegidos, durante a incidência da radiação UV.

As camadas mais externas do dente são o esmalte e a dentina. O esmalte é constituído essencialmente de fosfato de cálcio, na forma de cristais de hidroxiapatita, cuja fórmula química é $3 \text{Ca}_3(\text{PO}_4) \text{Ca}(\text{OH})_2$. A dentina é um tecido conjuntivo que dá forma ao dente e sustenta o esmalte que a recobre. É uma estrutura branca amarelada constituída de hidroxiapatita e de fibras colágenas^[11]. Embora os dentes naturais geralmente sejam amarelados, ao serem excitados pela radiação UV tornam-se branco-azulados.

A incidência de UV nos dentes também permite revelar a presença de restaurações. Os locais em que elas existem aparecerão como manchas cinzentas, contrastando com o branco-azulado da fluorescência.

Algumas próteses possuem dentes feitos de acrílico os quais, sob ação do UV, exibem coloração verde clara. É interessante conseguir uma prótese dental para mostrar aos estudantes este fato.

As unhas são constituídas de queratina, uma proteína fibrosa que também entra na composição dos cabelos. As unhas dos pés ou das mãos (sem aplicação de esmaltes ou bases) são fluorescentes. Tal como os dentes elas se tornam branco-azuladas quando expostas ao UV.

VI.6) Recipientes e embalagens plásticas

Os plásticos são materiais constituídos por grandes cadeias de átomos de carbono. Em sua composição pode haver substâncias que lhes conferem propriedades específicas e que reagem ao UV. Muitos recipientes e embalagens de plástico transparente exibem fluorescência. Quando expostos à radiação UV mostram intensa coloração branca azulada. Caberá ao professor selecionar exemplares de embalagens e recipientes para que os alunos identifiquem a ocorrência (ou não) da fluorescência.

As tampas coloridas de alguns recipientes também podem ser examinadas com UV. Muitas possuem pigmentos que são ativados ao serem expostos ao UV e intensificam a cor do objeto.

VI.7) Adesivos de silicone

O silicone é um polímero misto (de constituição orgânica e inorgânica) formado por um núcleo de silício e cuja constituição pode variar desde sólido até um líquido viscoso. O silicone pastoso transparente conhecido como “borracha de silicone” e os bastões de “cola quente”, quando expostos à radiação UV irradiam uma coloração branca azulada.

VI.8) Refrigerantes

Um interessante teste comparativo pode ser feito com amostras de dois refrigerantes que iluminados por luz branca são incolores: soda limonada e água tônica. A água tônica tem em sua composição o alcaloide quinino, responsável por seu sabor amargo. O quinino $C_{20}H_{24}N_2O_2$ ^[12], que tem funções analgésicas e anti-térmicas e foi o primeiro medicamento utilizado para combater a malária, é uma substância fluorescente. Para constatar isso, basta colocar um pouco dos refrigerantes em copos transparentes ou numa superfície esbranquiçada e fazer incidir radiação UV. A amostra de água tônica vai emanar uma resplandecente coloração branca azulada, enquanto que nada vai ocorrer com a amostra de soda limonada.

VI.9) Rochas e minerais

O ramo da ciência chamado Mineralogia emprega, entre outras técnicas, a luz ultravioleta para identificar e classificar minerais. O fenômeno da fluorescência também se manifesta em alguns minerais que “brilham” quando iluminados com radiação ultravioleta (ou quando expostos a feixes eletrônicos). Muitas escolas possuem coleções de rochas e minerais (e mesmo os estudantes podem conseguir algumas amostras) de forma que essa observação deve ser incentivada.

Um interessante mineral para ser examinado é o fluoreto de cálcio ou fluorita (CaF_2), que é utilizado como fundente em processos siderúrgicos e constitui importante fonte de flúor. Amostras contendo fluorita exibem uma coloração verde quando expostas ao UV.

VI.10) Sabões em pó e alvejantes

Algumas marcas de sabão em pó e de alvejantes contém em sua formulação substâncias que são fluorescentes e ficam impregnadas nas fibras das roupas após o processo de lavagem. Roupas lavadas com esses produtos expostas ao ultravioleta (mesmo aquele proveniente do Sol) mostram-se “brilantemente bran-

cas” e podem parecer “mais limpas” se comparadas com roupas que tenham sido lavadas com sabão comum (sabão em pedaço, por exemplo). É interessante examinar peças de roupas lavadas com os dois tipos de sabões sob a ação do UV.

VI.11) Na cozinha: graxas e gorduras

Alguns lipídios (substâncias gordurosas de origem animal e vegetal), como a manteiga, os óleos e as graxas, e glicerídios (como a glicerina e derivados) também exibem fluorescência.

Resultados espantosos são obtidos quando se examinam utensílios de cozinha (como panelas e frigideiras) que aparentemente estejam limpas. Principalmente na região em que os cabos são fixados ficam acumulados resíduos de gordura/óleo, normalmente “invisíveis”. Entretanto, quando esses utensílios são iluminados com radiação UV, a presença dos resíduos é revelada, pois eles emanam uma intensa coloração amarelo-ouro.

O mesmo efeito ocorre se a grelha dos fogões ou os azulejos da cozinha na região em torno do fogão forem examinados com UV. A presença de inúmeras manchas “invisíveis” de gordura é revelada.

Resíduos imperceptíveis de muitas graxas derivadas do petróleo, eventualmente existentes em objetos, roupas e mãos, tornam-se visíveis sob ação de UV, exibindo uma coloração amarelada. Já a vaselina se apresenta esbranquiçada, quando iluminada com UV.

Produtos como a manteiga (derivada do leite) e a margarina (derivada de óleos vegetais) têm sua cor, normalmente amarelada, intensificada sob ação do ultravioleta.

Diversos outros produtos químicos encontrados nas cozinhas exibem fluorescência de cores variadas. Entre eles estão os desengordurantes à base de amoníaco (verde), vinagre branco (verde claro), sabão de coco (branco), óleo de soja (amarelo), leite em pó (branco).

VI.12) Cédulas de dinheiro e cartões de crédito

As novas cédulas de real, denominadas pelo Banco Central como segunda família de cédulas do real, dentre seus elementos de segurança apresenta alguns que somente são visíveis com radiação ultravioleta. Por exemplo, na frente dessas cédulas e ao lado esquerdo da efígie simbólica da República, com a incidência de UV aparecem algarismos correspondentes ao valor facial da cédula (Fig. 3). Também se pode constatar a presença de pequenos traços esbranquiçados distribuídos

aleatoriamente em sua superfície e que fazem parte da constituição do papel fiduciário utilizado em sua confecção.



Fig.3 – Algarismos visíveis numa cédula de real iluminada por UV.

Cédulas verdadeiras de dinheiro de outros países também podem ser examinadas sob a radiação ultravioleta e suas características anotadas.

Os cartões plásticos, de crédito ou para movimentação de conta-corrente, também apresentam elementos de segurança, com o objetivo de inibir sua falsificação. Um deles é um conjunto de letras existentes na frente desses cartões. Quando a frente desses cartões é iluminada com UV, tornam-se visíveis letras correspondentes ao nome da operadora do cartão (Fig. 4).

VI.13) Documentos

Alguns documentos são impressos em papéis especiais com marcas de segurança somente visíveis com radiação UV. Os passaportes exibem filetes esbranquiçados nas suas páginas; as carteiras nacionais de habilitação quando expostas à radiação ultravioleta (Fig. 5) revelam a estrela de cinco pontas que faz parte das Armas da República (um dos quatro símbolos oficiais da República Federativa do Brasil)^[13] e a inscrição CNH; os certificados de registro de veículos mostram as Armas da República e a inscrição DENATRAN. Examinar esses documentos tornará a atividade ainda mais interessante e instigante.

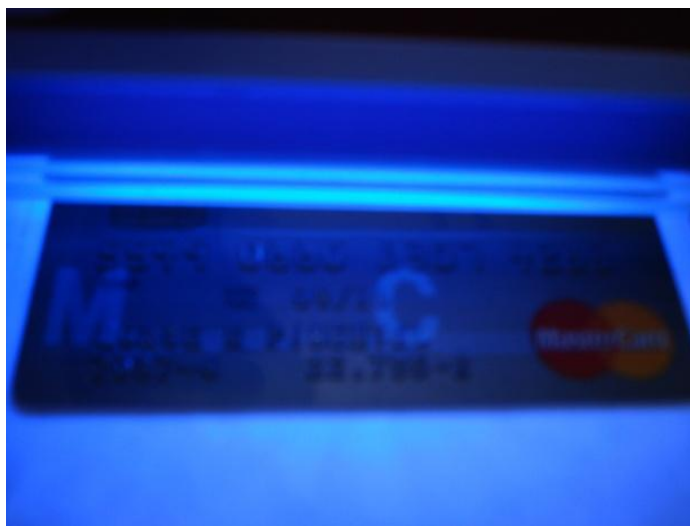


Fig. 4 – Letras visíveis em um cartão de crédito iluminado por UV.



Fig. 5 – Imagens visíveis numa carteira nacional de habilitação iluminada por UV.

VII. Outras formas de luminescência

Durante a atividade, alguns alunos podem fazer referência a fenômenos que conhecem (ou ouviram falar) e nos quais pensam estar ocorrendo fluorescência. No caso de dúvida, o professor deve pesquisar sobre os mesmos e trazer a informação posteriormente.

Entre as questões que podem surgir estão as referentes à “luz” produzida por vagalumes e por bastões luminosos (distribuídos em algumas apresentações artísticas e utilizados por campistas, pescadores e mergulhadores) e a constatação luminosa da presença de resíduos de sangue em objetos, que é uma das técnicas utilizadas pela polícia científica.

VII.1) Bioluminescência

Alguns insetos e outros organismos terrestres e marinhos produzem luz visível por meio do processo denominado bioluminescência^[14]. Os insetos contam com células especializadas no abdome que contém luciferina, e que também produzem a enzima luciferase. A luz é originada a partir da reação química luciferina-luciferase^[15] realizada no interior dessas células e cujos produtos finais são a oxiluciferina, o monofosfato de adenosina (AMP) e luz visível. A luz produzida tem comprimento de onda compreendido entre (510-670) nanômetros (amarelo/esverdeado).

Outro exemplo interessante de bioluminescência é aquela produzida pelo microorganismo marinho *noctiluca cintilante*^[16]. A agitação forte da água do mar com a mão produz um “rastros esverdeado” (visível em locais escuros), originado pela emissão luminosa desses organismos.

VII.2) Quimioluminescência

Uma das formas da polícia científica evidenciar a presença de sangue em locais ou objetos que possam estar envolvidos com a ocorrência de crimes (mesmo após o local ou objeto terem sido supostamente limpos) é borrifar um preparado que “brilha” na presença de resíduo sanguíneo. O líquido utilizado é feito com luminol em pó ($C_8H_7O_3N_3$), hidróxido de potássio (KOH) e água oxigenada (H_2O_2)^[17]. No processo, o ferro contido na hemoglobina atua como catalizador para uma reação de quimioluminescência, que ocorre com o luminol, e produz uma luminosidade (mais visível no escuro) que perdura por vários segundos, permitindo registrar fotograficamente o local ou objeto. Além do ferro e seus compostos, também o cobre e seus compostos e mesmo a água sanitária fazem brilhar a solu-

ção de luminol. No caso de dúvida, existem testes alternativos para revelar/confirmar traços de sangue.

Os bastões luminosos (“light sticks”) são constituídos por um tubo plástico contendo dois componentes químicos e um corante. Um dos componentes pode ser o luminol ou algum oxalato orgânico e o outro é a água oxigenada^[18]. Esta é mantida num reservatório de vidro que se quebra quando o bastão é dobrado e dá início a uma reação química exoenergética. A energia liberada é suficiente para excitar os elétrons dos átomos do corante (uma substância fluorescente) os quais, ao retornarem ao nível energético inicial, emitem a energia absorvida na forma de luz visível, cuja cor é determinada pela escolha do corante^[19].

VIII. Conclusões

Os alunos devem ser levados a notar que um fenômeno presente em seres vivos e substâncias do cotidiano, e aparentemente restrito à Biologia ou à Química, pode ser compreendido à luz de um modelo da Física que envolve a interação da radiação (no caso a radiação ultravioleta) com a matéria. E perceberem a importância do inter-relacionamento de áreas do saber no desenvolvimento da Ciência. Cabe ao professor ressaltar a importância de contribuições individuais para a formulação de conceitos coletivos, tanto na Ciência, quanto nas ações de nossa vida diária.

O professor pode instigar ainda mais o interesse dos estudantes pelo assunto incentivando-os para que comentem as observações feitas nas planilhas. Tal iniciativa propicia oportunidade de trabalhar outro dos temas transversais propostos nos PCNs – Ética – permitindo que os estudantes desenvolvam a atitude de ouvir e respeitar as opiniões alheias e de valorizar a oportunidade de manifestação do pensamento.

A atividade pode constituir-se em ponto de partida para que os alunos e os professores das disciplinas envolvidas (e de outras disciplinas) sintam-se motivados a pesquisar e propor mais fenômenos que podem ser objeto de abordagem interdisciplinar e ilustrem como o conhecimento científico é abrangente e compartilhado.

Para valorizar ainda mais a tarefa, ela pode ser considerada como um item da avaliação do desempenho dos estudantes e ser desenvolvida com a finalidade de que os resultados mais interessantes sejam apresentados em exposições ou feiras de Ciências.

Referências bibliográficas

- [1] BRASIL. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Parte III: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/Semtec, 1999. 58p.
- [2] Disponível em: <<http://nobelprize.org>>. Acesso em: 22 jan. 2014.
- [3] Disponível em: <<http://www.ldgi.com/technology-learning-center>>. Acesso em: 05 fev. 2014.
- [4] Disponível em:
<http://chemwiki.ucdavis.edu/Physical_Chemistry/Spectroscopy/Electronic_Spectroscopy/Jablonski_diagram>. Acesso em: 15 fev. 2014.
- [5] Disponível em:
<<http://www.ecolnews.com.br/camadadeozonio/camadadeozonio.htm>>. Acesso em: 22 jan. 2014.
- [6] BRASIL. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros curriculares nacionais**: introdução aos parâmetros curriculares nacionais, Brasília: MEC/SEF, 1997. 126p.
- [7] Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Fotos%C3%ADntese>>. Acesso em: 20 jan. 2014.
- [8] Disponível em: <<http://www.infoescola.com/biologia/fotosintese/>>. Acesso em: 22 jan. 2014.
- [9] POLIS, G. A. *The Biology of Scorpions*. Stanford University Press, California, 1990. 587p.
- [10] Disponível em: <<http://www.advancedaquarist.com/2005/2/lines>>. Acesso em: 20 jan. 2014.
- [11] Disponível em: <http://www.foar.unesp.br/Atlas/Res_Dentina_e_Polpa.html>. Acesso em: 01 fev. 2014.
- [12] Disponível em: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Quinine>>. Acesso em: 20 jan. 2014.

- [13] Disponível em: <<http://www.brazilsite.com.br/brasil/hinos/armas.htm>>. Acesso em: 26 jan. 2014.
- [14] Disponível em: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Firefly>>. Acesso em 01 fev. 2014.
- [15] Disponível em: <<http://www.howstuffworks.com/question554.htm>>. Acesso em: 01 fev. 2014.
- [16] Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Noctiluca_scintillans>. Acesso em: 01 fev. 2014.
- [17] Disponível em:
<<http://chemistry.about.com/od/glowinthedarkprojects/a/luminolblood.htm>>. Acesso em: 01 fev. 2014.
- [18] Disponível em:
<<http://chemistry.about.com/od/howthingsworkfaqs/a/howlightsticks.htm>>. Acesso em: 01 fev. 2014.
- [19] Disponível em: <<http://chemistry.about.com/library/weekly/aa031703a.htm>>. Acesso em: 01 fev. 2014.