



**Universidade Federal do Rio Grande do Sul**  
**Departamento de Bioquímica**  
**Instituto de Ciências Básicas da Saúde**  
**Programa de Pós Graduação em Educação em Ciências:**  
**Química da Vida e Saúde**

**INTERAÇÃO RADIAÇÃO E MATÉRIA:**  
**PROPOSTAS DIDÁTICO-EXPERIMENTAIS**  
**ESTIMULANDO O SENSO CRÍTICO-CRIATIVO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**PAULO HENRIQUE DOS SANTOS SARTORI**

**Porto Alegre, RS, Brasil**

**2008**

**INTERAÇÃO RADIAÇÃO E MATÉRIA:  
PROPOSTAS DIDÁTICO-EXPERIMENTAIS  
ESTIMULANDO O SENSO CRÍTICO-CRIATIVO**

**POR**

**PAULO HENRIQUE DOS SANTOS SARTORI**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências:  
Química da Vida e Saúde, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul,  
como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Educação em Ciências.**

**Orientador: Élgion Lúcio da Silva Loreto**

**PORTO ALEGRE, RS, BRASIL**

**2008**

DEDICO ESTE TRABALHO À MEMÓRIA DE MEU PAI  
QUE, PELO EXEMPLO, SEMPRE SOUBE ME ORIENTAR E GUIAR  
CUJA BONDADE E AMOR DEIXARAM MARCAS PROFUNDAS  
E DE QUEM TENHO SAUDADES ETERNAS...  
MEU MELHOR AMIGO... MEU HERÓI

## *AGRADECIMENTOS*

*Ao Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde, que possibilitou a realização deste trabalho.*

*Ao Programa PROF-CAPES que viabilizou a bolsa de estudos para o desenvolvimento deste projeto.*

*Aos professores e colegas do Programa de Pós-Graduação. Dentro e fora das salas de aula, aprimoramos entendimentos, conflitamos convicções e enriquecemos idéias, num prazeroso ambiente de convívio.*

*À Cléia Bueno, da Secretaria do Programa de Pós-Graduação, pela gentileza no atendimento e no esclarecimento de dúvidas e pela presteza dispensada muito além do exigido para sua função.*

*Ao professor Tarso B. Ledur Kist do Instituto de Biociências da UFRGS que além de propiciar a oportunidade de estágio no Laboratório de Métodos Biofísicos, contribuiu diretamente, revisando e acrescentando material teórico para o livro e valiosas sugestões.*

*Ao pessoal do Labdros da UFSC pelo apoio, cooperação, e disponibilidade para ajudar.*

*À professora Lenira Sepel, pelas inquirições extremamente enriquecedoras e valiosas dicas ao longo de todo o trabalho.*

*Aos meus mestres do passado e amigos de sempre, Carmem I. Eismann, Gelsa A. Lima Teixeira, Derli V. Padilha Beck e Luis G. Moreira pelo apoio e motivação constantes, pelo privilégio da convivência e pela sabedoria partilhada.*

*Aos meus ex-colegas e amigos da Universidade de Cruz Alta, pelo incentivo e apoio moral.*

*À minha família que, mesmo à distância, me incentivou e torceu por minhas realizações.*

*À minha mãe, que sempre me deu força, encorajou-me a ser persistente e ajudou-me a suportar as agruras do caminho.*

*À minha amada esposa Zenilda que além de auxiliar-me na solução e busca de alternativas na confecção e execução dos projetos, contribuiu na fotografia e edição de imagens, nos debates filosóficos madrugadas adentro e sempre apoiou e acreditou em mim. Pela sua compreensão e amor em todos os momentos.*

*Ao meu orientador, professor Élgion L. da Silva Loreto que sempre me guiou com sabedoria em todas as ocasiões; ajudou-me a encarar desafios e dificuldades com serenidade transmitindo-me confiança e segurança. Estendeu a mão nos momentos justos em que mais precisei. Partilhou da mesma empolgação e encantamento ao longo do trabalho. Não cabe em palavras meu sincero agradecimento, consideração e apreço!*

*“O cientista não estuda a natureza por sua utilidade; ele a estuda  
por prazer, que advém do fato de a natureza ser bela.  
Se não fosse bela, não valeria a pena conhecê-la,  
não valeria a pena viver.”*

*Henri Poincaré*

## Sumário

1. Introdução .....	08
2. Aspectos Fundamentais das Atividades Didático-Experimentais propostas.....	12
2.1. Experimentação .....	12
2.2. Interdisciplinaridade .....	26
2.3. Criticidade .....	31
2.4. Criatividade .....	37
3. Livro: Radiações, Moléculas e Genes – Atividades Didático-Experimentais .....	45
4. Artigo submetido para Publicação .....	201
5. Considerações Finais.....	220
6. Referências Bibliográficas.....	223
7. Anexo I: Protocolo de Submissão de Manuscritos para a SBG .....	227
8. Anexo II: Trabalho de Investigação produzido por Alunos da UFSM .....	233

## 1. Introdução

Dentro da linha de investigação na qual este trabalho se insere, o seu desenvolvimento visou principalmente a valorização do processo de experimentação como ferramenta promotora de criatividade e criticidade no ensino de Ciências.

A escolha do tema e da proposta do projeto deveu-se a uma construção dialogada entre os saberes específicos e comuns das áreas de atuação deste mestrando e do Prof. Dr. Élgion. Uma conjunção favorável de fatores entre os quais, a experiência profissional vivenciada por mim durante mais de 10 anos ministrando Física Experimental e Biofísica para estudantes universitários de cursos da área da saúde, tais como Farmácia, Enfermagem e Ciências Biológicas e atuando junto ao Núcleo de Apoio ao Ensino de Ciências da Universidade de Cruz Alta (atendendo alunos e professores do ensino fundamental e médio dos mais de 10 municípios da área de abrangência da universidade) por cerca de 13 anos, onde o enfoque era o uso de material alternativo em atividades experimentais no ensino de Ciências; combinado com toda a bagagem e conhecimento na área de Biologia, Biologia Molecular, Genética e Ensino de Ciências de meu orientador, culminou num conjunto de propostas didático-experimentais de caráter interdisciplinar.

Além de ser integrador, dinâmico, multidisciplinar, interdisciplinar e interessante para os alunos, é um tema que funciona como uma espécie de “reação em cadeia” e conseqüentemente exige que se estabeleça uma complexa e ampla rede de conexões (metacognição) que, por sua vez, auxilia o aluno na elucidação dos mecanismos de interação dos fenômenos radiativos com a matéria.

Eleito um dos seis ‘temas estruturadores’ para o ensino de Física nos PCN+ (Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, 2002) e também inserido nos temas estruturadores para o ensino de Química e Biologia, a interação entre radiação e matéria, revela-se uma arena extremamente profícua para promover investigações das mais diversas em campos interdisciplinares do saber. Tema potencialmente motivador tem um alcance e penetração social, tecnológica e científica cada vez mais ampliados. Apenas para citar algumas relações sobre a interação da radiação ultravioleta, por exemplo, temos: purificação de água, análises espectroscópicas, investigações na cena de crimes, identificação de documentos e

notas falsas, mutagênese, fototerapia, câncer de pele, branqueamento dentário, processos industriais de secagem, visão de certos animais, luminescência, etc.

“O cotidiano contemporâneo depende, cada vez mais intensamente, de tecnologias baseadas na utilização de radiações e nos avanços na área da microtecnologia. Introduzir esses assuntos no ensino médio significa promover nos jovens competências para, por exemplo, ter condições de avaliar riscos e benefícios que decorrem da utilização de diferentes radiações, compreender os recursos de diagnóstico médico (radiografias, tomografias etc.), acompanhar a discussão sobre os problemas relacionados à utilização da energia nuclear ou compreender a importância dos novos materiais e processos utilizados para o desenvolvimento da informática” (MEC, 2002).

“Nessa abordagem, uma vez que a maior parte dos fenômenos envolvidos depende da interação da radiação com a matéria, será adequado um duplo enfoque: por um lado, discutindo os modelos de constituição da matéria, incluindo o núcleo atômico e seus constituintes; por outro, caracterizando as radiações que compõem o espectro eletromagnético, por suas diferentes formas de interagir com a matéria. Essa compreensão das interações e da matéria, agora em nível microscópico, permite um novo olhar sobre algumas propriedades trabalhadas no ensino médio e, como síntese, a promoção de uma concepção mais abrangente do universo” (MEC, 2002).

“São esses modelos explicativos de matéria, de radiação e de suas interações que também possibilitam o desenvolvimento de novos materiais (cerâmicas, cristais e polímeros), ou novos sistemas tecnológicos (microcomputadores, combustíveis nucleares, rastreamento por satélite, *lasers* e cabos de fibra óptica)” (MEC, 2002) e de um conhecimento mais aprofundado do papel desempenhado por moléculas em fenômenos fotoquímicos e fotobiológicos (fluorescência, fosforescência, visão e fotossíntese).

“A compreensão desses aspectos pode propiciar, ainda, um novo olhar sobre o impacto da tecnologia nas formas de vida contemporâneas, além de introduzir novos elementos para uma discussão consciente da relação entre Ética e Ciência” (MEC, 2002).

Nosso enfoque ou desafio, então, passou a ser o de estabelecer um conjunto de experimentos coerentes e estruturados didaticamente com o objetivo de evidenciar diferenças e semelhanças entre os diversos modos de interação da

radiação com a matéria, auxiliando na percepção científica dos fenômenos envolvidos como um todo. Nosso intuito foi o de explorar o potencial criativo na construção dos experimentos e atividades, valendo-se da criticidade na elaboração e aplicação dos mesmos.

A exploração da relação entre matéria e energia permitiu propostas de investigações e simulações onde a prática (o processo) é favorecida e valorizada, abrindo espaço para introdução, no ensino médio, de conceitos de Ciência moderna e contemporânea (uma das demandas mais urgentes e importantes apontadas por cientistas e educadores).

A visão integrada das Ciências é fundamental para uma melhor compreensão das áreas de intersecção e de fronteira. Acreditamos ser este o enfoque contemporâneo e necessário da educação científica.

Queremos corroborar a idéia de que o mais importante é o processo. Não o processo como um método estanque, inerte, passivo, mas como uma “prática”, dinâmica, reativa, interativa; um vivenciar cada detalhe da construção, de apreender os significados das ações, de envolver-se com os elementos de interação e abstrair deles valores e conhecimentos. O que importa são as relações elaboradas ao longo do “caminho”. De acordo com a observação feita por Carpinejar (2005): “Não conheço ninguém que diga, com ares de autêntica modéstia: “não sei”. Todos professam conhecimento sobre tudo, opinam sobre qualquer coisa, exercem uma rede de certezas... As conversas giram em torno de referências e não de conteúdos. Encontra-se a informação mas não se desenvolve o raciocínio para chegar até ela. O mais importante na matemática é o cálculo, nunca o resultado final. O que adianta uma herança que não é vivida? Com a internet e outras céleres estruturas da informação, apesar de tantas virtudes comunicativas e de convivência que geraram, ... na verdade, dura verdade, a cultura não se adquire sem esforço, inquietações, ensaios e exercícios, vacilos e resistência. A afetividade se desenvolve na dúvida, na absorção amadurada do raciocínio.” Complementamos, acrescentando a necessidade de propiciar um ambiente adequado ao processo de investigação, como já referido por Einstein (1953): “Os excessos do sistema de competição e de especialização prematura, sob o falacioso pretexto de eficácia, assassinam o espírito, impossibilitam qualquer vida cultural e chegam a suprimir os progressos nas Ciências do futuro. Ora, a sobrecarga do espírito pelo sistema de notas entrava e necessariamente transforma a pesquisa em superficialidade e falta de cultura.”

O trabalho desenvolvido está alicerçado nos pilares da experimentação, da criatividade, da interdisciplinaridade e da criticidade, e é permeado por algumas características que merecem destaque como o uso de materiais de baixo custo e/ou alternativo, a inserção de tópicos de história da Ciência e de noções de Ciência moderna e contemporânea. Teceremos a seguir algumas conexões entre estes aspectos que, por estarem imbricados, poderão entrecruzar-se ao longo das explicações.

## **2. Aspectos Fundamentais das Atividades Didático-Experimentais propostas**

### **2.1. Experimentação**

Muitos estudos sobre atividades experimentais produzidos nos últimos anos têm apontado, além das tradicionais e reconhecidas qualidades e da praticamente inquestionável importância para o ensino de Ciências, uma quantidade quase igual de críticas, especialmente no que se refere aos resultados alcançados. Os professores que, muitas vezes apresentam deficiências na sua formação e são desamparados institucionalmente, ao lerem tais críticas muito provavelmente acabarão por abandonar as atividades experimentais com medo de produzir mais malefícios do que benefícios. Longe de ser esta a intenção destes autores que, a rigor, alertam para o mau uso destas atividades e de possíveis conseqüências de difícil reparação, é preciso estimular os educadores para um movimento oposto.

Obviamente não se espera das atividades experimentais uma tábua de salvação e muito menos que seja a única ferramenta utilizada na promoção do conhecimento científico. Diga-se de passagem, sua ocorrência ainda está muito aquém do que gostaríamos tanto em qualidade – conforme atestam as referidas críticas – quanto em quantidade. Defeitos, problemas, dificuldades, necessidades de ajustes, acompanham a operacionalização destas atividades como ocorre com qualquer outra proposta ou metodologia. Acreditamos, porém, que as atividades experimentais apresentam, comparativamente, uma menor quantidade de conseqüências “maléficas” por pior que sejam suas implementações.

Nenhum destes críticos, entretanto, apontou em seus estudos, a possibilidade de haver ensino de Ciências sem a experimentação. Afinal, há um consenso a respeito de sua importância para o ensino. Acreditamos ser a própria essência da Ciência. Se a Ciência trata com o real, o concreto, haveria possibilidade de se abdicar, prescindir de tal prática no seu ensino?

A realidade do aluno e o seu dia-a-dia não são intangíveis. Pelo contrário. Cabe ao professor fazer a conexão entre esta vivência e as teorias vigentes em Ciência que a explica. Uma das formas mais claras de se fazer esta conexão está na experimentação. É importante destacar ainda, a diferença entre como o conhecimento científico é constituído/formado e como ele é ensinado. Muitas vezes é possível (e neste caso, recomendável) usarmos o modo como um saber científico foi estruturado como estratégia para o seu ensino. Mas fazer isso de maneira “direta”

ou “inteira” nem sempre funciona ou é viável. O uso de modelos e representações da realidade adequados a cada nível de ensino (contextualizados por todas as limitações, analogias, utilidades, simplificações que apresentam) são os recursos que em geral nos valem com propósito de ensinar. Ao fazermos uso da experimentação, para que se efetue a transposição didática do conhecimento científico para o ensino de Ciências, esta já carregará em si mesma muito do *modus operandi* da Ciência.

No intuito de aprofundar estas questões, resgatamos da literatura do ensino de Ciências e dos ensinamentos de Física, de Química e de Biologia, alguns apontamentos relevantes para discussão.

O trabalho experimental nas escolas surgiu há mais de cem anos por influência do trabalho experimental que era desenvolvido nas universidades e tinha por objetivo a melhoria do aprendizado em termos de conteúdos científicos, porque os alunos aprendiam os conteúdos porém, não sabiam aplicá-los. Após todo esse tempo, o problema continua presente no ensino de Ciências (Izquierdo, Sanmartí e Espinet, *apud* Galiazzi *et al.*, 2001).

Alguns autores citados por Santos, Rosa e Gomes (2005) elencam uma série de características que justificam a importância em realizar atividades experimentais seja qual for o nível de escolarização: “estimula e orienta o aprendizado” (Giordan, 1999); “melhora a relação ensino-aprendizagem; pode promover a correlação entre o conhecimento adquirido e os acontecimentos cotidianos” (Brighente *et al.*, 2000; Valadares, 2001). “A experimentação não é apenas o meio para despertar o interesse pelo aprendizado de ciências, mas sim o conjunto de ferramentas que pode criar um verdadeiro ambiente de investigação científica” (Castilho *et al.*, 1999).

Conforme constataram Araújo e Abib (2003) a credibilidade na eficiência do uso de atividades experimentais como estratégia eficaz de ensino é unânime entre os autores de 106 artigos publicados na área da experimentação no ensino de Física, os quais apontam dois aspectos fundamentais que respaldam esta crença:

a) “Capacidade de estimular a participação ativa dos estudantes, despertando sua curiosidade e interesse, favorecendo um efetivo envolvimento com sua aprendizagem”.

b) “Tendência em propiciar a construção de um ambiente motivador, agradável, estimulante e rico em situações novas e desafiadoras que, quando bem empregadas, aumentam a probabilidade de que sejam elaborados conhecimentos e

sejam desenvolvidas habilidades, atitudes e competências relacionadas ao fazer e entender a Ciência”.

Atividades experimentais exercem relevante papel no desenvolvimento cognitivo no ensino de Ciências. Também atuam na promoção de habilidades desde as mais básicas (observação, manipulação de materiais) até as mais elaboradas (levantar alguns problemas ou reconhecer as causas de alguns fenômenos ou suas interações) (Proposta Curricular para o Ensino de Ciências e Programa de Saúde 1º Grau, *apud* Arnoni, Koike e Borges, 2003). “O uso de técnicas experimentais de investigação em laboratórios representam o caminho de aprofundamento de estudo de coisas e fenômenos que se esgotam como fonte de estudo em sua manifestação natural no ambiente do aluno” (Amaral *apud* Arnoni, Koike e Borges, 2003).

Em relação à organização das atividades experimentais, segundo Fracalanza (*apud* Arnoni, Koike e Borges, 2003), “as atividades experimentais devem ter, como ponto de partida, um problema prático bastante definido, cuja discussão leva os alunos, até mesmo, a anteciparem possíveis soluções. Esse problema prático pode comportar várias formas possíveis de solução e, portanto, os alunos devem ser estimulados a praticá-las. E, ao final de cada uma das atividades, o aluno deve ser estimulado a representar ou descrever o processo de solução que adotou e os resultados a que chegou, podendo, também, comunicar a seus colegas os resultados e os processos de solução adotados”.

É comum em aulas de laboratório para estudantes universitários calouros (alunos na sua maioria concluintes recentes do ensino médio) ouvir as seguintes frases: “Bah! Se eu tivesse visto isso no 2º grau eu ia entender bem mais fácil...”, “Ah! É isso então... eu não imaginava que era tão simples...”. Se pelo menos alguns experimentos básicos tivessem sido desenvolvidos no ensino fundamental e médio, talvez não tivéssemos mais tantos alunos chegando à universidade achando que numa eletrólise a água está fervendo!

“Quando eu estava no ginásio, tive de decorar taxionomias botânicas e zoológicas. Nunca um professor me levou ao Jardim Botânico para dizer: Olha... isso aqui é uma pitangueira”. Esta declaração de Rubem Alves nos ajuda a entender o quanto a mais “simples observação”, por mais direta e trivial que seja, é importante. Essa observação não deve corresponder a uma visão “somente” retiniana. Deve ter um sentido mais amplo como o da percepção. Na percepção estabelecem-se relações com o entorno, infere-se uma contextualização. De acordo com Zamboni

(1998) “em qualquer percepção estabelece-se uma conexão dinâmica, espaço-temporal entre o objeto de um lado e os sentidos e a memória de um intérprete de outro. A maneira de ver e perceber o objeto está relacionada ao paradigma que o indivíduo se propõe a vivenciar”.

Uma das mais contundentes críticas relativa ao uso das atividades experimentais reside no empirismo propalado em muitas delas. Atividades de demonstração e verificação estão tradicionalmente atreladas a uma prática considerada mais “limitada”, pois não ensejam uma investigação. Entendemos que demonstrações e verificações são importantes, desde que não se limitem a ações mecânicas ou automatizadas, pois somente se empobrecem pela falta de exploração de seus potenciais.

Em contraposição ao que muitos pesquisadores pensam, visualizar os fenômenos que são apresentados não faz com que o aluno compreenda ou descubra o que os produz, mas gera uma predisposição para o entendimento que muitas vezes o desafia a entender o que acontece. Tal predisposição para o entendimento cria e enriquece o intercâmbio de informações por intermédio das quais o professor os aborda, apresentando os modelos teóricos construídos para explicá-los (Erthal; Gaspar, 2006).

O que representa demonstrar? Seria a demonstração uma atividade tão direta, empírica e trivial que não mereça ser realizada? Alguns professores argumentam que se já foi comprovado de que adianta demonstrar novamente. Só porque as gerações anteriores já vivenciaram não significa que devemos privar as gerações atuais e vindouras do mesmo privilégio. Seria a visualização da decomposição da luz nas suas componentes coloridas uma “simples” demonstração? Quando Newton efetivou tal experimento estava interessado em investigar a natureza e as propriedades da luz. Mas hoje se efetivarmos a mesma prática, estaremos apenas “reproduzindo”. Tudo dependerá da abordagem a ser realizada.

Como já observado por Monteiro, citado por Erthal e Gaspar (2006), “as atividades experimentais de demonstração têm duplo papel: o primeiro, de ilustrar e facilitar a apresentação dos conceitos apresentados; o segundo, de desencadear as interações sociais que, por meio da interação alunos-professor, possibilitem a compreensão desses conceitos”. Para Vygotsky, citado pelos mesmos autores, “o sujeito não é apenas ativo, mas interativo, seus conhecimentos se constituem a

partir de relações intra e interpessoais. É na troca com outros sujeitos e consigo próprio que nele se internalizam conhecimentos, papéis e funções sociais, o que permite a construção de conhecimentos e da própria consciência”.

Qual o objetivo de uma pesquisa ou investigação científica? Qualquer que seja a área, uma grande parte das pesquisas deseja comprovar ou não algumas hipóteses; colher dados, analisá-los, para se concluir algo; demonstrar a eficácia ou não de certos procedimentos ou substâncias; etc. Em sala de aula ou no laboratório didático, realizam-se operações similares com uma diferença: o objeto de estudo agora tem um vínculo muito mais direto com os conteúdos já consolidados.

“Em uma visão pedagógica da atividade experimental, entende-se que o docente precisa ter como principal objetivo do experimento a aprendizagem dos alunos em contraposição à ênfase única posta na transmissão de um conhecimento pela prática, pois esta forma de ação tem se mostrado em termos de aprendizagem pouco efetiva. Nesses casos, a maior parte das vezes, a atividade experimental é desenvolvida para comprovação de teorias estabelecidas. Nessa perspectiva, são organizadas considerando que é preciso aprender a observar e executar procedimentos consolidados, de modo a que sejam confirmadas teorias estabelecidas”. Nesta perspectiva Galiazzi e Martins (2006), baseados nas teorias de Vygotsky, desenvolveram atividades experimentais de cunho sociocultural com ênfase no conhecimento expresso pelo aluno. Aplicados em um ambiente universitário de formação de professores notaram a complexificação do conhecimento dos mesmos sobre o tema da atividade experimental, bem como, sua relevância enquanto proposta pedagógica. A aplicação em estudantes de cursos de graduação, por necessitar da explicitação do conhecimento dos alunos, tem evidenciado a pouca aprendizagem dos mesmos sobre conceitos trabalhados intensamente na sala de aula nas disciplinas específicas (Galiazzi e Martins, 2006).

“Os objetivos apontados pelos professores para as atividades experimentais vêm sendo duramente criticados (Hodson; Barberá e Valdés; Wellington, *apud* Galiazzi *et al.*, 2001). Uma dessas críticas, com a qual concordamos [Galiazzi *et al.*], é com relação à ênfase em formar cientistas. Um percentual pequeno dos estudantes segue carreiras científicas, portanto não se justifica fazer atividades experimentais para formar cientistas. Talvez nesse sentido alguns objetivos possam ser justificados como, por exemplo, desenvolver a observação, aprender a registrar dados. Não temos [Galiazzi *et al.*] certeza, entretanto, se essas são as

aprendizagens mais importantes para formar um cidadão. Discordamos [Galiuzzi *et al.*] também da ênfase dada ao desenvolvimento de habilidades manipulativas. Não consideramos [Galiuzzi *et al.*] necessário, na educação básica, aprender a pesar considerando os Algarismos Significativos, a ler corretamente o volume em uma bureta, a pipetar usando o dedo indicador. Concordamos [Galiuzzi *et al.*] com Barberá e Valdés que as atividades experimentais deveriam desenvolver atitudes e destrezas cognitivas de alto nível intelectual e não destrezas manuais ou técnicas instrumentais. Osborne (*apud* Galiuzzi *et al.*, 2001) pergunta se seriam essas as destrezas exigidas por uma sociedade cada vez mais tecnologizada” (Galiuzzi *et al.*, 2001).

Esperamos que a única capacidade manipulativa necessária nesta sociedade tecnologizada não seja apenas a de apertar botões diante de “caixas pretas” lacradas que ninguém sabe o que tem dentro e como funciona. Antes de contrargumentar o que foi explanado no parágrafo anterior, duas ressalvas devem ser feitas: aquilo que a maioria dos professores escreve em seus planejamentos como objetivos para atividades geralmente é uma cópia irrefletida de modelos de anos anteriores e necessariamente não significa que deva corresponder à prática dos mesmos. Em relação à ênfase em ‘formar cientistas’ não se trata de promover carreiras científicas em nível de ensino fundamental (ou até mesmo em nível de ensino médio), mas qualquer aluno que opte por fazê-las deveria contar com uma base sólida e de qualidade nesta área. Quem sabe não seria justamente a ausência de estímulo a essas carreiras ao longo da educação básica a causa da pouca quantidade de alunos que as seguem. Que mal há em ensinar corretamente a manipulação adequada do material de laboratório? Talvez não seja necessário a cobrança rigorosa destes procedimentos, mas a indicação do modo correto de usar e manipular é uma obrigação do professor até por motivos de segurança do próprio aluno. Não há nenhum procedimento que ao explicitar os motivos por de trás da simples manipulação não revele algum motivo científico que o justifique. Ou seja, estimular o porquê tais procedimentos são realizados e não simplesmente fazê-los mecanicamente. Uma aula sobre o que está por trás do manual de instruções de um determinado aparelho, por exemplo, pode elucidar os porquês dos procedimentos recomendados. Os Algarismos Significativos vieram para ajudar e simplificar e não para complicar. Uma aula sobre a medida correta do volume de uma proveta, se bem explorada, pode ser altamente instrutiva (relações matemáticas, erros de

paralaxe, adesão e coesão). O que fica cada vez mais explícito neste tipo de raciocínio são o pouco alcance em termos dos conhecimentos científicos que estão por trás (embutidos) das operações de laboratório e a evidente falta de criatividade e criticidade na exploração de operações e objetos do fazer científico.

Até mesmo o aspecto motivacional é alvo de críticas: “Outro dos motivos sempre muito reforçado por professores e alunos para as atividades experimentais é por seu caráter motivador, mas sobre este aspecto, cabe apenas lembrar o que sabem todos que alguma vez, como professores, desenvolveram atividades experimentais: nem sempre as atividades experimentais são motivadoras para os alunos” (Galiazzi *et al.*, 2001). A esta afirmação poder-se-ia comparar outra do tipo ‘quase sempre as atividades não-experimentais não são motivadoras’ afinal é o que sabem todos os que alguma vez, como professores, desenvolveram (e como alunos, receberam) atividades não-experimentais. Não nos parece correto generalizar ou garantir a priori que as atividades experimentais sejam motivadoras para todo o tipo de aluno. Da mesma forma que temas e conteúdos são mais ou menos estimulantes para cada tipo de aluno. Porém, parece-nos razoável admitir que as atividades experimentais sejam, comparativamente às demais, potencialmente mais estimulantes.

Este “medo de formar cientistas” tem suas raízes nos projetos de ensino experimental elaborados em meados do século passado tais como o Chemical Educational Material Study (CHEMS), Chemical Bond Approach Project (CBA), Introductory Physical Science (IPS), Physical Science Study Committee (PSSC) e o Biological Sciences Curriculum Study (BSCS), de inegáveis qualidades, que acabaram difundidas no Brasil, dando um grande impulso nas atividades experimentais. Tinham por objetivo trazer formas mais estimulantes e eficazes às demonstrações e confirmações de fatos até então apresentadas apenas nos livros-textos ou por explanação do professor e pretendiam superar a demonstração e a verificação dos fatos. Estas clássicas propostas oriundas dos EUA (surgidas durante a competição pela “conquista do espaço” entre as potências mundiais da época) tinham como pressuposto que, para poder se tornar um cientista era preciso, entre outras coisas, aprender a observar e registrar dados, aprender a pensar de forma científica, ser treinado para resolver problemas, desenvolver habilidades e técnicas no manuseio do instrumental do laboratório; a fim de dar conta das principais atividades científicas como: acumular informação por meio da observação; organizar

essas informações e procurar regularidades; perguntar por que elas aparecem e comunicar as descobertas aos outros (Galiuzzi *et al.*, 2001).

Ao analisar a concepção de método científico difundida em boa parte destas obras Galiuzzi *et al.* constataram que “é a mesma que muitos professores expressam como um dos objetivos para atividades experimentais: vivenciar o processo de encontrar fatos por meio da investigação, chegando a seus princípios, mantendo a importância da verificação de fatos e princípios estudados teoricamente, como um dos objetivos do ensino experimental. Essa visão indutivista do método científico, embora atualmente rejeitada pelos filósofos da Ciência, permanece presente no ensino de Ciências. Barberá e Valdés (*apud* Galiuzzi *et al.*, 2001) argumentam: Esta visão fortemente indutivista do método científico, que o vê como uma sucessão de passos discretos, têm recebido numerosas e contundentes críticas, e na atualidade está desacreditada em numerosos setores, mas está muito distante de ser erradicada do mundo do ensino de Ciências. Hoje se considera a observação dependente da teoria; é a teoria que determina o que e como tem que se observar”.

Creemos que isto não seja um consenso, nem mesmo para quem se dedica a pensar epistemologicamente sobre o assunto. Poderíamos ter, por exemplo, uma situação paradoxal ao considerar resultados novos ou inesperados, qual teoria se encaixam, que teoria os “previu”? É muito importante ressaltar que concepções a respeito de experimentos para testar teorias e os experimentos para medir advindas da epistemologia da experimentação lembram que muitos experimentos têm um caráter exploratório da natureza ou também têm como finalidade a medição de certos parâmetros não estabelecidos pela teoria. “Poderia-se pensar que estes dois tipos de experimentos constituem dois pólos de um contínuo que iria desde experimentos guiados por teorias até os experimentos sem guia teórica. Sem guia teórica tem aqui o sentido forte de não estar desenhados com a finalidade de testar uma teoria ou hipótese. Os experimentos dessa última classe podem ser visualizados como experimentos que estimulam a teoria. De igual modo certas leis experimentais precedem a teoria que pode dar conta delas” (Velasco, 1998).

Depoimento relevante neste sentido é dado por James Cronin (2005): “Fui parar na Universidade de Princeton, onde em 1964, com os colegas Jim Christenson, Val Fitch, e René Turlay, fizemos uma descoberta de importância fundamental, ou seja, que o universo de matéria e anti-matéria tem um

comportamento ligeiramente diferente. Isto não foi uma descoberta teórica, mas sim experimental, realizada com equipamento feito em casa, sempre no limiar de quebrar. É uma fascinação constante para mim que um monte de equipamento, fios, detectores e magnetos, alimentados por um lindo acelerador, possam produzir um resultado que é relevante para o nosso entendimento mais profundo sobre o espaço e o tempo”.

Enquanto temos medo que nossos alunos se “transformem” em cientistas, muitos países adotam e renovam estratégias, baseadas no ensino por experimentação, como metas. Durante a década de 1980, a Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciências e Cultura (UNESCO) e um número considerável de países assumiram um compromisso internacional no que diz respeito à educação em Ciências: uma nova meta sob o slogan “Ciência para todos”. “A educação científica de todos os estudantes, enquanto futuros cidadãos, foi colocada em pé de igualdade com o objetivo original e tradicional da educação formal em Ciências, relacionado com a seleção e a preparação de futuros cientistas” (Fensham *apud* Cazelli; Franco, 2001).

Muitos países estão colocando a atividade experimental no centro do processo de aprendizagem. Na atualidade, o recurso ao laboratório está, cada vez mais, tomando um espaço de destaque no currículo em países como a Grã-Bretanha e os EUA, com propensão a tornar-se o centro do processo educativo (Tamir *apud* Saraiva-Neves, Caballero, Moreira, 2007). Em Portugal, por exemplo, o processo de Revisão Curricular do Ensino Secundário que o Ministério da Educação iniciou em 1997, tendo como preocupação central a qualidade do ensino e da aprendizagem, deu particular ênfase ao ensino experimental. Anunciando, em julho de 1998, uma das medidas referentes ao Ensino Secundário salienta ser essencial a “reorganização dos cursos gerais do ensino secundário, favorecendo a integração das dimensões teóricas e práticas e dando a devida relevância ao ensino de natureza experimental”.

Através da parceria entre a Carlucci American International School of Lisbon (CAISL), a Fundação Calouste Gulbenkian e a Direcção Regional de Educação de Lisboa (DREL), este método de aprendizagem experimental em ciências essencialmente prático e quase sem livros está sendo aplicado em escolas portuguesas do 1º e 2º ciclos para tentar estimular o entusiasmo e a curiosidade das crianças nesta área de ensino. Segundo a embaixada dos Estados Unidos o

programa segue o currículo do Ministério da Educação e "mostra como os objetivos do currículo podem ser atingidos através de métodos de aprendizagem experimental em ciências". Trata-se de uma iniciativa na qual os alunos não se limitam a ler e os professores a falar sobre Ciências, debruçando-se essencialmente no "fazer Ciências". "Cientistas e educadores concordam que este método de ciências deve ser lecionado e aprendido", pois "as crianças desenvolvem competências nas áreas de pesquisas, resolução de problemas e críticas de pensamentos". Por isso, "são vitais neste programa" a habilidade para pensar e efetuar investigações nos campos da observação e da experimentação. Este tipo de aprendizagem, que está "bem estruturada e é intelectualmente rigorosa", ensina aos alunos como descobrir os conceitos e respostas às idéias e teorias científicas, desenvolve processos científicos e diversas competências como prever, desenhar e medir. "Vamos ensinar Ciência às crianças, pondo-as a fazer elas próprias a Ciência e a aprender através disso os conceitos teóricos". "Este método permite também fazer ver aos professores que não é preciso gastar recursos financeiros e que com qualquer material de supermercado ou reciclado é possível fazer ensino experimental em ciências". O objetivo desta iniciativa é "alimentar o entusiasmo, apoiar a curiosidade e treinar o intelecto nas ciências", uma área de ensino que tem freqüentemente incentivado as crianças a memorizar um conjunto de fatos, por vezes sem grande significado para elas. Este método essencialmente teórico "serve não só para maçar os alunos mas também os professores, não contribuindo para alimentar o amor nato dos alunos pelo mistério e pelo gosto da descoberta tão necessários a uma sociedade que está a criar uma geração de novos cientistas", nota a mesma fonte.

Arnoni; Koike e Borges (2003) citam os estudos conduzidos por Comber e Keeves (1978), em 19 países diferentes, constatando que, em 6 deles, nos quais estudantes com 10 anos de idade faziam em suas aulas observações e experimentos, o nível de desempenho em ciências era superior em relação aos alunos de escolas onde não faziam tais atividades em suas aulas.

Um alerta feito por Axt e Moreira (1991) é sobre o fato de que "seria ingênuo acreditar que a questão da carência de materiais de laboratório se resolve motivando o professor a fabricar seu próprio material. Se ele, por interesse próprio, desenvolver o seu equipamento, ótimo, mas estrangê-lo a manufaturar um material que deveria ser colocado à sua disposição, para que pudesse realizar com plenitude sua tarefa de ensinar, é transferir-lhe uma responsabilidade que é das autoridades

educacionais e da sociedade”. Não cremos que a responsabilidade deva ser apenas das autoridades e como parte da sociedade os professores devem ser encorajados a fazê-lo. O professor não pode sentir-se constrangido quando por iniciativa própria descruza os braços, supera dificuldades e contribuiu para o interesse coletivo.

Os mesmos autores reconhecem que “não podem os professores ficar esperando que sejam instalados nas escolas amplos laboratórios com todo o material do qual necessitam. Isso não acontecerá. É preciso buscar formas alternativas: experimentar na sala de aula mesmo ou fora dela, juntar material aqui e acolá, envolver os alunos na confecção de determinados dispositivos, lutar por verbas... para adquirir aquele mínimo de equipamento sem o qual não se pode sair da superficialidade”.

“É claro que determinados experimentos podem ser perfeitamente realizados com material de baixo custo ou de custo nenhum e isto até pode contribuir para desenvolver a criatividade dos alunos. Não se trata de negar o mérito das iniciativas que introduzem a experimentação via material de baixo custo. Trata-se de questionar a conveniência de aceitar uma solução de emergência como definitiva e alertar para a componente ideológica contida na sugestão de que em países do terceiro mundo a solução para o ensino experimental de Ciências seria recorrer, necessariamente, ao material de baixo custo. Não podemos ficar permanentemente na posição de “reinventar a roda” quando existe já uma variedade de material industrializado que pode ser adquirido. Muitas inovações poderiam ser localmente introduzidas, aproveitando-se a criatividade de alunos e professores se um mínimo de bom equipamento fosse garantido como apoio, isto é fornecido às escolas. Termômetros, frascos, dinamômetros, lentes, prismas, ímãs, instrumentos de medida, reagentes, microscópios, etc., em número suficiente para se atender diversos grupos, são fundamentais para a prática experimental, e limitam a qualidade do ensino quando não estão disponíveis” (Axt e Moreira, 1991).

“Mas isso não significa que, necessariamente, o material seja de baixo custo. O mínimo exigido para um bom ensino de Ciências já não será considerado de baixo custo dentro dos parâmetros da nossa realidade escolar. Devemos assumir que uma boa educação custa caro e não tiraremos nossa população do estado de miséria cultural propondo sistematicamente arranjos com canudinhos de refresco, clips, rolhas e outros materiais desse gênero. Já entre nós o conformismo, o fatalismo, terceiro mundista fez com que muitos de nossos professores entendessem que

baixo custo é sinônimo de custo nenhum, chegando inclusive a montar “laboratórios de sucata”. Ora, nossos alunos merecem muito mais do que uma ciência de sucata. Ao optar-se apenas pelo laboratório de sucata, desistindo de lutar por verdadeiro equipamento de ensino, o que se está fazendo é sucatear o ensino de Ciências em nossas escolas. É claro que logo surge o argumento de que é melhor fazer experiências com sucata do que não dar aulas de laboratório. A questão na verdade não é essa, a questão é não ficar na sucata, não dar a impressão de que o ensino experimental é só isso. É preciso não desistir nunca de lutar por laboratórios bem equipados em nossas escolas, contando inclusive com tecnologias modernas como medidores digitais, microcomputadores, lasers, etc., e com professores capazes de usá-las adequadamente. Enquanto não se chegar lá, deve-se continuar buscando soluções locais que não passem necessariamente pela sucata” (Axt e Moreira, 1991). Neste caso, dado as condições sócio-econômicas do país e a grande quantidade de prioridades (salário de professores, informatização das instituições, reformas, formação e capacitação docente, etc.), a espera por laboratórios adequados (ainda mais que praticamente inexistem mobilizações neste sentido) deve demorar muito além de qualquer expectativa otimista, pois em recente panorama traçado pelo MEC/INEP, das 169.075 escolas de ensino fundamental (públicas e privadas), apenas 14.027 (cerca de 8,3%) têm laboratório de Ciências. Na rede pública, das 149.968 escolas, apenas 8.060 (cerca de 5,4%) têm tais instalações.

A falta de laboratórios é um problema crônico que ainda persistirá por muito tempo. Nossa experiência ministrando oficinas e cursos em inúmeras escolas estaduais e municipais mostra ainda que os que existem e estão bem equipados não são utilizados. Muitos, inclusive, acabam virando “sucata”. Então é preciso desvincular o problema da falta de laboratório e do seu uso, de propostas como a nossa que visam outros objetivos bem específicos e diferenciados e não a substituição do laboratório.

A menos que faça parte de uma “estratégia de submissão”, cremos que a intenção da UNESCO (apesar de reserva-se o direito de não associar o conteúdo dos textos ao pensamento da instituição UNESCO, como comumente faz em suas publicações), não seja a de perpetuar o referido “pensamento terceiro mundista” ao estimular o uso de materiais alternativos para nações menos favorecidas, conforme

atestam inúmeras de suas publicações. Esperamos que represente um esforço no sentido de promover alguma cultura científica apesar das dificuldades enfrentadas.

A realização de experimentação no ensino de Ciências nem sempre é viável, pois diversos obstáculos podem surgir na operacionalização dessa atividade, entre os quais a carência de recursos financeiros e a indisponibilidade de tempo. Porém, questões culturais embutidas na metodologia de ensino configuram-se como uma barreira ainda maior. Faz-se mister, então, a busca de uma relação de ensino-aprendizagem de Ciências “simples, factível e de baixo custo”. “Quanto mais simples e conceitual é o experimento ou protótipo, tanto mais instrutivo e atraente ele se torna” (Valadares *apud* Santos *et al.*, 2005).

Inúmeros projetos partilham das mesmas proposições que apregoamos como o projeto de extensão na Universidade Estadual do Centro-Oeste, UNICENTRO, intitulado "Instrumentação, Demonstração e Experimentação em Química e Física, IDEQF" (posteriormente substituiu-se "Química e Física" por "Ciências", IDEC) que surgiu da combinação da importância da experimentação com a busca da simplicidade e de soluções alternativas no ensino de Ciências. Entre seus objetivos o desenvolvimento e a aplicação de novas metodologias e ferramentas no ensino de Ciências. Desenvolve-se a experimentação alternativa e de baixo custo como uma ferramenta de ensino eficiente e acessível para educadores e instituições educacionais. Os instrumentos e experimentos elaborados devem ser capazes de atender didaticamente e pedagogicamente as necessidades de uma aprendizagem científica significativa. A proposta do projeto não é substituir a experimentação convencional, mas sim propor uma alternativa viável e complementar a ela (Santos; Rosa; Gomes, 2005).

No entendimento de Galiazzi *et al.* (2001) o ensino experimental deveria vir após algum desenvolvimento teórico e lembram que “o conhecimento científico se faz sobre idéias e não sobre fatos” (Wellington, 1998), ou seja, alegam que “as entidades conceituais da Ciência não estão nos fatos para serem vistas”. Sendo o conhecimento científico uma propriedade das idéias qual o papel dos fatos, das evidências? Pensamos que fatos e idéias sejam, igualmente, suportes do conhecimento científico, pois não há idéia que dê conta de uma nova evidência factual. A realidade muitas vezes “supera” a ficção. Os autores ainda complementam: “resultados de pesquisas sobre a aprendizagem mostram que as concepções dos alunos sobre determinados fenômenos determinam o modo como

são percebidos e é muito difícil mudar estas concepções”. Estas concepções sobre inúmeros fenômenos da vida cotidiana (científicos ou não) mesmo quando contrastadas com conhecimentos de cunho científico (que sejam apresentados via experimental ou não) não sofrem as “mudanças” ou “substituições” desejadas. Os motivos são os mais diversos e já foram exaustivamente estudados. Importa ressaltar aqui que não há nenhuma relação entre os tipos de métodos empregados (experimentais ou não) e as mudanças conceituais.

Nossa proposta vem de encontro com o pensamento de que “é fundamental superar o entendimento de que teoria e prática são duas entidades separadas. Não é, no entanto, o simples envolvimento do aluno com a pesquisa que facilita essa compreensão. É preciso que alunos e professores aprendam a participar da pesquisa em todo o processo, que aprendam a tomar decisões, que sejam colocados em situações que contrastem suas concepções sobre a construção do conhecimento, geralmente considerada como um processo linear, sem tropeços e erros” (Galiazzi *et al.*, 2001). Uma das melhores formas de colocar o aluno defronte a situações onde estes elementos se revelem é a experimentação.

Em conclusão a uma investigação feita em 106 artigos de periódicos nacionais entre 1992 e 2001 na área da física, Araújo e Abib (2003) ressaltam que independente do tipo de atividade experimental, o potencial de exploração das mesmas está atrelada às finalidades educacionais de cada aula ou conteúdo: “No que se refere ao grau de direcionamento das atividades, acredita-se que, de um modo geral, a utilização adequada de diferentes metodologias experimentais, tenham elas a natureza de demonstração, verificação ou investigação, pode possibilitar a formação de um ambiente propício ao aprendizado de diversos conceitos científicos sem que sejam desvalorizados ou desprezados os conceitos prévios dos estudantes. Assim, mesmo as atividades de caráter demonstrativo, amplamente utilizada pelos autores pesquisados e que visam principalmente a ilustração de diversos aspectos dos fenômenos estudados, podem contribuir para o aprendizado dos conceitos físicos abordados na medida em que essa modalidade pode ser empregada através de procedimentos que vão desde uma mera observação de fenômenos até a criação de situações que permitam uma participação mais ativa dos estudantes, incluindo a exploração dos seus conceitos alternativos de modo a haver maiores possibilidades de que venham a refletir e reestruturar esses conceitos. Cabe ressaltar que grande parte das propostas

analisadas baseiam-se na utilização de equipamentos e materiais de baixo custo e fácil aquisição, tornando acessível o seu emprego e adaptação mesmo em escolas que não disponham de laboratórios e recursos materiais significativos”.

Neste último aspecto nossa proposta tem o objetivo de ir além desta visão. As atividades que propusemos, em sua grande parte, visam incentivar e aguçar a investigação interdisciplinar dos fenômenos, com recursos relativamente simples e acessíveis. Mesmo que a escola disponha de bons recursos laboratoriais, deve haver o incentivo as construções próprias dos alunos. Não estamos apregoando o desuso ou abandono do laboratório o que seria uma insensatez absurda. Estamos sim, adicionando o componente crítico-criativo que acompanham as atividades de construção de equipamentos e instrumentos a partir de materiais de baixo custo e alternativos. É muito diferente receber pronto do que construir. Neste processo, habilidades e competências das mais diversas áreas são exigidas e interrelacionadas: matemáticas (distribuição espacial, geometria, distância adequada, proporções), lógicas (seqüência da montagem e distribuição dos componentes) físicas e químicas (tipo de material, densidade, atrito, propriedades ópticas, magnéticas, térmicas, elétricas, formato; que podem afetar o desempenho ou o funcionamento), engenharia, arquitetura (design do projeto, acabamento), planejamento, adequação, adaptação. Cremos que tudo isso está muito além de meras capacidades manipulativas até porque não vemos como dissociá-las de capacidades cognitivas.

## **2.2. Interdisciplinaridade**

Ao contrário do que acontece com as atividades experimentais, o tema da interdisciplinaridade conta com o privilégio de ser o tema da moda. Não há críticas a sua implementação e o incentivo ocorre em massa no meio educacional e fora dele.

A difusão em textos de documentos do Ministério da Educação é quase um slogan e não enseja maior profundidade na sua operacionalização sendo utilizado muito mais como um constante apelo para sua aplicação nos mais variados contextos. Como ressalta Siqueira (2003) “o discurso sobre essa formação está bastante presente nos espaços educativos formais, porém sua efetivação ainda é uma utopia para os educadores preocupados com uma educação crítica e que por

isso mesmo deve corresponder às necessidades do contexto histórico em que está inserida”.

É importante reconhecer o aspecto disciplinar a muito tempo estruturado nas Ciências. As disciplinas têm um corpo próprio de conhecimento, um conjunto de métodos e teorias particulares e singulares muito diferenciadas entre si. São justamente estes atributos que justificam o não-reducionismo das diferentes áreas da Ciência a uma só quando visualizada através da aplicação dos princípios e interações fundamentais da natureza. Este posicionamento está presente nas Orientações Curriculares para o Ensino Médio - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias (MEC, 2006) que afirmam “a interdisciplinaridade não é a busca de uma unificação desses saberes, pois admitir isso seria negar aspectos históricos e epistemológicos da construção desse conhecimento e negar as características específicas, com objetos de estudo bem definidos, como Física, a Química e a Biologia”.

Contudo, a Ciência também apresenta um corpo de conhecimento não exclusivo de determinadas áreas. Inúmeros fenômenos não se “enquadram” a um único campo do saber científico. Como consta nas Orientações Curriculares para o Ensino Médio - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias (MEC, 2006a) “a competência crítico-analítica da representação da realidade não é disciplinar, não se insere em uma única disciplina, já que seu objeto de investigação é mais complexo”. Entra em cena, então a necessidade de fazer as disciplinas interagirem e se integrarem.

Tal prática seria viabilizada, de acordo com Demo (*apud* Alves; Brasileiro e Brito, 2004) através da cooperação qualitativa entre especialistas realizando pesquisas em grupo, mediados pela linguagem, pelo diálogo e pelos métodos comuns, pois o autor concebe a interdisciplinaridade “[...] como a arte do aprofundamento com sentido de abrangência, para dar conta, ao mesmo tempo, da particularidade e da complexidade do real.” Para Japiassu e Marcondes (1989), corresponde a um método, tanto de pesquisa como de ensino, capaz de fazer interagir duas ou mais disciplinas, sendo que tal interação pode “ir da simples comunicação das idéias até a integração mútua dos conceitos, da epistemologia, da terminologia, da metodologia, dos procedimentos, dos dados e da organização da pesquisa”.

Alguns autores criticam os discursos sobre interdisciplinaridade que, além de possuírem uma orientação “a-histórica”, transmitem uma visão idealista, calcada numa filosofia do sujeito, que revela a ingênua idéia de superação da compartimentalização dos conhecimentos e uma perspectiva meramente dialógica entre as disciplinas. Conforme Etges (*apud* Alves; Brasileiro; Brito, 2004), tendo em vista que o fenômeno interdisciplinar não é metafísico e funda-se no trabalho dos cientistas e a Ciência tido como meio de produção de novos mundo adequados aos sujeitos, deve ser encarado como um princípio mediador entre as disciplinas, sem ter função reducionista das mesmas a um denominador comum, com um enfoque histórico que reforce os princípios da criatividade e da diferença (Alves; Brasileiro; Brito, 2004).

De acordo com Sabbatini e Cardoso (1998) “a explosão do conhecimento, que começou no Iluminismo e na Era Industrial, e que continua com uma velocidade espantosa em nossa atual Era da Informação (a Biblioteca Nacional de Medicina estima que o conhecimento médico publicado esteja dobrando em tamanho a cada quatro anos!), é impossível a um único cientista abranger qualquer coisa que seja maior que o seu minúsculo campo de especialidade”. A conseqüência, segundo Miles, citado pelos mesmos autores, é que “à medida que o conhecimento explode e se fragmenta, torna-se impossível para um indivíduo compreender os diversos fragmentos. Para evitar se afogar neste crescente oceano de conhecimento, cada um de nós tipicamente se agarra em apenas um ou dois 'objetos flutuantes' como se nossa vida dependesse deles, impedindo-nos assim, de olhar a nossa volta. Tentar enxergar para mais além desses poucos fragmentos, significa ser subjugado pelo tamanho deste oceano. Para evitar isso, preferimos permanecer ignorantes de tudo, menos de nossos próprios domínios”.

Tal demanda acabará limitando e prejudicando o desenvolvimento de muitas novas pesquisas. Daí decorre a importância em aprendermos a cooperar através da pesquisa e educação interdisciplinares. Porém um dos maiores obstáculos para que isto se concretize ocorre no próprio modo de organização das instituições de ensino onde o modelo departamental, que atrapalha a integração e a interação, está condenado. As disciplinas são isoladas, ensinadas e pesquisadas separadamente, com muito pouco em comum. Os estudantes não aprendem como trabalhar em equipes interdisciplinares, e muito menos a pensar de maneira interdisciplinar; deste

modo eles simplesmente passarão a repetir as limitações dos seus próprios professores (Sabbatini; Cardoso, 1998).

Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias (MEC, 2004), referente ao sentido do aprendizado na área, afirma que “uma compreensão atualizada do conceito de energia, dos modelos de átomo e de moléculas, por exemplo, não é algo “da Física”, pois é igualmente “da Química”, sendo também essencial à Biologia molecular, num exemplo de conceitos e modelos que transitam entre as disciplinas” (MEC, 2004). Não seria possível, por exemplo, compreender o mecanismo do transporte ativo que ocorre na membrana celular sem considerar a componente física do campo elétrico que nela atua.

Outro exemplo que não cabe nas fronteiras disciplinares é o da poluição ambiental, “exigindo, aliás, não somente as Ciências da Natureza, mas também as Ciências Humanas, se se pretender que a problemática efetivamente sócio-ambiental possa ser mais adequadamente equacionada, num exemplo da interdisciplinaridade imposta pela temática real” (MEC, 2004).

Em inúmeros processos de natureza biológica ou química, o princípio físico da conservação da energia, essencial na interpretação de fenômenos naturais e tecnológicos, pode ser verificado, contando em qualquer caso com o instrumental matemático para seu equacionamento e quantificação. “Incontáveis processos, como os de evaporação e condensação, dissolução, emissão e recepção de radiação térmica e luminosa, por exemplo, são objetos de sistematização na Biologia, na Física e na Química. Sua participação essencial nos ciclos da água e na fotossíntese, os situa como partícipes de processos naturais. Por outro lado, esses processos são essenciais para a compreensão da apropriação humana dos ciclos materiais e energéticos, como o uso da hidreletricidade e da biomassa. Portanto, evidencia-se também seu sentido tecnológico, associado à economia e à organização social” (MEC, 2004).

“Assim, a consciência desse caráter interdisciplinar ou transdisciplinar, numa visão sistêmica, sem cancelar o caráter necessariamente disciplinar do conhecimento científico mas completando-o, estimula a percepção da inter-relação entre os fenômenos, essencial para boa parte das tecnologias, para a compreensão da problemática ambiental e para o desenvolvimento de uma visão articulada do ser humano em seu meio natural, como construtor e transformador deste meio”. O

planejamento do aprendizado, a partir desta perspectiva, enseja que os assuntos devam ser propostos e abordados “desde uma compreensão global, articulando as competências que serão desenvolvidas em cada disciplina e no conjunto de disciplinas, em cada área e no conjunto das áreas. Mesmo dentro de cada disciplina, uma perspectiva mais abrangente pode transbordar os limites disciplinares” (MEC, 2004).

Nossa proposta partiu inicialmente de uma conjunção entre a Física e a Biologia e, durante o desenvolvimento dos projetos, ficou evidente a “infiltração” natural de outras áreas do conhecimento tais como a Química, Geologia, História da Ciência, Matemática, e áreas de fronteira como a Fisiologia, Fotoquímica, Biofotônica, Bioquímica, Físico-química, etc.

A compreensão da complexa interação entre os seres vivos e o ambiente impõe um novo paradigma no ensino de Biologia: “Se antes vida era caracterizada como substantivo, como “coisa”, a ser conhecida a partir do estudo de suas partes e em detalhes, hoje isso já não é mais possível. Integrados aos conhecimentos gerados pela Física e pela Química, os conhecimentos atuais da Biologia impõem um novo conceito, em que a vida, enquanto fenômeno a ser investigado, passa a ser vista como verbo, como processo, como ação. Ao professor, essa nova visão sobre a vida impõe também uma mudança de metodologia no ensino: além de dar importância aos componentes que caracterizam a vida (os seus constituintes químicos, as organelas, as células, os tecidos etc.), ele deverá, agora, preocupar-se também com os “comportamentos” desses constituintes da vida, buscando tornar evidente a seus alunos os processos mais amplos em que eles estão envolvidos” (MEC, 2006b).

“A percepção da profunda unidade da vida, diante da sua vasta diversidade, é de uma complexidade sem paralelo em toda a ciência e também demanda uma compreensão dos mecanismos de codificação genética, que são a um só tempo uma estereoquímica e uma física da organização molecular da vida. Ter uma noção de como operam esses níveis submicroscópicos da Biologia não é um luxo acadêmico, mas sim um pressuposto para uma compreensão mínima dos mecanismos de hereditariedade e mesmo da biotecnologia contemporânea, sem os quais não se pode entender e emitir julgamento sobre testes de paternidade pela análise do DNA, a clonagem de animais ou a forma como certos vírus produzem imunodeficiências” (MEC, 2004). A nanociência e a nanotecnologia são os mais recentes

desenvolvimentos que refletem, de maneira inequívoca, a necessidade de se estabelecer conexões entre as diferentes áreas da Ciência e de gerar novos conhecimentos unificados.

De modo algum as proposições interdisciplinares constituem tarefas simples. O grau de engajamento, diálogo e articulação necessário é muito superior às tradicionais e individuais e requerem, conforme apontam Weigert, Villani e Freitas (2005) “um tempo maior de diálogo entre os membros do grupo, mais disponibilidade para aceitar a diferença e para conhecer as contribuições que cada disciplina pode dar na construção, ou na reconstrução, de um conhecimento contextualizado”.

Esta propalada formação interdisciplinar deve estar baseada na flexibilidade, na abertura, na não-linearidade e no respeito pelas diferenças. O próprio mundo do trabalho, profundamente transformado pelas novas tecnologias, exige o desenvolvimento de novos saberes e competências que somente podem ser concretizados por intermédio desta formação. Na “rede global” na qual estamos inseridos ela possibilitará uma efetiva compreensão desse mundo e corresponde a melhor maneira de capacitar os indivíduos nas tomadas de decisões e nos processos de escolhas (Siqueira, 2003).

### **2.3. Criticidade**

A referência ao aspecto da criticidade, neste trabalho, está presente em dois momentos: ao longo de todo o processo de experimentação onde as tomadas de decisões passam necessariamente por critérios (técnicos e científicos) de julgamento e, após as investigações efetuadas, na consolidação de conhecimentos fundamentais para o exercício de uma análise mais ponderada sobre os fenômenos envolvidos.

O processo de experimentação está intimamente associado ao estímulo à criticidade. No confronto de critérios de julgamento que são necessários para tomada de decisões, as quais ocorrem nas mais diversas etapas da experimentação (desde a elaboração, montagem e execução dos experimentos e projetos), há uma necessidade constante de confrontar conhecimentos adquiridos escolhendo o que for mais aplicável e adequado para cada situação. A criticidade permeia o processo. Quando se denota a fragilidade do conhecimento formal diante de uma situação

prática, exerce a função, além da diagnóstica, a de apontar quais as possíveis sistematizações cabíveis.

Os experimentos, demonstrações, verificações, simulações e investigações propostos, pelo caráter dinâmico e interdisciplinar revelados, constantemente requerem a estipulação de qual conhecimento utilizar, qual o seu domínio e alcance, bem como quais as relações possíveis. Isso corresponde a uma inequívoca forma de elencar critérios e pô-los em circunstâncias intervenientes que exijam escolhas baseadas não numa 'intuição etérea' ou na base da tentativa (acerto e erro), mas fundamentada em conhecimentos científicos pertinentes.

Procuramos desenvolver estratégias que favorecessem a compreensão de conceitos não de forma estanque, mas de forma dinâmica em que o processo não se resume ao "método", vai muito além, pois o envolvimento ativo do educando está presente desde o início da construção dos equipamentos e instrumentos (selecionando o tipo e forma dos materiais a serem utilizados/adaptados), no controle das variáveis (até que ponto é possível controlar, quais não são passíveis de controle e o quanto influem nos resultados), na avaliação de possíveis influências dos materiais escolhidos, na análise, contextualização e limitações dos resultados obtidos.

Em certos níveis de ensino não é possível fugir das idealizações e/ou simplificações pois falta aos alunos o ferramental necessário para uma análise de situações e fenômenos mais complexos. Nada impede, entretanto, de conhecer essas limitações, de perceber que a realidade não é tão comportada e uniforme como muitos dos nossos livros insinuam (Erthal; Linhares, 2005). O senso crítico assim constituído adquire uma dimensão mais ampla e profunda: a de servir como discernimento para o conhecimento científico em questão. Ao pô-los em evidência nos contextos de utilização, os esquemas científicos elaborados poderão ser reconfigurados a fim de se ajustarem aos princípios evidenciados e portanto em franca coadunação com os parâmetros didáticos em questão.

Atividades práticas deveriam ter a participação do educando, se não em todas, na maior parte das etapas, inclusive na proposição do procedimento a ser seguido. "Tanto em situações em que a escola disponha de um laboratório em condições apropriadas para o desenvolvimento de demonstrações, experimentos e projetos, quanto nas situações em que isso não ocorra, o professor deve explorar também situações e materiais comuns, de fácil obtenção. Pode apresentar um

problema relativo a qualquer tema [...] como, por exemplo, verificar a origem do “bicho” da goiaba, e solicitar aos alunos que proponham um procedimento de laboratório. Um vaso de planta, um aquário ou um terrário feito em uma garrafa podem permitir o desenvolvimento de múltiplos conteúdos sem grandes gastos de dinheiro ou de tempo. Mais do que contornar uma situação desfavorável, tais práticas permitem ao aluno um novo olhar sobre o corriqueiro” (MEC, 2006a).

“Ao organizar uma atividade prática, o professor deve valorizar o processo, explorar os fenômenos e analisar os resultados sob vários ângulos. Caso os resultados obtidos sejam diferentes dos esperados, deve aproveitar a situação para discutir o processo de produção científica. Ou seja, possibilitar ao aluno vivenciar as etapas do método científico. Um cuidado a ser tomado é evitar a relativização do “tudo é possível e nada é certeza”. O professor pode aproveitar a atividade prática para discutir o que seriam erros de procedimento e a múltipla possibilidade de resultados e de interpretações que, às vezes, caracteriza a Ciência. Possibilitar ao aluno um comportamento crítico e criativo diante do processo e dos resultados deve ser um dos objetivos da experimentação” (MEC, 2006a).

“A proposta de práticas que apenas confirmem a aula teórica é rotina comum nas aulas [...], mas deve ser evitada tanto quanto possível pelo professor. As aulas práticas, longe de constituírem mera confirmação dos fenômenos ensinados na teoria, devem desafiar o aluno a relacionar informações. Não devem ser, simplesmente, “a aula teórica dada de outra maneira”. Embora a manipulação correta de materiais e equipamentos seja uma habilidade a ser desenvolvida, não deve ser a finalidade única da experimentação. A aula de laboratório deve estimular a proliferação e sistematização de idéias que conjuguem teoria e prática. Dessa forma, exercícios de problematização de fenômenos e processos, elaboração de hipóteses, sistematização de dados, análises e generalizações certamente contribuirão para ampliar os conhecimentos do aluno” (MEC, 2006a).

A quantidade crescente de técnicas e conhecimentos gerados na Biologia durante as últimas décadas, em especial, aquelas que envolvem aspectos éticos, cada vez mais presentes no cotidiano da sociedade, leva para a sala de aula a necessidade de uma discussão crítica, baseada em informações pertinentes. Sujeito a toda sorte de propagandas e campanhas, o aluno sente-se pouco confiante para se posicionar diante de temas como transgênicos, clonagem, reprodução assistida, entre outros. A lista de exemplos é enorme e envolvem questões que podem

interferir direta ou indiretamente em suas condições de vida, desde situações individuais e domésticas até questões que envolvem toda a população. “Aliás, essa é uma recomendação enfatizada nos PCN para o Ensino Médio, nos quais se considera que os conhecimentos em Biologia devem, justamente, servir a esse fim: subsidiar o julgamento de questões polêmicas”, além de outras ações do dia-a-dia: “os cuidados com corpo, com a alimentação, com a sexualidade”. (MEC, 2006a).

Como consta na Coleção explorando o ensino – Biologia, “se os objetivos a serem atingidos no ensino de Biologia fossem hierarquizados, estabelecendo-se as metas prioritárias a serem conquistadas, sem dúvida, a formação de um cidadão que domine a informação científica, a ponto de tornar-se crítico em relação aos próprios avanços científicos, ocuparia a primeira posição” (MEC, 2006b).

Relacionado a estas questões, lembremos do alerta feito por Bunge (*apud* Westphal e Pinheiro, 2004) sobre os perigos relativos à difusão das denominadas ‘pseudociências’, “já que estas tendem a passar especulações desenfreadas ou dados não controlados por resultados de investigação científica, transmitem uma visão equivocada da atitude científica, contaminam alguns campos do conhecimento, são bem mais acessíveis a milhões de pessoas do que a Ciência e, não raramente, contam com o apoio de poderosos grupos de pressão (p.e. igrejas e partidos políticos) e com a simpatia dos meios de comunicação em massa. Revela, ainda, que as pseudotecnologias são perigosas, pois se converteram em um negócio altamente lucrativo, que explora a credulidade do povo e que, muitas vezes, põem em risco o seu bem estar físico. É verdade, ou pelo menos, presume-se, que a pseudociência pode trazer pouco prejuízo ao cientista experiente, bem como a ‘pseudotecnologia’ pode causar pouco mal ao técnico bem treinado. Já ao leigo, ao cidadão comum, por não estar tão inteirado das ortodoxias científicas ou tecnológicas do momento, é prejudicial, pois este está sujeito a toda sorte de superstições, tanto àquelas que traz da infância como àquelas que vê veiculadas nos meios de comunicação, vendidas como se fossem provadas cientificamente”.

“Assim, não é por outra razão que as DCNEM (Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio) destacam a formação ética e o desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico como objetivo central do Ensino Médio. Somente esse caráter de terminalidade já seria suficiente para compreender que a reforma pretendida transcende a mera alteração de conteúdos a ensinar, mas

tem a dimensão mais ampla de desenvolver as várias qualidades humanas; daí a idéia de um ensino por competências” (Ricardo, 2003).

Para não condenarmos toda uma geração a ter como habilidade e/ou competência, quase exclusiva, “apertar botões” ou, quando muito, ser mera usuária de manuais de instruções, sem saber o que há por trás dos processos e como ocorrem, o desenvolvimento do pensamento crítico nas escolas deve ser estimulado constantemente em todas as circunstâncias. É sabido, por exemplo, que um grande grupo de profissões técnico-científicas instrumentalizou a maior parte de suas necessidades através do uso de programas de computador que trazem embutidos os conhecimentos científicos necessários a sua operacionalização. Corre-se “o risco de termos profissionais que sejam essencialmente usuários de programas crescentemente complexos, desenvolvidos por seus colegas de profissão. Sem entender em que estes programas são baseados, como interpretar os resultados que eles fornecem?” (Coelho, 2002).

“A UNESCO aponta o aprender a conhecer como um dos quatro eixos estruturais da educação na sociedade contemporânea. Considera-se a importância de uma educação geral, suficientemente ampla, com possibilidade de aprofundamento em determinada área de conhecimento. Prioriza-se o domínio dos próprios instrumentos do conhecimento, considerado como meio e como fim. Meio, enquanto forma de compreender a complexidade do mundo, condição necessária para viver dignamente, para desenvolver possibilidades pessoais e profissionais, para se comunicar. Fim, porque seu fundamento é o prazer de compreender, de conhecer, de descobrir. O aumento dos saberes que permitem compreender o mundo favorece o desenvolvimento da curiosidade intelectual, estimula o senso crítico e permite compreender o real, mediante a aquisição da autonomia na capacidade de discernir. Aprender a conhecer garante o aprender a aprender e constitui o passaporte para a educação permanente, na medida em que fornece as bases para continuar aprendendo ao longo da vida” (MEC, 2000).

A contextualização usada como recurso didático para problematizar a realidade vivida pelo aluno, extraí-la do seu contexto e projetá-la para a análise, serve para elaborar uma representação do mundo a fim de melhor compreendê-lo. Essa *competência crítico-analítica* não se reduz à mera utilização pragmática do conhecimento científico e exige uma contextualização histórica dos problemas que

originaram esse conhecimento científico e culminaram nas teorias e modelos vigentes, ampliando a visão do seu mundo cotidiano (MEC, 2006a).

Ao fazermos alguns estudos históricos, lendo artigos originais, autobiografias, registros de comentários e polêmicas, etc., certamente encontraremos material que poderá subsidiar a planificação de algumas atividades didáticas (Amador, 2001), especialmente no que tange às atividades experimentais. Por isso resgatamos, em algumas das nossas proposições experimentais, o aspecto histórico relacionado.

Amador (2001) ressalta que, “quando teorias não são apresentadas em seu contexto epistemológico e histórico, e não se questiona como e porque surgiram, certamente isso contribuirá para dificultar a sua compreensão bem como para a perda da criatividade de quem aprende”. Daí a importância do papel desempenhado pela História da Ciência no seu ensino, contribuindo, por exemplo, “na antecipação de obstáculos epistemológicos que possam dificultar os processos de aprendizagem, no desenvolvimento de estratégias de ensino baseadas em exemplos históricos (Praia, *apud* Amador 2001) ou, ainda, no estabelecimento dos “conceitos estruturantes” (Gagliardi e Giordan, *apud* Amador 2001) de cada área científica, conceitos estes cuja identificação e conhecimento permitem não só apoiar o desenvolvimento de estratégias didáticas como também fundamentar e estruturar novas propostas curriculares (Pedrinaci, *apud* Amador 2001)”.

Através do viés da investigação exploratória, a História da Ciência, fornecerá subsídios singulares de excepcional possibilidade argumentativa, uma riqueza de contrapontos, diversas implicações tecnológicas, compreensão de novas propriedades e princípios fundamentais.

Muitos professores podem encarar a utilização didática de exemplos históricos como uma perda de tempo por atrelarem a visão de Ciência a uma acumulação progressiva de conhecimentos, um processo linear em que no final se encontrará a verdade. Tal concepção ao ser contrastada com uma abordagem mais atual e crítica em que as teorias científicas são consideradas como entidades provisórias, susceptíveis de serem substituídas por outras, valorizando-se, especialmente, os mecanismos e os períodos de mudança, trará certamente bons reflexos no ensino das Ciências (Amador, 2001).

## 2.4. Criatividade

Apesar de ser uma das características mais almejadas e importantes no atual contexto educacional, revela pouco destaque mesmo em documentos recentemente produzidos pelo Ministério da Educação. A título de ilustração, uma busca por palavras no documento Orientações Curriculares para o Ensino Médio – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias (2006) revelou 52 ocorrências para ‘interdisciplinar’, 14 para ‘experimentação’ e apenas 4 para ‘criatividade’ sendo que em uma das vezes em que foi citada era para confecção de cartazes. A questão ainda é, tradicionalmente, muito mais atrelada ao fazer artístico e poucos são os trabalhos que discutem a criatividade no âmbito do ensino e da Ciência.

Considera-se muito importante estimular a criatividade. No entanto, quando se configuram possibilidades com potenciais realmente significativos e acessíveis para se dar vazão; quando somos desafiados a superar, adaptar, inventar, procurar alternativas e soluções que não as comumente apresentadas, ainda encontramos resistências em termos de abertura e aceitação para estratégias mais criativas. No que se refere, por exemplo, ao uso de material de sucata para montagem de experimentos, Moreira e Axt (1991) afirmam que “aquelas pessoas que realizam trabalhos exemplares com materiais simples [...] têm consciência de que a habilidade e a criatividade que é preciso ter para montar e dar sentido pedagógico a esses arranjos são – não apenas no Brasil – antes características individuais do que coletivas do magistério. Cabe ressaltar que a alternativa de material de baixo custo é uma solução adotada inclusive em países desenvolvidos que a utilizam, como complemento e incentivo à criatividade, sem abrir mão de equipamentos modernos e sofisticados quando necessário”.

Infelizmente uma característica tão essencial para ensino, que deveria ser estimulada entre professores e alunos, ainda é vista como uma capacidade pessoal limitada a poucos “privilegiados”. Talvez justamente por este tipo de pensamento permear a formação de professores é que não tenha se desenvolvido e se ampliado para a coletividade. Se desejamos alunos criativos temos que, também, procurar desenvolver nossa capacidade criativa e tentar aumentar o leque de recursos humanos e materiais com esta característica. Na concepção de Martinez (*apud* Barreto, 2007) o professor criativo é aquele que é capaz de “transmitir e extrair de seus estudantes vivências emocionais positivas em relação à sua matéria, ao

processo de aprendizagem e às realizações produtivas”. Portanto, se impõe ao professor e orientador: transformar sua didática num estilo de ensinar interessante (inovador), instigante (questionador) e inteligente (valoroso), enfim, num ensino criativo. Revela-se, por conseguinte, de extrema importância a atenção que devemos dar à formação dos docentes, pois é certo que o professor não-criativo não saberá promover a criatividade com os seus alunos (Barreto, 2007).

Abandonar a visão “complementar” do processo criativo, nas atividades que envolvem a utilização de materiais de baixo custo, é perceber que, mesmo dispondo de equipamentos e instrumentos sofisticados, o incentivo à construção e elaboração de recursos alternativos por meios próprios é extremamente enriquecedor em múltiplos sentidos. O que propomos, portanto, é o uso desta estratégia independentemente da existência de um laboratório nas escolas. Mesmo que haja um bom laboratório, bem equipado, a confecção de materiais alternativos deve ser uma atividade presente pelos motivos já citados.

Há, ainda, outras questões imbricadas neste raciocínio que merecem atenção: a valorização da auto-estima em elaborar, construir, enfim, criar, o próprio material, em utilizar um equipamento ou instrumento que você mesmo fez, e a questão do reaproveitamento de material da sucata tecnológica a disposição com a conseqüente diminuição do desperdício de material, muito mais que em qualquer outra época, se justifica pela própria consciência ecológica e política.

Imaginemos o que seria possível fazer, por exemplo, com um pote de margarina, alguns grãos de feijão, um pedaço de papel alumínio (da tampa de certos achocolatados) e um pouco de água? Pode-se construir um medidor da tensão superficial da água colocando a lâmina de alumínio sobre sua superfície e depositando, um a um, os grãos de feijão sobre esta lâmina. Quando afundar, após um certo número de grãos, repete-se o procedimento, afinal nossos pesos (os grãos) não são padronizados, então temos que fazer uma média; até porque não se pode confiar num único resultado, nem no primeiro, nem no quarto, mas num conjunto de resultados (habilidades matemáticas, inferências a necessidades de padrões nas investigações, elaboração de gráficos). E a partir deste rústico e simples aparato pode-se proceder inúmeras investigações (muitas sugeridas pelos próprios alunos): testar que tipo (marca) de sabão em pó é melhor; será que água de açude e do mar tem diferença, água recém coletada e água parada durante dias, água da chuva, do rio, fria, quente, etc. Que notável exemplo do uso de “sucata” para promover

investigações científicas! Que doutor em tensão superficial saberia, com razoável probabilidade de acerto, responder questões tão diversas? Que equipamento de laboratório seria necessário para fazer as medidas e qual sua complexidade de operação? Seria compatível com alunos do ensino fundamental onde temas importantes, como o da água, são abordados e conceitos tão presentes no cotidiano são difíceis de entender? Infelizmente falta-nos a referência à autora deste exemplo (uma professora da Pontifícia Universidade Católica PUC (RS) em uma palestra sobre atividades nas “extintas” feiras de Ciências, no final da década de 80).

A teoria de aprendizagem desenvolvida por Ausubel (Ausubel, Novak e Hanesian, 1978), insere-se na psicologia cognitiva, de linha construtivista, tem como idéia central a aprendizagem significativa, processo pelo qual uma “nova informação se relaciona, de maneira não arbitrária e não literal, com um aspecto relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo” (Moreira e Buchweitz, 1993). Sendo um processo que envolve interação entre a nova informação e uma estrutura de conhecimento específica, o qual denominou subsunçor (ou subsumidor), uma espécie de âncora para a nova aprendizagem. Segundo Ausubel, o grande objetivo da educação formal é a organização da informação para os alunos, a exposição de idéias de forma clara e precisa e a facilitação da sua aquisição de forma significativa. Apesar de defensor do ensino receptivo, reconhece vantagens no ensino por descoberta, apontando aspectos positivos para o recurso ao laboratório desde que este não seja utilizado de forma rotineira e redutora. Admite trabalho experimental tem potencialidades, proporcionando aos alunos oportunidade de se relacionarem com os processos científicos. E aos docentes fá-los refletir sobre as suas práticas, sentindo a premente necessidade de romper com a rotina e ensaiando estratégias inovadoras e promotoras de aprendizagem significativa, inclusive nas aulas de laboratório. E isto é tanto mais relevante no laboratório, local privilegiado para refletir sobre situações problemáticas, exercitando o pensamento crítico e dando largas à criatividade (Saraiva-Neves, Caballero, Moreira, 2007).

Nosso intuito é o de potencializar maneiras (especialmente pela via da experimentação) de promover a criatividade. Cremos que o princípio norteador seja o de desafiar os estudantes a superar suas próprias limitações e agregar elementos de contribuição, o que pode ser motivado a partir de bons exemplos e modelos. Afinal não se cria a partir do “nada”. Quanto mais referenciais tivermos mais nos aproximamos de uma elaboração mais complexa e diferenciada. Quanto mais

testamos e experimentamos, agregamos cada vez mais experiências que poderão desencadear novas atitudes criadoras. É um processo que se auto-alimenta.

Neste contexto, conforme afirma Martinez (*apud* Barreto, 2007), “é fundamental possibilitar ao aluno contato com um maior número possível de fontes bibliográficas, assegurando um conjunto de conhecimentos sólidos, historicamente difundidos, bem como novos conhecimentos, em prol de suas construções e elaborações criativas, favorecendo a análise de pontos de vista diversos, a adoção de posições próprias, a independência de julgamento e o desenvolvimento das capacidades de reflexão, elaboração e problematização”. Não basta, porém, apenas disponibilizar uma ampla e aprofundada literatura aos alunos, faz-se necessário o estímulo a leituras cada vez mais críticas e criativas e menos reprodutivas. A criticidade constitui-se num importante modo para se atingir a criatividade. Segundo Martinez (*apud* Barreto, 2007) “criatividade implica a crítica construtiva, como visão de insuficiências que devem ser superadas. Neste sentido, a crítica é um meio e não um fim” (Barreto, 2007).

Não se pretende que o processo criativo se torne um método, nem mesmo é possível afirmar que sua efetivação possa seguir determinadas etapas. Entretanto, uma tentativa de sistematização neste sentido ocorre no método TRIZ (sigla para as palavras russas que, em português, significam *Teoria para a Resolução de Problemas Criativos*). Inicialmente desenvolvido pelo cientista russo Genrich Altshuller e colaboradores para resolver problemas técnicos e de engenharia, chega a estabelecer etapas para aprofundar e dinamizar o processo criativo. Partindo de regularidades e princípios criativos verificados em mais de 50 milhões de patentes dos últimos 50 anos, tal método – que assume não ter a pretensão de substituir a criatividade humana e sim maximizá-la – elenca alguns procedimentos e princípios criativos que podem ser usados como ferramentas de potencialização (Lopéz; Almeida; Araujo-Moreira, 2004).

Nosso pensamento se aproxima do de Ostrower (2003) no sentido que “propomos desvincular a noção de criatividade da busca da genialidade, de originalidade e mesmo de invenção”. Tais atributos, segundo a autora, nos foram legados do Renascimento quando adquiriram sentido valorativo para que o indivíduo pudesse sobressair-se socialmente por méritos próprios dentro de uma sociedade de rígida estratificação que avaliava as qualidades extraordinárias de um trabalho realizado. Tal panorama mudou muito e hoje essas noções servem de programação

de currículo: 'seja genial', 'seja original'. Num quadro cultural como o nosso só é tido como criativo quem consegue ser 'genial'. O excepcional, indiscriminadamente valorizado sob as mais diversas formas sociais, virou parâmetro de desempenho criativo que amedronta a todos os que, por sentirem-se incapazes de atingi-lo minimamente, sequer esboçam alguma forma de produção própria, paralisando-os e condenando-os a copiar e reproduzir integralmente aquilo que outros fizeram (Ostrower, 2003).

Deste modo destinam-se milhares de potenciais criativos ao aprisionamento. Devemos ter em mente que mesmo "pequenas" e "singelas" contribuições (modificações no desenho ou na função, melhorias mais ou menos significativas, refinamentos, incrementos) são válidas e precisam ser estimuladas. Talvez sirvam de "inspiração" ou referência para graus mais elevados de criatividade (princípios novos, inéditos, originais, inovadores, raras descobertas) (Lopéz; Almeida; Araujo-Moreira, 2004).

Apesar de serem incipientes e reduzidas, é interessante apontar alguns resultados obtidos por algumas iniciativas como a do programa CTC – Ciência e Tecnologia com Criatividade, desenvolvida pelo Instituto Sangari (instituição plurinacional de origem inglesa, com mais de quarenta anos de atuação, presente no Brasil há cerca de dez anos) em diversos países, dentre eles o Brasil, em escolas públicas e privadas. Sem entrar no mérito da escolha de uma instituição "estrangeira" para convênios na área educacional, destacaremos alguns resultados de dois projetos-pilotos desta instituição em parceria com o município de Belo Horizonte (iniciado em 2006, envolvendo 11 escolas municipais, 160 professores, 40 formadores e 7.700 alunos do Ensino Fundamental) e com o município de São Paulo juntamente com a UNESCO (iniciado em 2002, em 15 escolas municipais de localização periférica, atendendo à população de baixa renda) (UNESCO, 2004; RITLA, 2007).

Não caberia, neste espaço, esmiuçar o delineamento destas propostas, mas pelas avaliações realizadas pode-se apreciar o quanto iniciativas focadas na integração de materiais instrucionais (a instituição fornecia kits para experimentos em sala de aula e material didático de apoio), da formação docente (capacitação e apoio permanentes) e da promoção à criatividade, podem contribuir para aprendizagens mais significativas. Para ilustrar elencamos alguns depoimentos de professores, acompanhantes, alunos e pais de alunos (RITLA, 2007):

- “Para mim foi superinteressante esse Projeto, porque meu filho está na 4ª série e nunca se interessou por nada e quando começou esse Programa da ciência, ele está alucinado, está guardando, ele sabe o nome das coisas” (Pai de aluno).

- “Eu vejo o prazer dos meus alunos, eles querem. “Não vai ter aulas de Ciências? Hoje não tem aulas de Ciências?”. Tem dias que eles até inventam. O dia que não tem aula eles falam que tem: “Não, professora, hoje tem aula sim”. Eu vejo que até na avaliação, essa avaliação formal, eles foram melhor” (Professora).

- “Nas aulas de Ciências com o CTC eu tive muitas aulas “super-mega-legais”, com experiências e textos superinteressantes. Tinha uma aula que gostei demais. Foi o sistema respiratório ele falava sobre o pulmão e as vias respiratórias” (Aluno).

- “Eu tive relato de um aluno que perguntou para a professora se, logo que o livro terminasse, ele podia ficar com o material usado”: “Eu posso ficar com esse material pra eu e a minha mãe fazer as experiências em casa?”. A professora falou: “Pode” (Acompanhante).

- “Quando éramos alunos, as nossas aulas de Ciências eram assim, teóricas... De vez em quando, íamos ao laboratório. E era o seguinte: não podíamos pegar em nada! Agora não, agora o laboratório está dentro da sala” (Acompanhante).

- “Com o CTC, eu voltei ao meu tempo de escola, e vi o quanto a matéria Ciências era importante para mim, porque ela me colocava para frente. Mas nós tínhamos professores que trabalhavam com o livro didático e a gente não passava por essa fase de experimentação. Mesmo assim, o que estava no livro era muito instigante para mim! Eu sempre ia buscar algo mais. E eu acho que esse movimento está sendo bacana nas escolas! Trabalhar da forma como nós temos trabalhado é fundamental no desenvolvimento dessa criança...” (Acompanhante).

- “Eu acho que, como eles estão tendo a oportunidade de manusear uma coisa tão linda, bonita – porque o material é bonito! – eles estão se sentindo o máximo! Porque tem material que é individual, que o aluno pode estar com ele na mão, experimentando! Ele tem trocado aula de Educação Física pela aula de Ciências”: “Não, professora, eu não quero aula de Educação Física! Eu quero aula de Ciências!” (Acompanhante).

- “O dia que tem aula de ciência é o dia que ela vem mais alegre pra escola” (Pai de aluno).

De modo geral, as constatações permitiram evidenciar a retomada pelo interesse e prazer pelas aulas de Ciências, uma melhoria no aprendizado dos conteúdos, uma revitalização em termos de atitudes e comportamentos e um encantamento pela Natureza, uma mobilização pró-ciência na comunidade escolar e local, após a implantação do CTC (UNESCO, 2004; RITLA, 2007).

Uma pesquisa desenvolvida por Chambers (1973) e citada em Alencar e Fleith (2003) constatou que professores universitários que se preocupam com o desenvolvimento da criatividade nos seus cursos apresentam perfis que envolvem o entusiasmo, o encorajamento da independência por parte de seus alunos, o reconhecimento dos estudantes como iguais, e, especialmente, a condução das

aulas de uma maneira mais informal, sem comprometer a qualidade da aprendizagem (Barreto, 2007).

Tal pensamento parece estar em ressonância com o de Mário Schenberg (entrevista publicada em 1984) ao comparar a Universidade do passado como a de hoje, afirma que “a Universidade brasileira antigamente era melhor do que a de agora. Por exemplo, pela diferença no modo de encarar o ensino. Naturalmente, havia pessoas preocupadas em dar aulas levando em conta a didática, mas havia uma certa intuição na Universidade de que o importante não era tanto transmitir conhecimento mas estimular a criatividade do aluno. De certa forma, havia uma tendência ao informalismo dentro da Universidade, que depois desapareceu, principalmente com a reforma universitária. Pode ser que algumas pessoas ainda o conservem, mas minha impressão é que isso desapareceu... O sistema atual não visa estimular a criatividade do aluno, mas sim a sua produção”.

De forma complementar, Bernhard Gross (entrevista concedida em 1976 e publicada 1986) manifesta a importância de aproveitar os materiais e fazer seus próprios aparatos como elementos essenciais de formação: “Uma coisa certamente me favoreceu: no instituto em que trabalhei na Alemanha, o físico precisava saber fazer tudo. Quer dizer, precisava ter a capacidade de saber fazer as coisas com as próprias mãos, sem depender de equipamento, aproveitando o que existia e sabendo construir o que faltava. Isso era uma orientação mais ou menos geral na Alemanha. Nós, de certo modo, fomos educados assim: o físico precisa saber fazer tudo. No tempo em que estudei, o equipamento todo era produzido na oficina do Instituto de Stuttgart. Por exemplo: não se compravam contadores. Todo mundo tinha que fazer o seu. Isto, de certo modo, era um tipo de Física”.

Frota-Pessôa se expressa da seguinte forma: “O que torna um professor interessante é dar certa liberdade aos alunos no sentido de deixá-los desenvolver sua criatividade, dar bastante exercícios e corrigi-los, fazer pesquisas e transmitir entusiasmo aos alunos”

Tais relatos evidenciam que o acesso a vivência num ambiente educacional de liberdade responsável que vise promover o espírito de investigação e de criação e permita o desenvolvimento das capacidades naturais do aluno, é fundamental na consolidação de carreiras científicas, e, por conseqüência, de um sistema de ciência e tecnologia sólido em qualquer país.

“Seja qual for a área de atuação, a criatividade se elabora na capacidade de selecionar, relacionar, e integrar os dados do mundo externo e interno, de transformá-los com o propósito de encaminhá-los para um sentido mais completo. Ao transformarmos as matérias, agimos, fazemos. São experiências existenciais – processos de criação – que nos envolvem na globalidade, em nosso ser sensível, no ser pensante no ser atuante. Formar é mesmo fazer. É experimentar. É lidar com alguma materialidade e, ao experimentá-la, configurá-la. Sejam os meios sensoriais, abstratos ou teóricos, sempre é preciso fazer” (Ostrower, 2001).

### **3. Livro: Radiações, Moléculas e Genes – Atividades didático-experimentais.**

Durante o andamento do trabalho tivemos uma dúvida quanto a forma de aplicação das propostas: se deveriam ser utilizadas e testadas em alunos do ensino médio ou em professores por intermédio de cursos e/ou oficinas. As opiniões advindas de colegas e professores do curso nos debates ocorridos durante os seminários nortearam o rumo do mesmo, ao sugerirem que não haveria uma necessidade de serem aplicados diretamente. Tendo em vista que a quantidade e qualidade do que estava sendo produzido seria suficiente e relevante para ser divulgado, aconselhou-se que a melhor forma seria através de publicações, de fácil acesso, para atingir um universo maior de interessados. Mesmo assim, para averiguar a receptividade e o potencial didático das propostas, submetemos muitas das atividades e algumas aplicações diretas dos experimentos com alunos universitários numa oficina de Ciências (aberta a estudantes de Biologia e de Física) na Universidade Federal de Santa Maria e aplicação em sala de aula, durante estágio docente, em uma disciplina do Curso de Ciências Biológicas da mesma universidade.

Os resultados se mostraram extremamente satisfatórios. Nas oficinas o interesse e o envolvimento dos professores e acadêmicos são permanentes. Constataram que, com poucos e acessíveis recursos pode-se até mesmo investigar conceitos e propriedades mais complexas e profundas dos fenômenos envolvidos. Com os alunos houve, entre outros tantos resultados positivos, um retorno extremamente significativo de um grupo que construiu e fez uso de equipamento alternativo em comparação com outro grupo que utilizou equipamento tradicional de laboratório, apresentando uma compreensão muito mais elaborada e coerente do funcionamento do aparato em si, bem como dos resultados obtidos; em detrimento ao outro grupo que, preso a um protocolo pré-estabelecido, seguiu-o como se fosse uma “receita de bolo” acabou não obtendo os resultados esperados, muito menos entendeu o que estava acontecendo no aparelho. No Anexo II consta um pequeno artigo produzido pelo grupo que valeu-se de recursos simples e alternativos para uma aprendizagem consistente.

O livro será publicado pela Sociedade Brasileira de Genética (SBG), visando ser uma fonte de divulgação de atividades didático-experimentais com um suporte teórico, destinado a professores do Ensino Médio (e até universitário) de Biologia,

Física e Química. Aceito pela comissão editorial (no Anexo I apresentamos a proposta inicial que foi submetida para apreciação), o livro está em fase de finalização.

O material que segue corresponde a maior parte da produção desenvolvida ao longo do curso, que esperamos possa contribuir para efetivação dos preceitos aqui propalados.

# Radiações, Moléculas e Genes.

**Paulo H S Sartori <sup>1</sup>**

**Lenira M N Sepel <sup>2</sup>**

**Élgion L S Loreto <sup>2</sup>**

**1 - Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.**

**Rua Ramiro Barcelos, 2600 - Prédio Anexo. CEP: 90035-003**

**Fone: (51) 3316-5539 / e-mail: paulo-sartori@ibest.com.br**

**2 - Departamento de Biologia - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.**

**Campus Universitário - Prédio 16. CEP: 97105-900**

**Fone: (55) 3220-8912 / e-mail: elgion@base.ufsm.br**

## Sumário:

- Agradecimentos .....	4(50)
- INTRODUÇÃO:	
Radiações: tema para interdisciplinaridade .....	5(51)
- CAPÍTULO 1	
Entendendo as radiações .....	9(54)
Classificação das radiações .....	10(55)
Conseqüências biológicas das radiações ionizantes .....	12(57)
Energia radiante e interação com a matéria .....	14(59)
ATIVIDADES EXPERIMENTAIS .....	15(60)
1. Enxergando o invisível .....	17(61)
2. Testando o poder de penetração de uma RIV.....	18(62)
3. Detecção da RIV no espectro eletromagnético .....	24(68)
4. Ferramentas de investigação - construindo Espectroscópios e Espectrofotômetros caseiros .....	26(70)
- CAPÍTULO 2	
Um encontro entre a física e a biologia .....	43(87)
As radiações e suas interações com as moléculas biológicas .....	52(95)
ATIVIDADES EXPERIMENTAIS	
1. Mutagênese somática em larvas de <i>Drosophila</i> promovidas por RUV.....	59(101)
2. Usando o espectro para identificar moléculas .....	63(105)
3. Porque a vida prefere as moléculas canhotas?.....	74(116)
4. Como a radiação de microondas afeta as moléculas orgânicas?.....	81(123)
5. Simulação da difração da estrutura helicoidal do DNA .....	84(126)

### - CAPÍTULO 3

Os sistemas biológicos e a radiação ultravioleta .....	88(130)
Evolução da atmosfera antes dos seres vivos .....	88(130)
A atmosfera modificada pelos seres vivos .....	89(131)
Proteção contra RUV.....	90(132)
Compreendendo as variações na coloração da pele .....	95(137)
Explicações evolutivas para as variações geográficas nas intensidades de coloração de pele .....	99(140)
Redução na camada de ozônio.....	104(145)

#### ATIVIDADES EXPERIMENTAIS

1. Efeitos germicida da RUV em <i>Saccharomyces cerevisi</i> .....	104(145)
2. Fazendo medidas físicas da eficiência dos bloqueadores de radiações UV.....	117(158)

### - CAPÍTULO 4

Os sistemas biológicos produzindo radiações .....	130(169)
---	----------

#### ATIVIDADES EXPERIMENTAIS

1. Calcita, extrato de carqueja, água tônica, pólen de <i>Hemerocallis fulva</i> e pedipalpos da aranha <i>Cosmophasis umbratica</i> . Algo em comum?.....	130(169)
2. Clorofila fica luminescente?.....	143(180)
3. Podemos usar a fotoluminescência como instrumento de análise?.....	146(183)

ANEXOS .....	151(188)
--------------	----------

BIBLIOGRAFIA .....	154(190)
--------------------	----------

## **Agradecimentos**

Agradecemos à Sociedade Brasileira de Genética pela oportunidade de divulgar nosso trabalho e em especial ao Prof. Dr. Pedro Galetti Jr. pelo incentivo neste trabalho. Agradecemos também ao Prof. Dr. Tarso Kist (Departamento de Biofísica - UFRGS), à Profa. Dra. Vera Lucia Valente (Departamento de Genética - UFRGS), aos colegas do PPG em Educação em Ciências (UFRGS), à Neida Sepel e Zenilda Cardozo Sartori por valiosas sugestões.

## INTRODUÇÃO

### **Radiações: tema para interdisciplinaridade entre Física e Biologia**

Embora passem despercebidas a maior parte do tempo, as radiações estão sempre presentes. Circundam-nos, refletem em nossos corpos, nos atravessam. Quando lembramos da luz e da fotossíntese, percebemos que quase todas formas de vida dependem das radiações. Mas as interações entre seres vivos e radiações não se restringem à fotossíntese, vão muito além. Por exemplo, a visão, a bioluminescência, a bio-fosforescência e também as mutações (e, portanto, a formação de câncer e possibilidade de evolução) são fenômenos biológicos em que as radiações estão envolvidas.

Enquanto fenômeno físico definido como processo de emitir energia na forma de ondas e/ou partículas, as radiações, por milênios vêm encantando os seres humanos. Diferentes culturas, em diferentes épocas, criaram numerosos mitos e lendas para explicar os acontecimentos naturais associados às radiações. Na Ciência, as radiações estão entre os temas geradores das mais importantes descobertas e teorias desenvolvidas nos séculos XIX e XX.

Entender a natureza, o funcionamento e os efeitos das radiações é gratificante por si mesmo, mas esses temas podem se tornar ainda mais encantadores quando o processo de aprendizado for acompanhado por experimentos que permitam vivenciar aspectos das teorias explicativas.

O desenvolvimento tecnológico contemporâneo tem tornado disponível um grande número de equipamentos de serviços que fazem uso e/ou emitem radiações. Assim, além das radiações naturais, com as quais nossos ancestrais mais remotos já conviviam, hoje estamos expostos e utilizamos no cotidiano as radiações provenientes de novas fontes: telefones, TVs, rádios, microondas, controles remotos, etc...

Outras fontes novas de radiação são os equipamentos que não estão presentes em nossas casas, mas são utilizados, por exemplo, em hospitais, aeroportos, clínicas de estética. Esses equipamentos embora sejam extremamente úteis também são potencialmente perigosos.

Ter um entendimento mínimo de como funcionam os equipamentos que cercam o nosso cotidiano ou que eventualmente podemos utilizar é essencial para que possamos viver no nosso tempo e termos uma compreensão do tempo em que vivemos.

Hoje, entender o que são as radiações e como elas interagem com nosso organismo e com o ambiente, vai além da necessidade de satisfazer curiosidades, é também uma questão de cidadania. Poderemos nos posicionar sobre políticas governamentais como instalar ou não usinas nucleares, ou tomar decisões individuais sobre usar ou não o telefone celular, o microondas ou o bronzamento artificial, se as informações disponíveis na mídia são tão contraditórias? Somos expostos a notícias “bombásticas” sobre o perigo de aparelhos ou equipamentos que emitem radiações e também somos alvos de campanhas publicitárias sofisticadas que demonstram a utilidade desses produtos e o conforto que propiciam. Teremos o conhecimento mínimo necessário para processar essas informações? Podemos assistir na TV reportagens sobre o perigo das radiações emitidas por lâmpadas fluorescentes. Recebemos e-mails conclamando a reduzir o uso de telefone celular, pois há o risco de desenvolver câncer no cérebro, e mensagens para evitar bronzamento artificial porque causa câncer de pele. Na mídia, ao contrário, dezenas de peças publicitárias estimulam e enfatizam as vantagens do uso de telefones celulares enquanto que outras e valorizam os resultados estéticos obtidos através do bronzamento artificial.

Um modo eficiente de valorizar um produto é associá-lo à alta tecnologia. Por exemplo, um esmalte de biocerâmica que emite radiações infravermelhas para eliminar fungos de unhas, não é definitivamente um esmalte comum - mas será que funciona para o propósito anunciado? Como saber? Confiar na “alta tecnologia” anunciada e experimentar, pagando o preço mais elevado e assumindo o risco de que talvez não funcione? Como pode um cidadão consciente filtrar a vasta quantidade de informações constantemente recebidas? Como decidir quais destas informações devem desencadear mudanças de atitude no dia-a-dia ou podem ser descartadas por serem absurdas? Em que situações deve-se aplicar o “princípio da precaução”? Em nossa sociedade tecnológica constituída por informação proveniente de fontes tão variadas e velozes como TV e internet, por vezes é difícil processar, avaliar e ter uma posição crítica frente ao que recebemos. Ciência e pseudociências são facilmente confundidas e só podemos ser “verdadeiros

cidadãos” se tivermos uma alfabetização científica, capaz de permitir uma opção consciente entre as informações veiculadas e os produtos oferecidos.

Acreditamos que a vivência da experimentação e do uso da lógica como ferramentas de produzir conhecimento são fundamentais para processo de “alfabetização científica” e para gerar cidadãos mais críticos. As atividades experimentais, mesmo que sejam simples e com caráter demonstrativo, devem ter um lugar de destaque no ensino de Ciências, para que possa ocorrer de modo mais claro o confronto entre as diferentes hipóteses explicativas com “o que acontece na natureza”. De modo geral, nos vários ramos das Ciências Naturais, os experimentos são delineados para permitir esse confronto e a produção de conhecimento surge das comparações entre o que era esperado e o que foi obtido. É a realização de experimentos que permite o contato entre o “mundo da idéias”, das hipóteses e teorias com o que acontece na natureza e é a observação e análise dos resultados que faz com que a Ciência seja uma forma CRÍTICA de gerar conhecimento.

Propomos neste livro uma abordagem interdisciplinar sobre radiações, ligando Física e Biologia. Procuramos tratar os conceitos abordados com uma linguagem simples e direta, tentando contornar as dificuldades que poderiam ser criadas pelo excesso de termos técnicos da área de Biologia ou pelas numerosas fórmulas matemáticas da área de Física. Ainda que correndo o risco de criar imprecisões, tentamos desenvolver um texto sobre radiações que fosse “ameno” e “interessante” tanto para os professores da área de Biologia quanto para os da Física.

O objetivo principal deste trabalho é apresentar um conjunto de **atividades didático-experimentais**, para serem desenvolvidas em sala de aula, que possibilitem a abordagem integrada de Física e Biologia, tendo como tema unificador as radiações. Muito já se escreveu e se falou sobre a necessidade de se romper os limites estanques das disciplinas durante o processo de ensino. No ensino de Ciências, a fragmentação dos conhecimentos em disciplinas de Química, Física e Biologia explica em grande parte a dificuldade que os alunos apresentam em transferir o que é “apreendido” de uma área para a outra. O desenvolvimento de atividades interdisciplinares, envolvendo os professores de mais de uma disciplina é uma excelente alternativa para romper esta fragmentação, propiciar vivências de integração entre informações e desenvolvimento de espírito crítico.

## CAPÍTULO 1

### ENTENDENDO AS RADIAÇÕES

As radiações podem ser definidas como energia que se propaga em forma de ondas e/ ou partícula. As radiações podem abranger uma gama muito variada de fenômenos com muitas características comuns, mas também diversificadas peculiaridades.

As radiações sempre estiveram associadas a “emanações”. Muitas vezes o que estava sendo emanado demorou muito tempo para ser desvendado. Daí entende-se termos como raios X ou raios de Röntgen (“x” de algo incógnito, desconhecido, como o “x” da matemática), raios catódicos (que saíam do cátodo), raios cósmicos (que provinham do espaço), etc. A elucidação da constituição das radiações mostrou que se tratavam de partículas elementares ou de ondas eletromagnéticas.

Teorias e experimentos realizados no final do século XIX e início do século XX revolucionaram o modo como compreendemos a natureza da luz e da matéria. Para conciliar fenômenos de comportamento tipicamente ondulatório (reflexão, refração, interferência, difração) e de comportamento notoriamente corpuscular (efeito fotoelétrico) manifestados pela luz, foi proposto que este comportamento ambíguo podia ser caracterizado por uma dupla natureza: a dualidade **onda-partícula** ou natureza "dual". Cabe ressaltar, conforme proposto pelo físico dinamarquês Niels Bohr, que “em cada evento a luz comporta-se como partícula ou onda, mas nunca como ambas simultaneamente”.

Quando se verificou que uma partícula, como o elétron, manifestava comportamento semelhante ao da luz (evidenciado pelo experimento da difração de elétrons), o caráter ondulatório da matéria se revelou. A tecnologia do microscópio eletrônico, por exemplo, só se tornou viável graças à aplicação desta propriedade dos elétrons.

Quando tentamos entender o que é uma radiação, do que é “feita”, qual sua essência, estamos na busca de sua **natureza**. Além disso, outros aspectos também podem ser considerados na investigação das radiações, por exemplo, é importante conhecer suas **propriedades**, seus efeitos, como são “produzidas”, quais suas **fontes**. Didaticamente, pode-se adotar esses aspectos para classificar os diferentes

tipos de radiações, destacando sua variedade e complexidade quanto á natureza, propriedades.

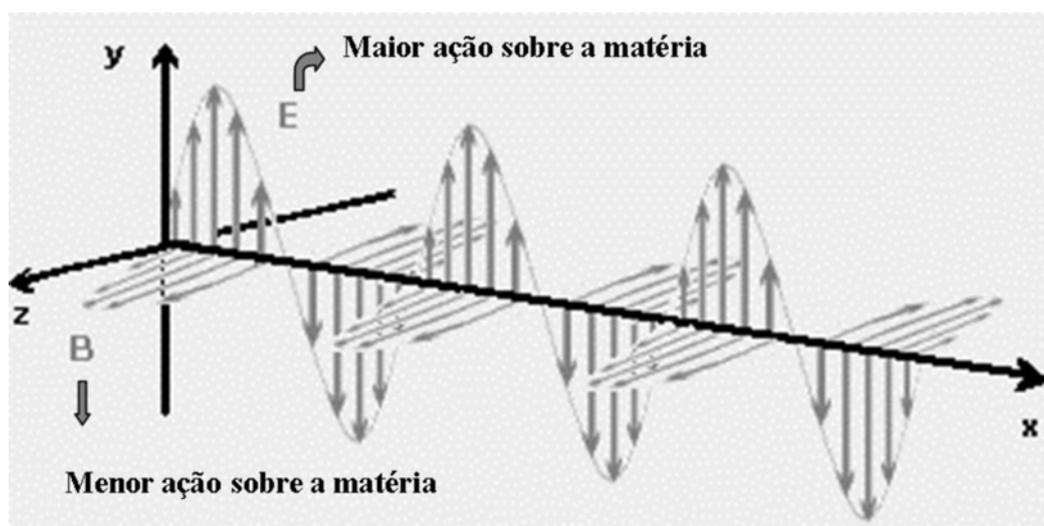
## Classificação das radiações

### *Classificação das radiações quanto a sua natureza*

As radiações podem se apresentar sob a forma de ondas eletromagnéticas ou de partículas elementares.

#### **a. Caráter ondulatório - radiações como ondas eletromagnéticas**

Raios gama, raios X, luz visível, radiação infravermelha, microondas e ondas de rádio (não confundir com as ondas sonoras!) são radiações compostas por campos elétricos e magnéticos oscilantes. Elas são emitidas e se propagam de forma discretizada (descontínua) sob a forma de “pacotes” de energia, chamados de *quanta* (latim; plural de *quantum*) ou *fótons*. O fóton representa o comportamento corpuscular das ondas eletromagnéticas.



**Figura 1.1** - Representação de uma onda eletromagnética se propagando no espaço, em que x, y e z representam coordenadas cartesianas espaciais. A letra **E** corresponde ao Campo Elétrico oscilante (de maior efeito sobre a matéria) e a **B** ao Campo Magnético oscilante (de menor atuação sobre a matéria).

A Figura 1.1 mostra os campos elétricos e magnéticos perpendiculares entre si e representa apenas um plano de oscilação para cada campo. Na realidade os planos de oscilação são múltiplos e preenchem o espaço em torno do eixo de propagação. A distância entre um pico de uma onda (crista) e o próximo chamamos de comprimento de onda. A freqüência corresponde ao número de oscilações que ocorre a cada segundo.

## **b. Caráter corpuscular - radiações como partículas**

Partículas alfa (dois prótons e dois nêutrons, igual ao núcleo de Hélio 4), nêutrons, prótons,  $\beta^-$  (são elétrons) e  $\beta^+$  (possuem massa igual a dos elétrons mas com carga positiva, também chamados de pósitrons ou anti-elétrons). Além da massa de repouso estas radiações são dotadas de energia cinética. Já o comprimento de onda associado às partículas em movimento é conhecido como “comprimento de onda de De Broglie”, o qual representa o comportamento ondulatório da matéria.

### *Classificação das radiações quanto aos seus efeitos*

As radiações, em função de suas energias, podem apresentar diferentes efeitos sobre a matéria e em relação à capacidade de ionização podem ser classificadas como ionizantes e não ionizantes.

#### **a. Radiações ionizantes**

São as radiações que têm energia suficiente para ionizar (arrancar, remover elétrons de suas órbitas) produzindo átomos e moléculas eletricamente carregados conhecidos como íons. Exemplos: raios X, raios gama, radiação alfa.

#### **b. Radiações não ionizantes.**

As radiações não possuem energia suficiente para remover elétrons de seus orbitais são denominadas não ionizantes. Exemplos: radiação infravermelha, microondas e ondas de rádio.

Numa faixa muito próxima a das radiações ionizantes estão situadas radiações que, embora não sejam capazes de arrancar elétrons (portanto não ionizantes) possuem energia suficiente para excitá-los, fazendo-os passar para níveis energéticos superiores. Essas radiações podem até provocar rupturas em certos tipos de ligações moleculares e são comumente denominadas radiações **excitantes**. A radiação ultravioleta e a luz visível são exemplos de radiações não ionizantes, mas de elevado potencial de excitação eletrônica.

### *Classificação das radiações quanto a suas fontes*

#### **a. Radiações providas de fontes naturais**

São as radiações encontradas na natureza, independentes da ação humana. Por exemplo, do Sol radiações de diversos comprimentos de onda como radiação

ultravioleta, luz, radiação infravermelha e outras. Na crosta terrestre existem dezenas de nuclídeos radioativos. Um minério chamado plechblenda, por exemplo, contém urânio o qual emite radiações alfa para estabilizar seus núcleos atômicos. Os chamados “raios” cósmicos, que de fato são partículas sub-atômicas (prótons na sua maioria) também são fontes de radiações naturais, pois ao atingir a atmosfera terrestre desencadeiam um chuva de raios gama e mésons. Estes, ao passarem pelo corpo humano podem produzir íons e romper ligações químicas e até promover danos ao DNA.

#### **b. Radiações providas de fontes artificiais**

São as radiações produzidas por intermédio de aparelhos e reatores como, por exemplo: os raios X, provenientes da frenagem de elétrons acelerados por elevada diferença de potencial contra alvos no interior de ampolas; a radioatividade induzida em elementos químicos por irradiação de nêutrons em reatores nucleares; a radiação de microondas, originadas de oscilações ressonantes induzidas por elétrons emitidos por filamentos aquecidos e desviados por campos magnéticos como ocorre nos magnetrons dos fornos de microondas.

## **CONSEQÜÊNCIAS BIOLÓGICAS DAS RADIAÇÕES IONIZANTES**

Os seres vivos possuem mecanismos de reparo de DNA lesado por radiações ionizantes e outros. Mas a exposição excessiva pode provocar danos em níveis micro e macroscópicos (órgãos, tecidos, células, organelas, moléculas) pela ação direta da radiação (geralmente ionizante) ou indireta (formação de íons e radicais livres reativos).

Os efeitos das radiações dependem de diversos fatores físicos, químicos e biológicos tais como: tempo de exposição, intensidade e distância da fonte emissora, área afetada, tipo de radiação, constituição do meio irradiado, grau de maturação, estado fisiológico, etc.

#### **a. Relação dose e efeito**

##### *Efeitos determinísticos*

Os efeitos das radiações serão considerados determinísticos quando forem proporcionais à dose: quanto mais alta a dose mais severo o efeito. Nesse caso, existe um valor de dose a partir da qual os efeitos surgem sendo, portanto,

previsíveis. Exemplos de efeitos determinísticos incluem surgimento da “síndrome de radiação”, das malformações congênitas (ação teratogênica das radiações) e de opacidade na córnea (catarata).

#### *Efeitos estocásticos*

São considerados estocásticos os efeitos que podem surgir sem que uma dose limite de radiação tenha sido ultrapassada. Qualquer exposição à radiação está associada a uma probabilidade de ocorrência do efeito e a manifestação poderá ser observada, mesmo que a dose recebida seja pequena. Os efeitos estocásticos podem levar muito tempo para serem detectados. O envelhecimento precoce, a diminuição da longevidade e as mutações gênicas e alterações cromossômicas associadas ao desenvolvimento de células tumorais, são alguns exemplos de efeitos estocásticos das radiações.

#### **b. Relação tempo e efeito:**

##### *Efeitos a agudos ou imediatos (curto prazo)*

São manifestações geralmente associadas a elevadas doses de radiação, em extensas áreas, por curto período de tempo e em conjunto constituem a Síndrome de Radiação Aguda (SRA). Alguns efeitos são notáveis a partir de poucas horas depois da exposição à radiação e outros se manifestam até algumas semanas após. A SRA, em seres humanos, inclui náuseas, vômito, diarreia, hemorragias, queda de cabelo, perda de peso. A intensidade e a letalidade desses sintomas dependem da dose e de variações individuais.

##### *Tardios ou Retardados (longo prazo)*

Indivíduos expostos por pouco tempo a grandes dosagens de radiação podem superar os efeitos agudos e restabelecer as condições de saúde. Do mesmo modo, indivíduos sujeitos a pequenas doses de radiação por longos períodos podem não manifestar sintomas específicos. Porém, em ambas as situações espera-se a longo prazo a manifestação de crescimentos tumorais, pois o câncer é o efeito tardio mais comum da exposição às radiações.

#### **c. Tipos de células afetadas**

##### *Células gaméticas*

Quando órgãos reprodutores são expostos à radiação, as células gaméticas podem ser atingidas e mesmo que o indivíduo aparentemente não seja afetado,

seus descendentes poderão manifestar algum efeito dessa exposição. Às mutações nas células que constituem os gametas estão associadas anormalidades variadas na descendência do indivíduo, sendo comuns os defeitos físicos ou mentais e o aumento na suscetibilidade para doenças crônicas.

#### *Células somáticas*

As células somáticas que constituem os diferentes tecidos e órgãos são predominantemente atingidas pelas radiações e são diretamente responsáveis pelas alterações funcionais que podem ser observadas no indivíduo. As modificações genéticas produzidas nessas células não são transmitidas à descendência, ficando restritas ao indivíduo exposto. Os principais efeitos das radiações ao atingirem células somáticas serão carcinogênese (desenvolvimento de células tumorais) e teratogênese (quando tecidos embrionários ou fetais forem expostos). As conseqüências dependerão da interação de inúmeros fatores tais como: tempo de exposição, tipo de tecido, área afetada, dose recebida, intensidade da radiação, etc.

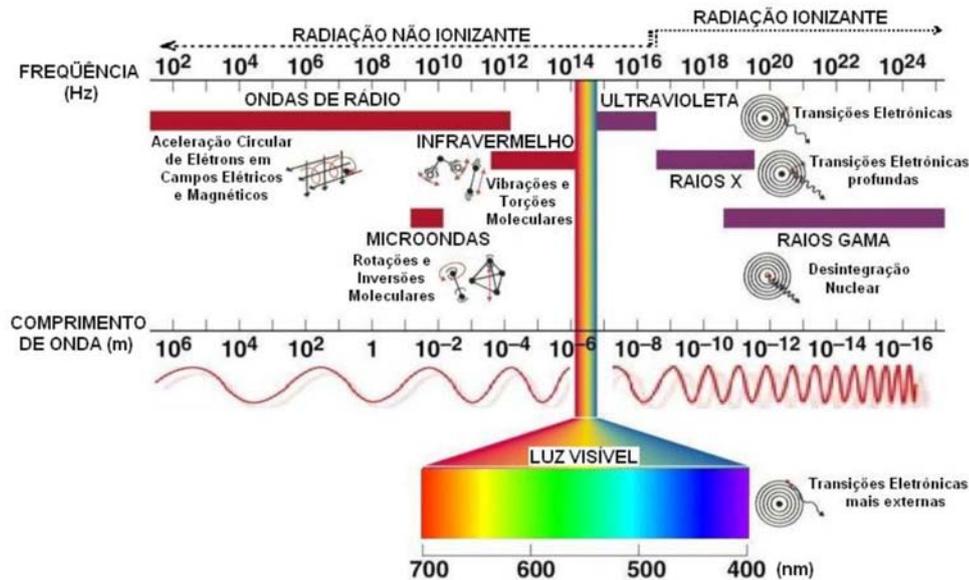
## **ENERGIA RADIANTE E INTERAÇÃO COM A MATÉRIA**

### *Espectro eletromagnético*

Ao conjunto das radiações eletromagnéticas conhecidas, agrupadas geralmente em ordem crescente de freqüência ou energia (ou decrescente de comprimento de onda) denominamos espectro eletromagnético.

A visualização do conjunto permite situar e classificar cada faixa de radiação, possibilitando comparações mútuas.

Importa salientar que os diversos intervalos de freqüências não são, em muitos casos, exatamente definidos chegando, algumas vezes, a se superporem. A distinção será então estabelecida por outros critérios como, por exemplo, a origem. Este é o caso das radiações eletromagnéticas de comprimento de onda próximo a 0,1 nm que possuem idênticas características e propriedades físicas: se originadas do núcleo atômico são denominados raios gama, se provierem da eletrosfera, são raios X.



**Figura 1.2** - Espectro Eletromagnético mostrando a distribuição nas faixas de comprimento de onda e frequência. Indica resumidamente a origem física de cada radiação e a classificação quanto à capacidade de ionização.

## ATIVIDADES EXPERIMENTAIS

Desenvolveremos algumas sugestões de atividades experimentais, simulações e construção de alguns aparelhos relacionados aos fenômenos de percepção da radiação, investigação e interação da radiação com a matéria. Muitos dos termos, peças, componentes eletrônicos e dispositivos utilizados podem não ser familiares ao leitor. Aconselha-se então, sempre que necessário, consultar o glossário em anexo, onde também são apresentadas algumas dicas de onde obter estes materiais.

### *A radiação “quase visível”: Radiação Infravermelha (RIV):*

A distribuição espectral da RIV é comumente subdividida em faixas:

Faixa	Denominação	Comprimento de Onda
IV A	Infravermelho Próximo	720 – 3000 nm
IV B	Infravermelho Médio	3,0 – 6,0 $\mu\text{m}$
IV C	Infravermelho Distante	6,0 – 15,0 $\mu\text{m}$
-	Infravermelho Extremo	0,015 – 1,0 mm

O principal efeito da RIV ao interagir com a matéria é térmico. Não se trata, porém, de uma radiação de aquecimento (noção que deve ser evitada), pois qualquer radiação é capaz (em circunstâncias adequadas – específico comprimento de onda absorvido e intensidade devida) de provocar aumento de temperatura. É possível encontrar substâncias (tal como o sal de cozinha) que não aquecem sob ação da RIV, pois não a absorvem. Tal efeito não é intrínseco da radiação em si, mas da sua interação com a matéria.

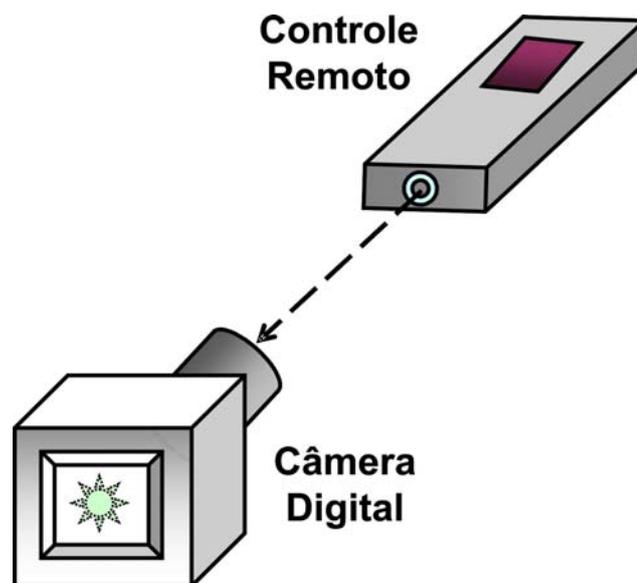
O efeito térmico foi o sinal que permitiu a “descoberta” da RIV por Sir William Herschel em 1800, quando posicionou um termômetro com bulbo enegrecido um pouco atrás da região vermelha do espectro contínuo, obtido por intermédio de um prisma atravessado por um feixe de luz solar. Hoje se sabe que esta faixa de radiação não possui energia suficiente para sensibilizar as células sensíveis à luz (cones e bastonetes) da retina humana sendo, portanto, invisível para nós.

Graças a sua interação termal a RIV é largamente utilizada em fisioterapia, em câmaras de aquecimento para pequenos animais, em secagem de vernizes, na indústria, etc. Objetos aquecidos também emitem RIV, incluindo os animais de “sangue quente”. O corpo humano possui uma emissão típica em torno de 9,4  $\mu\text{m}$ . Alguns materiais que são opacos à RIV podem ser totalmente transparentes à luz visível; o vidro, por exemplo, é transparente para RIV próximo e opaco para RIV médio, a água é transparente à luz visível e opaca para RIV.

### **Atividade experimental 1:**

#### **Enxergando o invisível**

Um modo muito simples de detectar a radiação infravermelha (RIV), que para os seres humanos não é visível, consiste em acionar um controle remoto de TV ou similar em frente a uma câmera digital (pode ser de um celular), conforme o esquema da Figura 1.3. Os controles remotos emitem RIV, que nosso olho não consegue ver, porém as câmeras digitais captam este comprimento de onda.



**Figura 1.3** - Esquema da visualização da radiação infravermelha no visor de uma câmera digital.

### **Atividade experimental 2:**

#### **Testando o poder de penetração de uma RIV**

Para ilustrar a capacidade de penetração de uma radiação infravermelha, propomos associar à idéia de aplicação desta propriedade ao princípio de funcionamento de alguns tipos de aparelhos de diagnóstico clínico amplamente utilizados.

Tecidos sadios apresentam diferentes capacidades de absorção quando comparados com tumores e cistos (que muitas vezes consistem basicamente de uma bolsa de água). Ou seja, é possível diferenciá-los pela propriedade da transparência do meio àquela radiação. Isto muitas vezes tem a ver com a densidade do meio. Mas tecidos sadios e não sadios podem apresentar densidades similares e serem bastante homogêneos se comparados uns com os outros. Por isso a necessidade de diferenciar os tecidos por intermédio de outras propriedades tais como: a impedância acústica (uma espécie de resistência à passagem da onda sonora) percebida pelo ultrassom; a ressonância específica de certas moléculas captada pelos aparelhos de ressonância nuclear magnética; a absorção seletiva de raios X como nas radiografias e tomografias.

A quantidade de radiação (absorvida) para uma dada espessura do meio absorvedor é medida pelo coeficiente de atenuação que é específico para determinada energia e tipo de meio. Os comprimentos de onda geralmente usados

na prática clínica estão entre 0,7 e 1,5  $\mu\text{m}$ , portanto na faixa IV A. A aplicação em diagnose embora incipiente, permitirá a detecção da composição biomolecular de tecidos biológicos de forma não invasiva utilizando, por exemplo, a técnica da espectroscopia Raman no IV.

### *ESCANER INFRAVERMELHO*

O simulador de localização de RIV proposto é uma espécie de escaner que faz uma varredura em um recipiente onde estão substâncias com diferentes graus de absorção ao infravermelho. As diferentes respostas serão percebidas por um sensor e transformadas em informações quantificadas que permitirão estabelecer comparações.

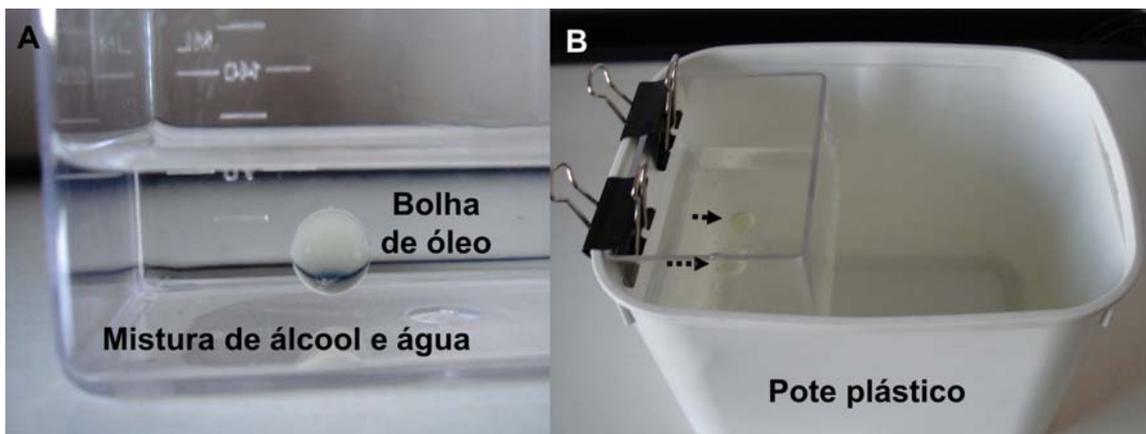
#### *Materiais:*

- a) Fonte de radiação infravermelha: um controle remoto de TV ou similar.
- b) Sistema de detecção e obtenção de dados:
  - Sensor Infravermelho: fotodiodo receptor de infravermelho (parece um LED transparente); pode ser comprado em lojas de componentes eletrônicos ou retirado de um mouse óptico em desuso.
  - Soquete para LED (ou conector de drive de disquete de computador) para acoplar o sensor.
  - Fios elétricos de conexão.
  - Porta-pilhas para duas pilhas pequenas tipo AA.
  - Duas pilhas pequenas tipo AA de 1,5 V (que vão constituir a fonte de corrente contínua de 3 V).
  - Multímetro analógico ou digital.
  - Resistor de aproximadamente 22  $\Omega$  e 1/8 W.
  - Suporte em forma de "C" com base plana para encaixar o controle remoto e o sensor, de maneira que fiquem dispostos conforme a Figura 1.6 e permita uma estabilidade do conjunto (pode ser adaptado a partir de materiais usados para acondicionamento e embalagem de equipamentos).
  - Pote plástico (tipo pote de sorvete ou similar).

- Frasco acrílico transparente (aqui usamos um frasco separador de gemas encontrado em lojas de produtos e utensílios domésticos).
- Prendedor de roupa ou clip metálico.
- Óleo mineral, óleo de soja ou azeite de oliva.
- Álcool comercial.
- Água.
- Seringa descartável ou conta-gotas.

*Procedimento para montagem da amostra*

- a) No frasco de acrílico transparente colocar álcool, até uma altura de aproximadamente 1,5 cm.
- b) Com auxílio da seringa ou conta-gotas colocar cuidadosamente uma gota grande de óleo no fundo. Opcionalmente, pode-se colocar, em regiões diferentes, gotas com outros tipos de óleo.
- c) Em seguida, despejar lentamente um pouco de água, controlando a quantidade adicionada para seja suficiente para fazer a gota de óleo subir e ficar no meio da mistura (Figura 1.4 A).
- d) Prender o frasco de acrílico transparente no pote plástico maior com auxílio dos prendedores ou clips (Figura 1.4 B).

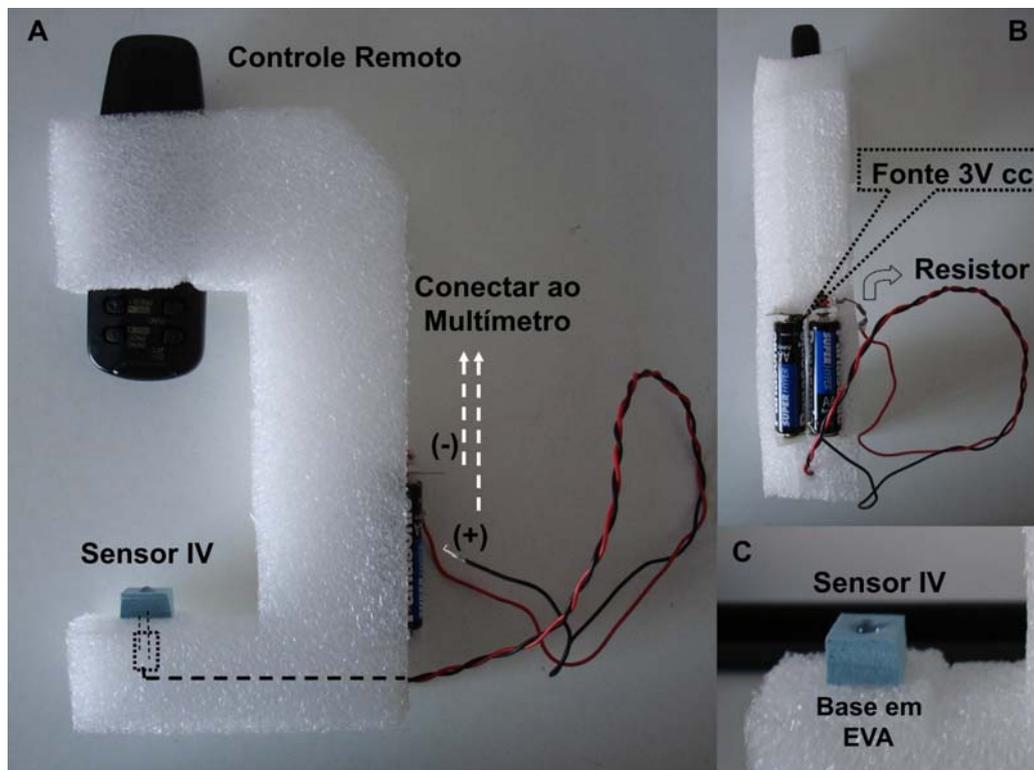


**Figura 1.4** - A) Mistura de álcool e água com a gota de óleo em equilíbrio hidrostático. B) Visualização do conjunto com o frasco transparente preso ao pote plástico. As setas indicam as bolhas de óleo.

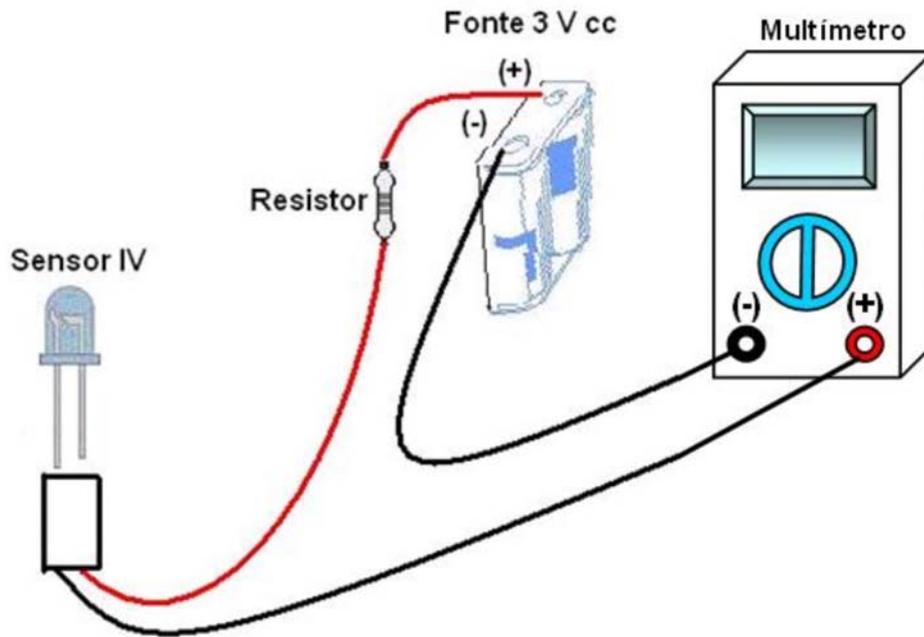
### Procedimento para montagem do sistema de detecção

A montagem do sistema de detecção pode seguir o esquema da Figura 1.5.

- Na parte superior do suporte em forma de “C” fazer uma cavidade para encaixar o controle remoto.
- Na base do suporte encaixar o sensor infravermelho (para ajudar a fixá-lo pode-se colocar um pedaço de isopor ou EVA em sua volta).
- O circuito elétrico deve ser construído conforme o que está detalhado na Figura 1.6. Não é necessário que a fiação passe por dentro do suporte, nem que a fonte fique presa a ele. Esta configuração é apenas uma sugestão.



**Figura 1.5** - Sistema de emissão e detecção. A) Vista lateral do conjunto B) Vista da parte de trás. C) Detalhe do arranjo do sensor infravermelho.



**Figura 1.6** - Esquema do circuito elétrico do sensor infravermelho.

d) Ajustar o multímetro para medição de corrente elétrica. Posicionar a escala em 200 ou 2000  $\mu\text{A}$ , por exemplo, e testar para ver se é compatível com a configuração que for montada. Se não for compatível, mudar a escala até que ela registre algum valor.

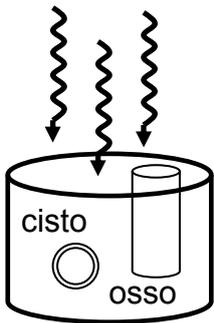
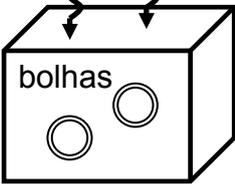
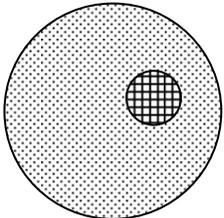
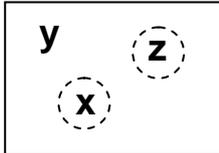
#### *Realização das medidas*

Segurando o suporte com o sensor e o controle remoto ligado (se estiver bem justo na cavidade isso acionará algum botão, caso contrário pode-se passar uma fita ou usar um prendedor ou ainda interpor algum pequeno objeto entre o controle e para manter o controle acionado durante a varredura) passar com lentos movimentos ou pequenos deslocamentos ao longo da extensão do frasco acrílico procurando percorrer toda a extensão.

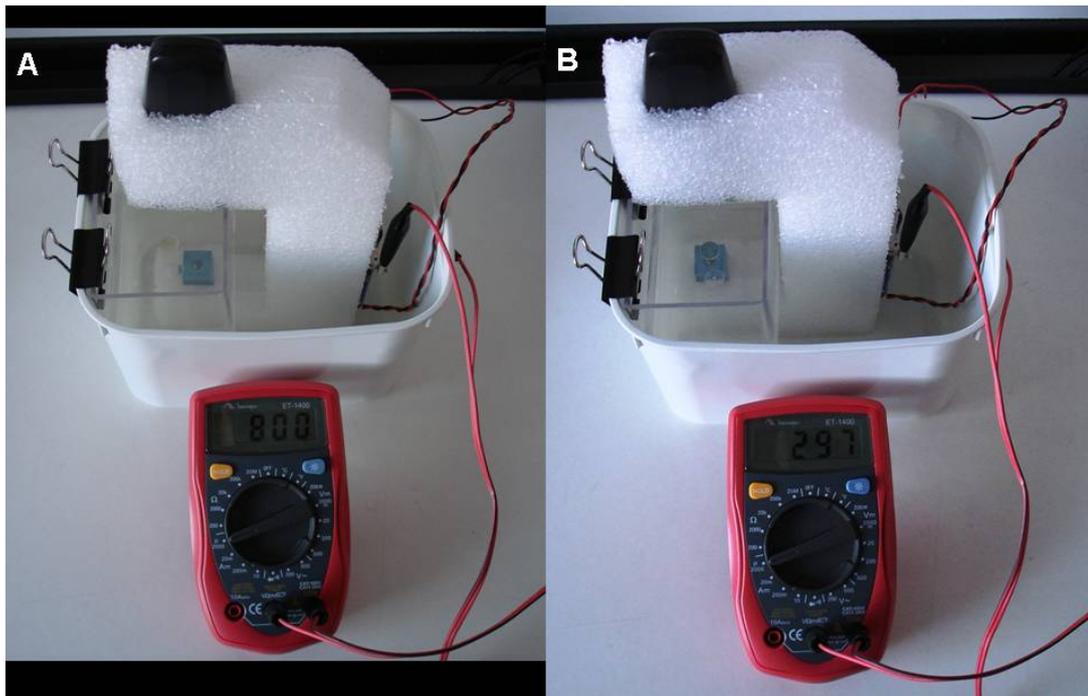
Convém manter o conjunto em um lugar estável e evitar sacudi-lo. Isso dificultará a tomada de dados (é como um paciente que deve ficar imóvel durante um exame de radiografia). Porém, caso isso ocorra e as bolhas saírem do lugar, basta esperar alguns minutos. Como estamos fazendo uma varredura em um meio líquido é normal que pequenos deslocamentos ocorram. Isso não é um fator crítico pois importa verificar as medidas quando se passa o escaner pela região da mistura e pela(s) bolha(s).

Quando o escaner passar sobre a região em que a(s) bolha(s) se encontra(m) haverá uma alteração no valor indicado pelo multímetro permitindo claramente sua(s) localização(ões) e evidenciando a presença de outro(s) elemento(s) de diferente(s) grau(s) de absorção no ambiente investigado (Figura 1.7).

OBS: Como sinal enviado (radiação infravermelha) pela maioria dos controles remotos é intermitente (ver a atividade 1, a “luzinha” fica sempre piscando) o registro dos valores no multímetro poderá oscilar (dependendo da faixa selecionada) pois o sensor está justamente registrando um sinal descontínuo. Isso é normal e se ocorrer deve-se anotar o maior e o menor valor registrado nas regiões e trabalhar com esta faixa (intervalo) ou fazer a média.

Aparelho de Radiografia		Escaner Infravermelho (simulador)	
<p>A absorção e espalhamento dos fótons pelo meio material atenuam o feixe de raios X. Isso ocorre de maneira diferenciada para cada tecido permitindo distingui-los.</p>	<p>Raios X</p>  <p>Tecido</p>	<p>A radiação infravermelha também tem uma absorção seletiva pelas diferentes substâncias que atravessa.</p>	<p>Radiação Infravermelha</p>  <p>Mistura</p>
<p>Imagem radiológica (transversal) bidimensional, com diferentes gradações de preto/branco, indicam diferentes absorções. O osso é radiopaco (aparece). O cisto não é radiopaco (não aparece).</p>		<p>As regiões x (bolha de óleo), y (mistura) e z (bolha de óleo) serão identificadas pelos diferentes valores indicados no multímetro. Cada região apresentará um valor distinto.</p>	

No Corpo Humano	No Simulador		
	Meio	Características em Comum	Diferença Detectável
Tecidos Sadios	Mistura de água e álcool	Transparência óptica e densidade	Grau de absorção do IV A
Cisto / Tumor	Bolha de óleo		



**Figura 1.7** - Executando a varredura. A) O visor do multímetro indica 800  $\mu\text{A}$  quando o escaner está sobre a mistura álcool - água. B) Indicação de 297  $\mu\text{A}$  no visor do multímetro quando o escaner está sobre a bolha.

### Atividade experimental 3:

#### Detecção da RIV no espectro eletromagnético

É possível detectar a faixa de radiação eletromagnética correspondente à região do infravermelho. Como é uma região invisível, vamos nos valer de um sensor capaz de percebê-la.

O espectro contínuo, obtido quando um feixe estreito de luz branca incidir em um prisma ou grade de difração, será investigado por um sensor de infravermelho (tipo LED) em toda sua extensão (região visível e regiões invisíveis após a cor vermelha).

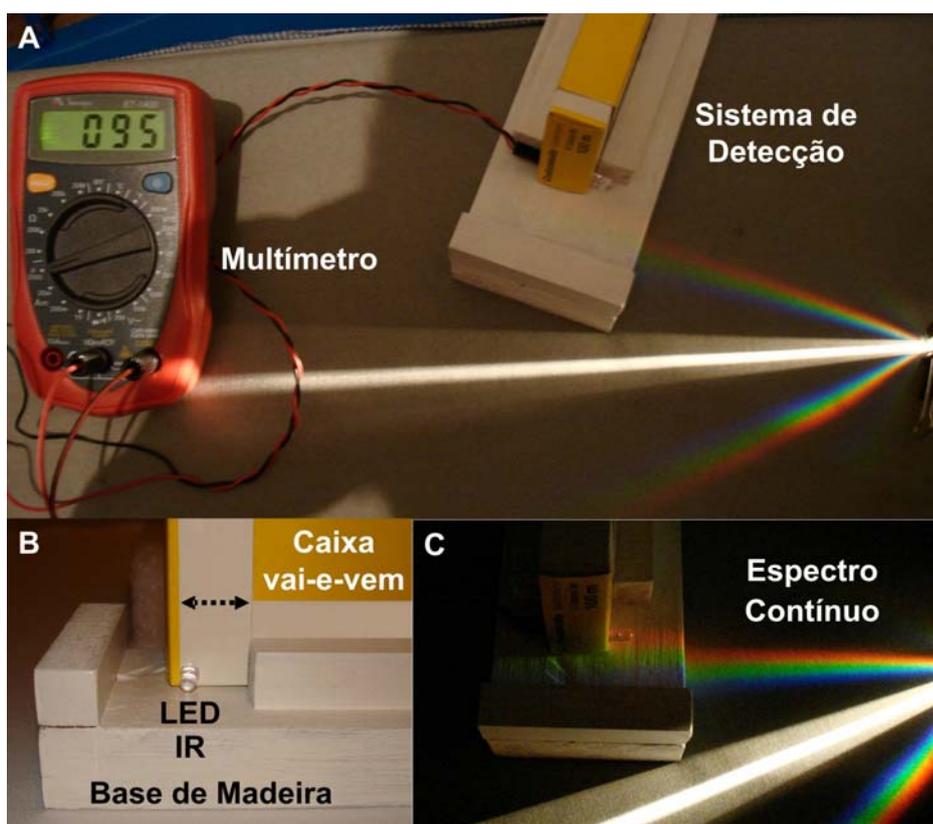
## Materials

### a) Montagem do sensor.

Os materiais necessários são os mesmos usados para a montagem do circuito da atividade 2: fotodiodo receptor de infravermelho (parece um LED transparente); soquete para LED; fios elétricos de conexão; porta-pilhas para duas pilhas pequenas tipo AA; duas pilhas pequenas tipo AA de 1,5 V (que vão constituir a fonte de corrente contínua de 3 V); multímetro analógico ou digital; resistor de aproximadamente  $22\ \Omega$  e  $1/8\ W$ .

### b) Sistema de varredura.

O sistema de varredura, que permitirá a movimentação gradual do sensor, pode ser uma caixa do tipo vai-e-vem (caixa de carretéis de linha, por exemplo) na qual se prende o sensor como indicado na Figura 1.8. A base de madeira para firmar o sistema de varredura do sensor é apenas uma sugestão, pois é um modo de regular facilmente a posição do sensor ao longo das faixas de interesse e manter fixa sua posição para tomada dos dados.



**Figura 1.8** - Sistema de detecção da radiação infravermelha. A) Disposição do sistema de detecção com o sensor na região do infravermelho do espectro contínuo. B) Detalhe do LED infravermelho e do sistema de varredura. C) Projeção do espectro contínuo sobre o sensor infravermelho.

### *Realização das medidas*

Para iniciar a coleta de dados é necessário ajustar a escala para medida de corrente elétrica posicionando o seletor do multímetro em 200 ou 2000  $\mu\text{A}$  (testar para ver se é compatível com a disposição e montagem que foi feita, caso contrário, mudar de escala até que seja registrado algum valor).

Uma vez instalado o sistema, o sensor será deslocado gradualmente, ao longo do espectro contínuo, passando pelas diferentes cores e indo além da região visível (após a faixa do vermelho).

Os valores obtidos no multímetro indicarão o valor da corrente elétrica em diferentes comprimentos de onda. Os dados para cada uma das regiões visíveis (violeta, azul, verde, amarelo, laranja, vermelho) e também para as não visíveis (ultravioleta e infravermelho) podem ser registrados em uma tabela. Quando o sensor for deslocado para a região imediatamente posterior ao vermelho (fim da faixa visível) o valor indicado no multímetro será maior, pois ele é mais sensível à radiação infravermelha.

Questões para discussão:

- 1) Qual a evidência indicada pelos dados obtidos?
- 2) Quais as semelhanças e diferenças entre o sistema de detecção visual humano e o sistema de detecção aqui proposto?
- 3) Os valores obtidos indicam alguma tendência? Por quê?
- 4) Quais as variáveis que podem interferir nesta atividade? Quais podem contribuir para sua eficiência?

### **Atividade experimental 4:**

#### **Ferramentas de investigação - construindo Espectroscópios e Espectrofotômetros caseiros.**

Espectroscopia é a metodologia empregada para estudar propriedades físico-químicas de substâncias através da análise da transmissão, absorção ou reflexão de radiações incidentes sobre uma amostra. A espectroscopia permitiu o desenvolvimento de inúmeros instrumentos de investigação muito importantes para ajudar a conhecer a estrutura das moléculas, estabelecendo um padrão de identificação das mesmas conforme são submetidas à radiação.

Foi através de experimentos de espectroscopia que a face quantizada da energia foi revelada. Embora a espectroscopia fosse conhecida desde a metade do século XIX, quando foi introduzida por Bunsen e Kirchhoff, só começou a ser compreendida várias décadas mais tarde.

O espectroscópio permite observar o espectro de emissão ou absorção característico de certas substâncias ou moléculas. O espectrômetro é um aparelho que transforma a visualização espectroscópica em informação quantitativa, ou seja, expressa em valores numéricos ou gráficos os padrões (de absorção ou emissão sob diferentes comprimentos de onda) que são característicos da substância ou molécula analisada.

Tecnicamente, espectrofotômetro é um espectrômetro que utiliza a região visível e as regiões não visíveis circunvizinhas (infravermelho e ultravioleta) do espectro eletromagnético.

Existem inúmeras propostas para montagem de espectroscópios e espectrofotômetros, quase todas baseadas nos princípios básicos de funcionamento desse tipo de equipamento. Apresentamos a seguir as instruções para a construção de um espectroscópio e de espectrofotômetros usando CDs e LEDs e discutimos seus usos em atividades de investigação na área biológica.

#### **4.1. Construção de um espectroscópio**

Para construir um espectroscópio, primeiramente precisamos achar um meio de “decompor” a luz branca. Podemos fazer isto com um prisma ou por intermédio de uma grade de difração. Esta nada mais é do que um dispositivo com uma quantidade muito grande de ranhuras, linhas ou sulcos paralelos muito próximos. Ao atingir esse tipo de dispositivo, a luz sofre difração dispersando-se em componentes coloridos.

Para confeccionar uma boa grade de difração para o espectroscópio podemos usar um CD, uma vez que os sulcos do CD são muito próximos entre si (em 1 mm cabem 625 sulcos, ou seja, distam cerca de  $1,6 \mu\text{m}$ ) e isto promove a decomposição da luz branca em um espectro contínuo de cores.

### *Material necessário*

- Caixa retangular de papel com aproximadamente 16 cm x 6 cm x 6 cm (pode ser uma caixa de “creme dental” ou similar).
- CD (Compact Disc) gravável (quanto mais “claro” melhor).
- Fita isolante (preta).
- Fita adesiva grossa.
- Tinta guache preta.

### *Montagem:*

- a) Pintar o interior da caixa com tinta preta.
- b) Em uma das extremidades da caixa fazer uma abertura de 3 cm x 1,5 cm (essa “janela” deve ficar posicionada no centro).
- c) Na outra extremidade da caixa, também na região central, abrir uma fenda de aproximadamente 1 mm de espessura. Recomenda-se que esse recorte fino fique em paralelo com o menor comprimento da “janela” que foi criada na outra extremidade da caixa.
- d) Cobrir a superfície do CD que tem o decalque ou impressão do fabricante com fita adesiva grossa, fazendo-a aderir muito bem. Recortar, na região mais próxima da borda do CD, um retângulo que tenha dimensões um pouco maiores do que a “janela” da caixa (que tem 3 cm x 1,5 cm).
- e) Remover cuidadosamente a fita adesiva (uma película metálica será descolada do CD) evitando tocar na superfície que ficou protegida. Usando fita isolante, prender este pedaço de CD na parte interna da janela da caixa.

Nessa fase da montagem é importante ter cuidado para que:

- os sulcos do CD fiquem alinhados em paralelo com o comprimento menor da janela;
- a face do CD que esteve protegida pela fita adesiva fique voltada para o interior da caixa;
- ao fechar a caixa todas as frestas sejam vedadas com fita isolante.



**Figura 1.9** - Montagem do espectroscópio. A) Vista interna da caixa com o fragmento do CD preso com fita isolante sobre a “janela” que existe nessa extremidade. B) Aspecto externo da caixa com o fragmento de CD posicionado na “janela”. C) Vista interna da extremidade da caixa mostrando a posição da fenda. D) Aspecto externo da caixa com as bordas vedadas com fita isolante.

### *Utilização*

Para utilizar o espectroscópio, direcione a fenda para uma fonte de luz, incline a caixa ligeiramente para trás e observe, através da janela com o fragmento de CD, o espectro formado no interior da caixa.

Exemplos de algumas fontes de luz que podem ser observadas:

- lâmpada fluorescente comum (espectro de emissão – linhas brilhantes salientes no espectro contínuo);
- monitor de computador;
- lâmpada de vapor de sódio (da iluminação pública);
- LEDs;
- iluminação com tubos de neon;
- Sol (espectro de absorção – linhas escuras no espectro contínuo).

### *Precaução Importante:*

Nunca utilizar o espectroscópio apontado diretamente para o Sol. Há o risco de danos permanentes na retina que podem até provocar cegueira parcial ou total. A

observação da luz solar deve sempre ser feita de modo indireto e o mais rapidamente possível, através da reflexão em superfícies opacas brancas (folha de papel, parede, placa de madeira, por exemplo). Deste modo haverá o espalhamento da luz solar incidente. Convém ser breve também para as demais fontes luminosas e sempre que possível manter uma distância razoável; quanto mais intensa a radiação da fonte maior deverá ser a distância.

Para ilustrar como as visualizações podem ser interpretadas, vamos analisar duas das fontes citadas:

a) Lâmpada fluorescente comum. O espectro contínuo (colorido como o arco-íris) observado estará superposto por, pelo menos, duas linhas coloridas mais salientes (brilhantes). Estas linhas indicam a presença do vapor do elemento mercúrio pois são típicas dele quando elétrons de seus átomos são excitados no interior da lâmpada e ao retornarem para orbitais de origem emitem energia sob forma de radiação visível em comprimentos de onda específicos. O espectro colorido de “fundo” é devido a absorção de radiação ultravioleta (também resultante do processo) pela camada de “fósforo” branco depositada nas paredes internas da lâmpada e reemissão sob a forma de luz visível.

b) Sol. Neste caso, também será observado um espectro contínuo devido a radiação visível resultante das reações nucleares que lá ocorrem. Diversos elementos químicos presentes nas camadas externas do Sol e até na atmosfera terrestre sofrerão transições eletrônicas, absorvendo energia de determinados comprimentos de onda, formando linhas escuras (conhecidas como linhas de Fraunhofer) como se aquelas cores “desaparecessem” do espectro contínuo.

No capítulo 2 será detalhado o uso para observar substâncias.

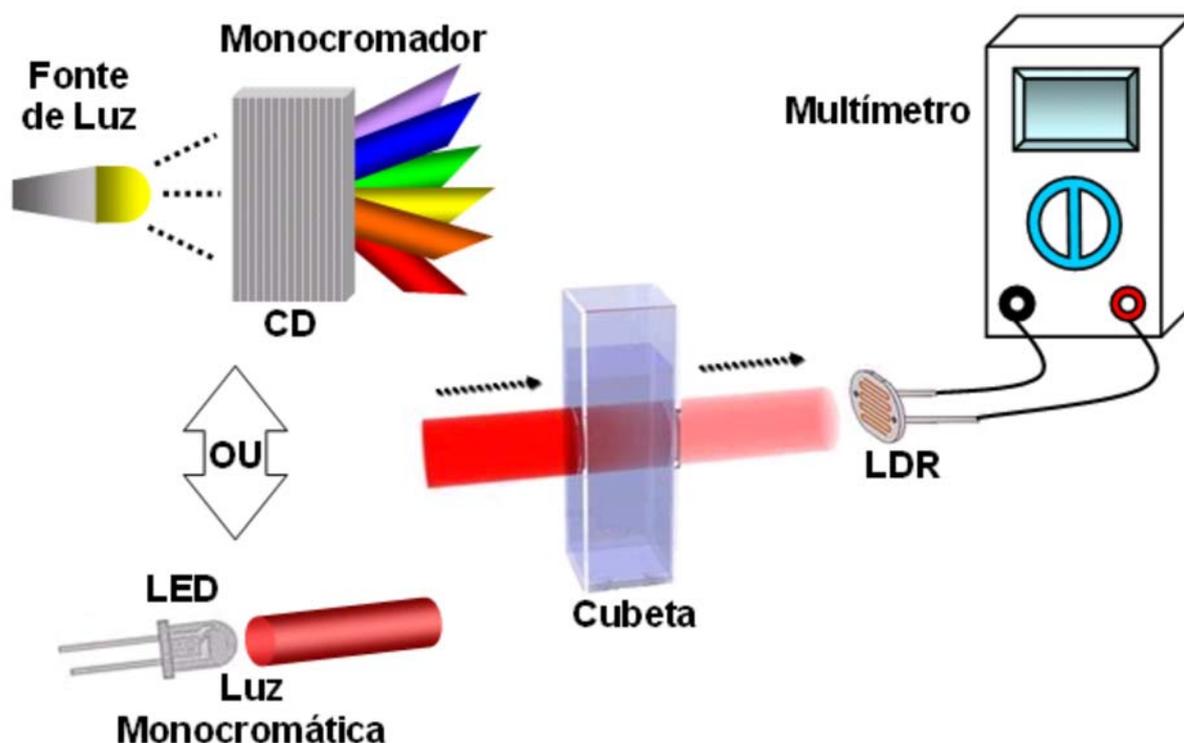
## **4.2. Espectrofotômetros**

Espectrofotômetros ou espectrômetros são equipamentos que têm como princípio básico para seu funcionamento medir a absorção de radiação de diferentes comprimentos de onda.

Estes equipamentos são de extrema importância em pesquisa nas áreas biológicas e apresentamos a seguir quatro diferentes modelos de espectrofotômetro de “construção caseira” (tabela 1) com diferentes componentes que podem ser usados em várias atividades.

Tabela 1. Principais componentes dos modelos de espectrofotômetros propostos.

Componentes dos espectrofotômetros				
Tipo de Espectrofotômetro	Fonte de iluminação	Monocromador	Detector ou sensor	Registrador ou indicador
Com CD	Lâmpada	Grade de difração de CD	LDR	Multímetro
Com LED	LED			



**Figura 1.10** - Esquema do funcionamento e dos principais elementos dos espectrofotômetros propostos. A luz de uma fonte luminosa é decomposta por um monocromador que faz as cores de diferentes comprimentos de onda atingirem a cubeta que contém a amostra. Um sensor coleta a intensidade luminosa que será absorvida quantificando esta informação através do multímetro. Alguns modelos propostos substituem a fonte de luz e o monocromador por um único dispositivo que combina suas funções: o LED.

A cubeta é um pequeno contêiner, um recipiente para conter as amostras das substâncias a serem analisadas. O porta-cubeta é um compartimento que carrega a cubeta. É uma espécie de caixa com tampa para acondicionar a cubeta isolando a amostra da luz ambiente. O monocromador (mono = um; croma = cor; dor = agente, instrumento da ação) é um dispositivo que permite a passagem de uma só cor. Geralmente é um prisma ou uma grade de difração.

*Materiais comuns aos quatro modelos propostos:*

- Multímetro analógico ou digital\*
- LDR\* (Light Dependence Resistor ou resistor variável com a luz) de 1 cm de diâmetro.

(\*Itens encontrados em lojas de componentes eletrônicos)

- Caixa acrílica transparente de 2 x 3 x 4 cm para servir de cubeta (sugestão: pode ser usado um depósito de apontador de lápis; ou uma caixinha de pastilhas tictac®).

#### **4.2.1. Construção de espectrofotômetros usando LEDs (“ESPECTROLED”)**

Existe hoje no mercado uma disponibilidade de LEDs de alto brilho, que emitem luz visível em uma faixa de comprimento de onda bastante estreita. Então, ao invés de usar a projeção do espectro colorido, como tradicionalmente é feito, podemos usar diretamente a luz proveniente destes LEDs, unificando num único dispositivo a fonte e o monocromador, como representado na Figura 1.11. Vale salientar que os LEDs são, hoje, componentes baratos que é outra vantagem para seu uso.

Na construção de um “espectroled”, a dificuldade a ser vencida reside na diferença de intensidade luminosa inicial entre a amostra e a fonte luminosa que pode variar de um LED para outro (é difícil conseguir LEDs com uniformes potências de iluminação).

Em geral, nos espectrofotômetros comerciais temos um “botão” para controlar a intensidade luminosa, possibilitando “zerar” a leitura da absorção de uma amostra controle, geralmente sem a substância a ser testada.

Nos “equipamentos” aqui propostos a diferença de luminosidade de diferentes LEDs, assim como o meio para “zerar o branco” das amostras são obtidos de duas formas, ou ajustando o distanciamento do LED até o sensor (LDR) ou fazendo uso de um potenciômetro (que vai funcionar como reostato). Como nos espectrofotômetros comerciais esses dois métodos funcionarão de modo a equivalente ao botão de “zerar” o espectrofotômetro. Indicaremos aqui sugestões para ambas as situações.

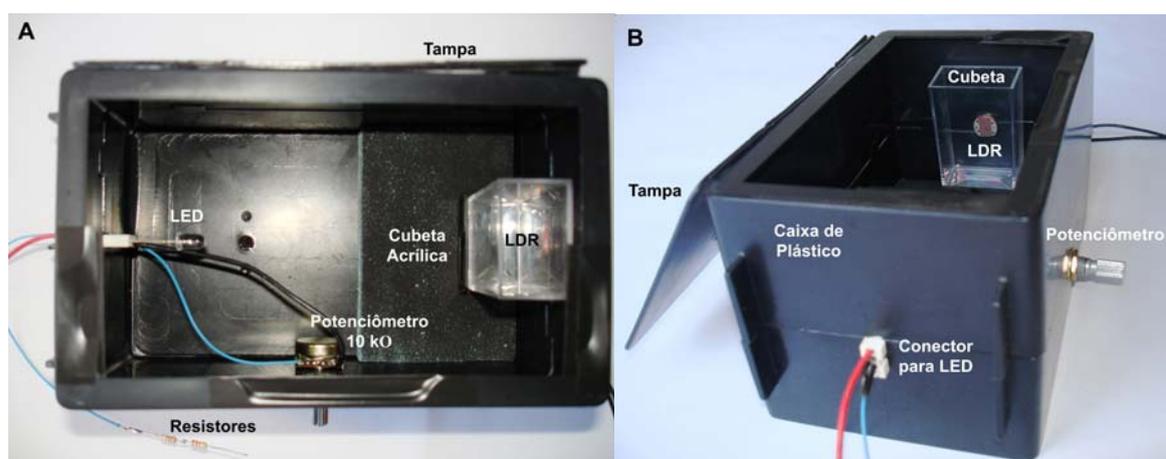
#### 4.2.1.a) Ajuste da intensidade luminosa inicial através de um potenciômetro.

O ajuste da intensidade luminosa inicial dos LEDs, a fim de garantir uma uniformidade de radiação que atinge a amostra, pode ser feito através de um potenciômetro que permite regular a resistência elétrica e conseqüentemente o brilho de cada LED.

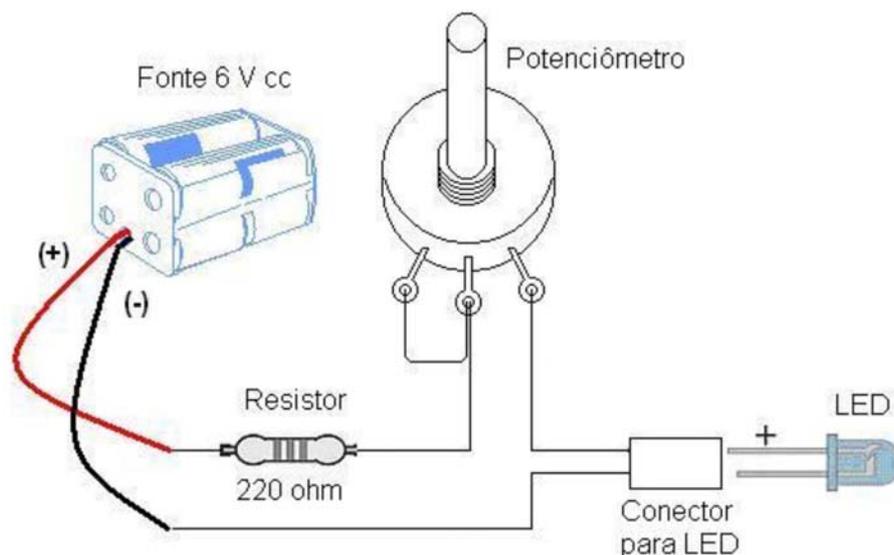
##### *Material*

Além dos materiais comuns aos quatro modelos propostos (ver listagem do item 4.2) será necessário:

- Caixa de plástico de cor preta com tampa e cerca de 14 x 9 x 8 cm (na construção apresentada na figura 1.11 foi usada uma caixa de porta-guardanapos, mas outra caixa de dimensões aproximadas pode ser usada).
- Conjunto de LEDs de alto brilho de 6 cores diferentes (vermelho, laranja(âmbar), amarelo, verde, azul e violeta).
- Potenciômetro de 10 k $\Omega$ .
- Fonte de corrente contínua de 6 V (4 pilhas pequenas tipo AA, em série, num porta-pilhas ou uma fonte de corrente contínua, com voltagem similar, como um carregador de celular, por exemplo).
- Resistor de 220  $\Omega$  de 1/8 W.
- Fios elétricos encapados para conexões.
- Soquete para LED ou conector similar.



**Figura 1.11** - Espectrofotômetro de LEDs. Caixa plástica na qual se montam os componentes e um porta-amostra (cubeta acrílica).



**Figura 1.12** - Esquema do circuito para componentes do sistema de controle de intensidade luminosa.

Neste espectrofotômetro teremos faixas estreitas de determinados comprimentos de onda (cores específicas) com gradual diminuição de intensidade luminosa em torno do valor central de cada cor. No momento de tomar os dados e fazer os gráficos, pode-se, por questões de simplicidade e familiarização com o instrumento, adotar, no lugar dos valores de comprimentos de ondas, os nomes das próprias cores. Provavelmente seja muito mais inteligível para os alunos que estejam tendo um primeiro contato com este tipo de equipamento e procedimento. Posteriormente, pode-se associar os comprimentos de ondas com suas respectivas cores.

Nas extremidades da caixa serão instalados o LDR e o soquete para LED. Para saber onde posicionar estes elementos, marque previamente os locais com auxílio da cubeta: devem ficar aproximadamente na altura correspondente ao centro da cubeta e eqüidistante das arestas laterais. Fazer um recorte (com um estilete) para encaixar o soquete para LED. Na extremidade oposta, fazer dois pequenos orifícios (com uma agulha) para atravessar os terminais do LDR deixando-o voltado para dentro da caixa. Se necessário usar adesivo ou cola de silicone para prender. Na frente do LDR será posicionado a cubeta. Opcionalmente, para manter firme a cubeta, pode ser colado no fundo da caixa um pequeno receptáculo ou um pedaço de plástico em baixo relevo para encaixar na base da cubeta. Em qualquer lugar de

uma das laterais maiores da caixa (geralmente no centro) fazer um furo para instalar o potenciômetro. Não é necessário que o potenciômetro fique preso na caixa, bem como os fios do circuito passem por dentro ou por fora. O acabamento é uma questão de estética, o importante é fazer corretamente as conexões elétricas e evitar frestas e furos que permitam a passagem da luz ambiente para o interior da caixa.

#### **4.2.1.b) Ajuste da intensidade luminosa inicial através do controle da distância entre o LED e o sensor.**

O ajuste da intensidade luminosa inicial dos LEDs, também pode ser feito através de um mecanismo que permite regular a distância entre o LED e o sensor, garantindo uma uniformidade de radiação que atinge a amostra.

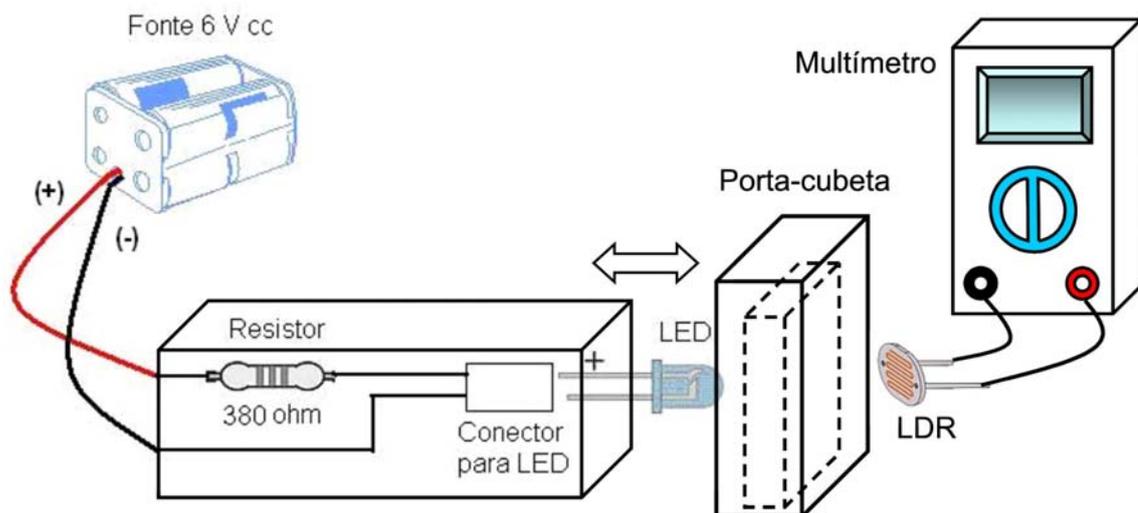
#### *Material*

Além dos materiais comuns aos quatro modelos propostos (ver listagem do item 4.2) será necessário:

- Uma caixa de papelão com sistema vai-e-vem (como as usadas para acondicionar carretéis de linha) com dimensões aproximadas: 20 x 6 x 2 cm.
- Base de madeira (sarrafos) que sirvam de guia para fixar a caixa e o porta-cubeta (dimensionar de modo a encaixar as partes firmemente).
- Conjunto de LEDs de alto brilho de diferentes cores (ver Figura 1.11).
- Fonte de corrente contínua de 6 V (4 pilhas pequenas tipo AA em série num porta-pilhas ou um carregador de celular com voltagem semelhante).
- Resistor de 380  $\Omega$  de 1/8 W (ou similar).
- EVA grosso (aproximadamente 8 mm de espessura) para confecção do porta-cubeta (dimensionar de modo a encaixar a cubeta firmemente).



**Figura 1.13** - Espectrofotômetro com controle de intensidade luminosa pela distância da fonte luminosa a amostra.



**Figura 1.14** - Esquema da disposição geral do espectrofotômetro com controle de intensidade luminosa por ajuste de distância. O esquema mostra o circuito de alimentação para o LED e para conexão do LDR ao multímetro. A seta indica que o movimento de aproximar ou afastar o LED vai ser usado para “zerar o branco”.

Recortar as peças de EVA para montar uma caixa que servirá de porta-cubeta, tendo em vista as dimensões da cubeta, ou seja, imaginando que ela ficará contida no interior desta caixa. Fazer um orifício no centro de cada lateral maior: um deles com cerca de 1,0 cm de diâmetro para encaixar o LDR deixando-o voltado para o interior do porta-cubeta; o outro, com o mesmo tamanho, para permitir a passagem da luz que vier dos LEDs.

A base de madeira deve ser confeccionada tendo em vista o objetivo de manter firme a caixa vai-e-vem e o porta-cubeta. Então, dispondo estes elementos sobre uma base de madeira em que caibam (observe a Figura 1.13), fazer as

marcações em torno destas peças para saber onde colar os sarrafos que servirão de guia e de apoio.

Na caixa vai-e-vem recorta-se numa das extremidades (na altura do orifício do porta-cubeta) um pequeno retângulo do tamanho do soquete para LED ou porta-LED para encaixá-lo. Seguir o esquema das Figuras 1.13 e 1.14 para fazer a disposição e ligações dos elementos e montagem do circuito elétrico.

#### **4.2.2. Construção de espectrofotômetros com rede de difração usando CD**

A idéia consiste em fazer uso do CD como elemento óptico monocromador, pois funciona como uma grade de difração (ver item 4.1). Ele dispersa a luz branca da fonte de iluminação formando um espectro eletromagnético que é projetado (por reflexão ou por refração) sobre a amostra. Para isto, ele é montado sobre uma base giratória que permite controlar qual faixa de cor está incidindo na amostra. A intensidade da radiação luminosa que atravessa a amostra é detectada por um sensor (LDR) e registrada no multímetro.

Materiais comuns aos modelos de espectrofotômetros refrator e refletor:

- Base retangular de madeira (15 x 16 x 2,5 cm).
- Transferidor 360°.
- Folha de EVA (borracha de Etil Vinil Acetato) com 2 mm de espessura e superfície com dimensões 15 x 16 cm.
- Agulha de costura grossa (ou objeto pontiagudo similar).
- Caixinha de compensado com tampa e dimensões suficientes para conter a cubeta (pode ser confeccionada ou adaptada de caixinhas decorativas encontradas em lojas de variedades).
- Fonte de iluminação potente (lâmpada halógena de 100 W; retroprojektor; projetor de slides; lanterna; etc).
- Sistema de barreiras ajustáveis (usamos a carcaça metálica da sucata de um estabilizador).

#### **4.2.2.a) Modelo Refrator.**

##### *Material*

Além dos materiais comuns (ver listagem dos itens 4.2 e 4.2.2) será necessário:

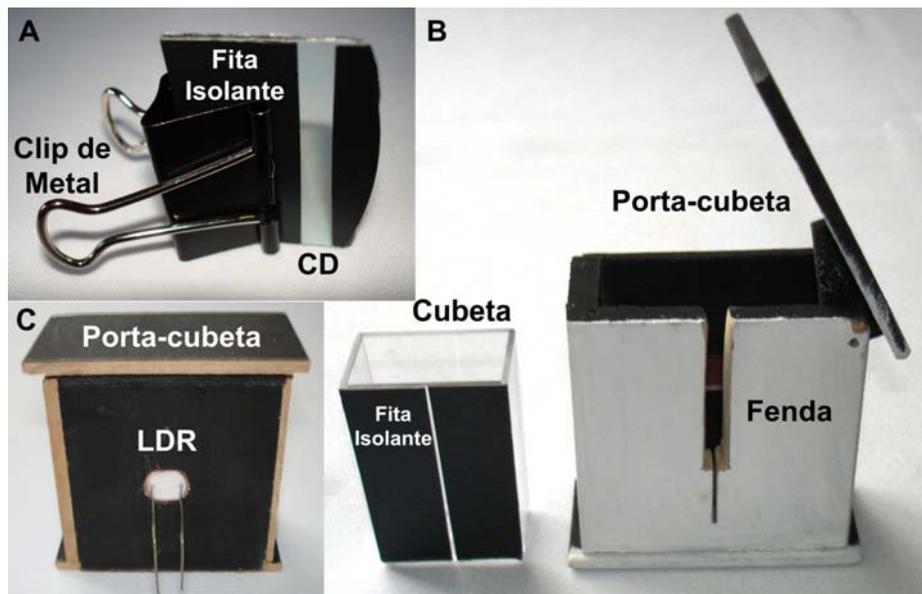
- Clip de metal.
- CD gravável.
- Fita isolante de cor preta.

##### Montagem:

Confeccionar uma grade de difração de CD como descrito na construção do espectroscópio (item 4.1). Para proteger, cobrir o pedaço de CD com fita isolante deixando apenas uma estreita faixa (cerca de 0,5 cm) próxima à borda, para difratar a luz. 1,0 cm de distância do centro da faixa até a borda.

Recortar na folha de EVA um círculo do tamanho exato do transferidor e colar a parte sem círculo sobre a base de madeira. Aderir a grade de difração ao transferidor. Encaixar este conjunto na base de madeira de tal forma que o EVA circunscreva o transferidor, envolvendo-o firmemente e permitindo sua rotação sem folgas. Posicionar a agulha bem próxima da borda do transferidor (para servir de indicador de ângulos) e fixá-la com fita adesiva.

Opcionalmente pode-se aderir fita isolante diretamente na superfície da cubeta, conforme ilustra a Figura 1.15-B, para estreitar ainda mais a faixa de luz que irá atingir sensor. Neste caso, a distância entre as fitas é cerca de 1 a 2 mm. Também pode-se pintar de preto a parte interna do porta-cubeta a fim de minimizar reflexões difusas de luz.

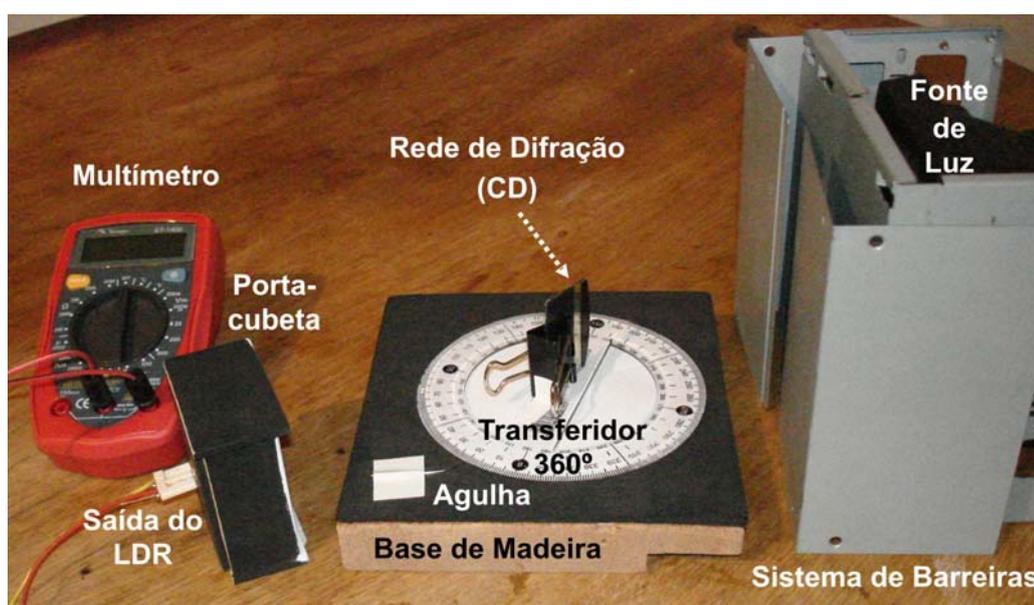


**Figura 1.15** - A) Grade de difração feita com CD. B) Conjunto de cubeta e porta-cubeta. C) Vista da parte traseira do porta-cubeta com o LDR encaixado.

### Funcionamento

O fecho de luz produzido é estreitado pelo sistema de barreiras e atinge a grade de difração. Controlando o giro do transferidor sobre o qual é fixado a grade de difração de CD, projeta-se o espectro contínuo sobre uma estreita abertura ( $\pm 5$  mm) do porta-cubeta

Coloca-se a amostra na cubeta e esta no porta-cubeta. Ajusta-se o multímetro em uma escala adequada de resistência elétrica para proceder as leituras (maiores detalhes no capítulo 2).



**Figura 1.16** - Montagem do espectrofotômetro com grade de difração por refração.

#### 4.2.2.b) Modelo Refletor

##### Material

Além dos materiais comuns (ver listagem dos itens 4.2 e 4.2.2) será necessário:

##### Material

- Base de um porta-CD (uma caixinha sem a tampa).
- CD.

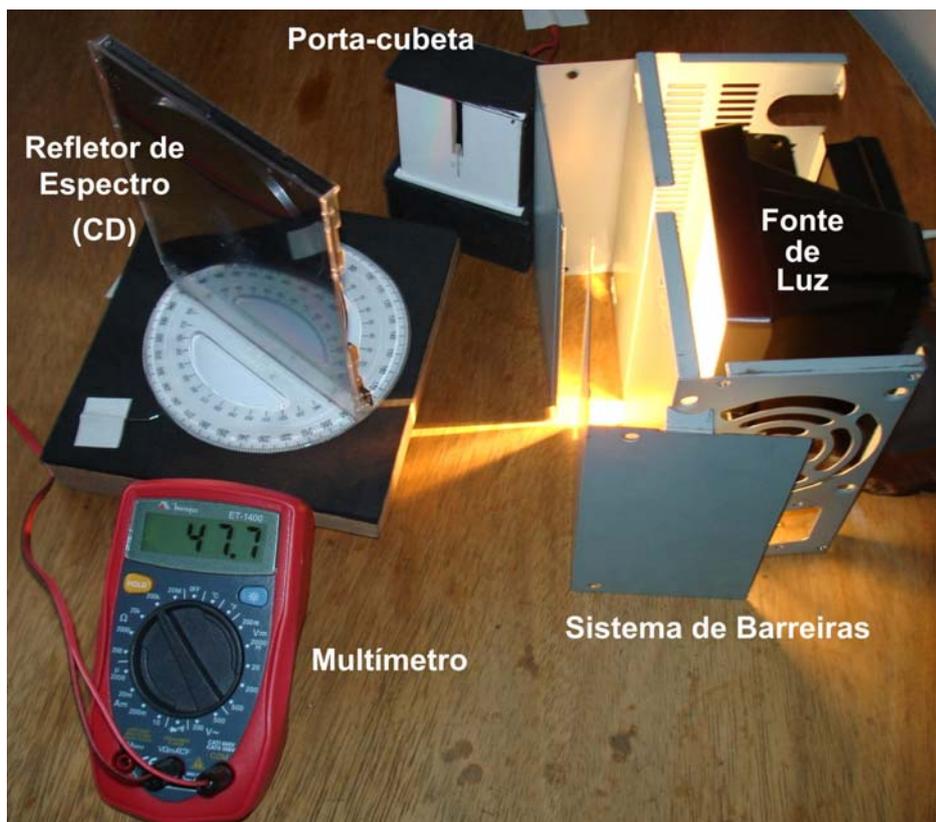
##### Montagem

O procedimento é praticamente o mesmo do modelo anterior, com a diferença que o espectro será projetado sobre a amostra pela difração refletida da superfície espelhada do CD.

Colar a base do porta-CD sobre o transferidor e acoplar o CD de modo a deixar a superfície espelhada exposta. Encaixar este conjunto na base de madeira com EVA (feita do mesmo modo do modelo anterior).



**Figura 1.17** - Montagem da grade de difração (CD) sobre a base com sistema de controle de ângulos.



**Figura 1.18** - Montagem do espectrofotômetro com rede de difração por reflexão. O fecho de luz que parte da fonte é estreitado pelo sistema de barreiras e atinge a superfície do CD se difratando. O espectro de cores produzido é projetado sobre a abertura do porta-cubeta. Variando-se o ângulo de incidência através do transferidor diferentes comprimentos de onda atingem a amostra contida na cubeta.

Além das atividades propostas no capítulo 2, estes instrumentos podem ser utilizados em diversas atividades de investigação química, biológica e bioquímica, tais como:

- Determinar a concentração de substâncias: por comparação com a concentração conhecida de um soluto em uma solução, pode-se determinar a concentração (desconhecida) deste soluto em outras soluções, já que a concentração é proporcional à absorção óptica.

- Avaliar crescimento de bactérias e leveduras em meios líquidos: o crescimento exponencial da população de alguns microorganismos em meios de cultura forma uma solução que espalha a luz, mas a variação na concentração de biomassa pode ser detectada pelo sensor.

- Dosagem de proteínas: pela diferença de absorção óptica do reagente de Biureto, que é um corante de proteínas, pode-se quantificar a presença de proteínas em soluções.

- Medida da atividade enzimática: é possível acompanhar a ação catalisadora de enzimas em função do tempo usando, por exemplo, a amilase contida na saliva humana, uma solução de amido e uma solução de iodo. As nuances de alteração na coloração serão detectadas pelo sensor.

O detalhamento destas técnicas, bem como o preparo das soluções e reagentes, podem ser facilmente encontrados em manuais de laboratório, livros de bioquímica e sites da internet.

## CAPÍTULO 2

### UM ENCONTRO ENTRE A FÍSICA E A BIOLOGIA: AS RADIAÇÕES E SUAS INTERAÇÕES COM AS MOLÉCULAS BIOLÓGICAS.

É através do fluxo da energia provinda da luz solar que a vida acontece (excetuando alguns organismos que vivem nas fossas abissais). É esta energia que permite manter, “fazer funcionar” e reproduzir as estruturas do seres que chamamos “vivos”. Portanto, radiações e vida são dois fenômenos muito interligados. Mas as interações entre seres vivos e radiações vão muito além da fotossíntese. Estas interações são bem variadas e vão depender do tipo de radiação e de que moléculas que estão a interagir. Para citar alguns exemplos, além da fotossíntese temos a síntese de vitaminas, os sistemas visuais (que além de usar o espectro visível, alguns são especializados em radiação UV, outros em luz polarizada), a função das cores vivas em animais (como as cores de alerta, camuflagens, mimetismo, comunicação), mecanismos de reparo do DNA fotoinduzidas e bioluminescência.

Primeiramente, vamos revisar de forma breve os tipos de moléculas que compõem os seres vivos e como estas se agrupam para formar suas estruturas. Posteriormente, veremos como os diferentes tipos de radiações interagem com as moléculas e estruturas dos seres vivos e quais as principais conseqüências dessas interações.

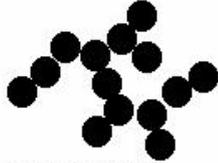
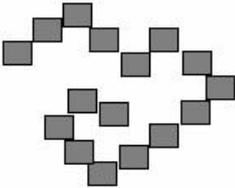
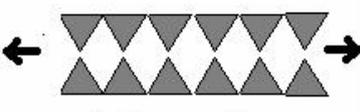
Em uma primeira observação, podemos constatar que os seres vivos são quimicamente muito complexos. Suas moléculas são “gigantescas” quando comparadas às moléculas que geralmente compõem os “seres brutos” e, além disso, são extremamente variáveis. Por exemplo, um organismo bem simples como uma bactéria, pode ter mais de 2.000 proteínas diferentes. Um ser humano deve ter em torno de 150.000 tipos de proteínas. Lembremos que as proteínas correspondem a apenas uma das classes de moléculas que compõe os seres vivos.

Como poderemos estudar quimicamente estes seres, se, considerando somente as proteínas, temos uma diversidade tão grande?

Esta tarefa torna-se facilitada pelo fato de que as moléculas biológicas podem ser organizadas em apenas quatro classes: **carboidratos** (também chamados de açúcares ou glicídios); **ácidos nucléicos**; **proteínas**; **lipídios** (gorduras).

Uma característica importante é que as três primeiras classes formam **moléculas poliméricas**, isto é, são compostas por “unidades que se repetem”, denominadas **monômeros**. No quadro 2.1 encontramos as quatro classes de macromoléculas, seus monômeros constituintes e as principais funções desempenhadas nas células.

Quadro 2.1 - Principais classes de macromoléculas celulares.

átomos	molécula monômero	molécula polímero	principais funções celulares
C, H e O	 monossacarídeo (exemplo: glicose)	 polissacarídeo (exemplo: amido)	- <b>energética</b> - estrutural (parede celular de vegetais) - reconhecimento e interação celular (glicocalix e glicoproteínas da membrana)
C, H, O N e S	 aminoácido	 proteína	- <b>funcional:</b> - catalítica ou enzimática - transporte e motora - nutritiva - hormonal e de sinalização - defesa - <b>estrutural</b>
C, H, O e P	 nucleotídeo	 ácidos nucleicos	- <b>DNA</b> depositário da informação genética - <b>RNA</b> envolvido na decodificação da informação genética e sua regulação
C, H e O	 ácidos graxos triglicérides...	<b>não formam polímeros</b>	- energética - estrutural ( parte da membrana celular) - hormonal

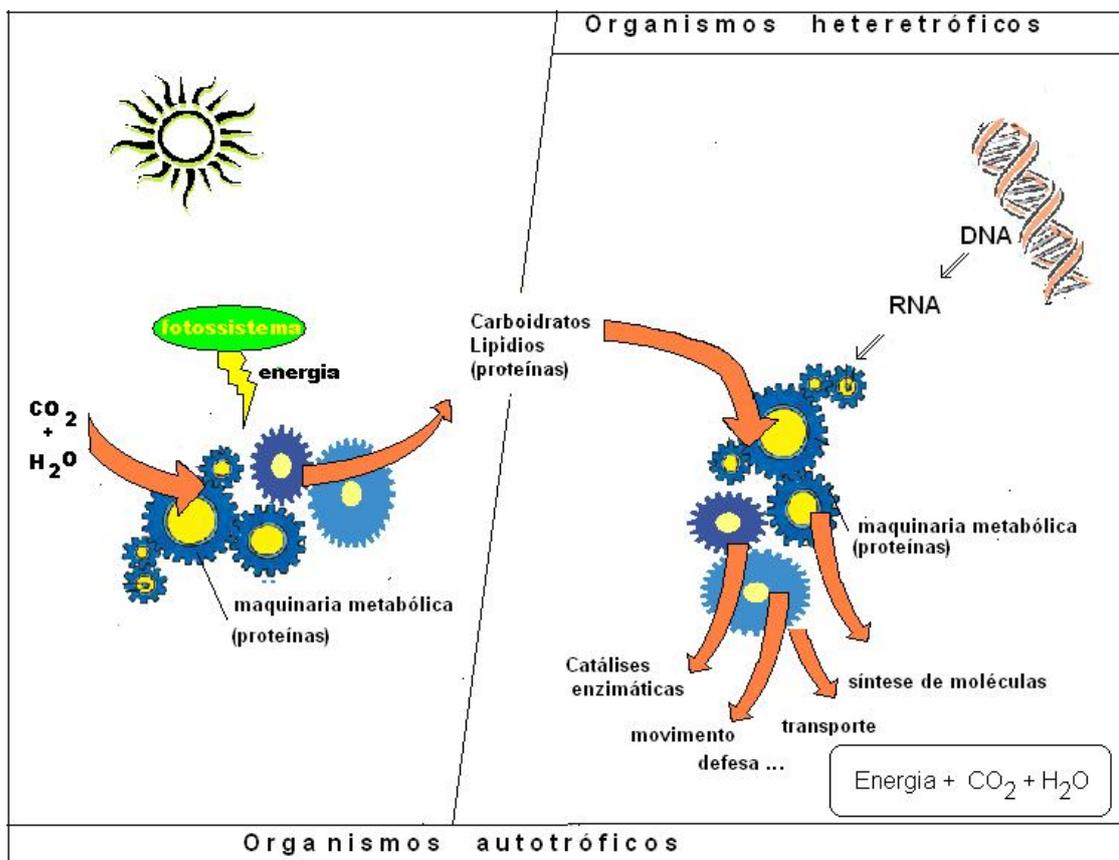
De forma simplificada podemos dizer que a energia captada do Sol pelos seres vivos vai ser estocada, principalmente, na forma de carboidratos e lipídios (ver Figura 2.1). Ao “degradar” estas moléculas, os seres vivos usam esta energia para construir outras moléculas, movimentar estruturas no interior da célula, transportar substâncias pela membrana... ou seja, “fazer as células funcionarem”. Assim, uma das principais funções de carboidratos e lipídios é ser reserva energética. Porém, os carboidratos também têm função estrutural, principalmente nas plantas, compondo a

parede celular. Nas células animais são importantes componentes das membranas e estão envolvidos nos reconhecimentos entre as células para formar os tecidos.

Já os lipídios, além da função energética, têm uma importância fundamental na formação das membranas biológicas.

Mas as moléculas mais importantes para o funcionamento das células são as proteínas, que foram representadas na Figura 2.1 como engrenagens. Praticamente todas as atividades funcionais da célula são executadas por proteínas.

O **transporte** de substâncias é realizado por proteínas, como por exemplo, a hemoglobina que transporta oxigênio. O **movimento** das organelas no interior da célula, e mesmo o movimento proporcionado pelos músculos é resultado da interação de proteínas como a actina e a miosina. A **proteção** do nosso corpo contra os microrganismos que causam doenças é dada pela ação de anticorpos, que são proteínas. Todas as reações químicas que, constantemente, estão ocorrendo em nosso organismo, são realizadas por proteínas especiais chamadas de enzimas. Enfim, todo o funcionamento do nosso organismo se dá graças à atividade das proteínas.



**Figura 2.1** - As radiações emitidas pelo sol (luz) são absorvidas pelo seres autotróficos. Esta energia, graças a maquinarias metabólicas, formada por enzimas, será estocada na forma de carboidratos e

lipídios. Nos seres autotróficos e também nos heterótrofos estas moléculas serão processadas pelas proteínas da maquinaria metabólica para fazer funcionar a célula. Para fazer as proteínas da maquinaria metabólica, a célula usa a informação contida no DNA.

As proteínas são formadas pela união de 100 ou mais aminoácidos. O que vai diferenciar uma proteína de outra é a seqüência e o número de aminoácidos que a compõe. Como existem 20 diferentes tipos desses aminoácidos e as várias proteínas podem ter diferentes números destes, temos uma diversidade muito grande nessa classe de macromoléculas. Por exemplo, a enzima ribonuclease bovina é formada por 124 aminoácidos, já a albumina do soro humano é formada por 528 aminoácidos.

A seqüência de aminoácidos que compõe uma proteína recebe o nome de **estrutura primária**. A substituição de um único aminoácido em uma cadeia protéica provoca uma alteração na estrutura primária dessa proteína. Chamamos de estrutura terciária a forma tridimensional. A estrutura terciária das proteínas depende da seqüência de aminoácidos (estrutura primária).

Para todo o lado que olhamos, podemos observar que a forma dos objetos é que ditam a sua função. Lembre de uma tesoura e de uma colher. É muito difícil cortar um pano com uma colher ou comer sopa com uma tesoura. A forma desses objetos é que permite sua função. O modo como uma proteína irá desempenhar a sua atividade dependerá de sua forma tridimensional, ou seja, depende de sua estrutura terciária, que em última análise depende da seqüência de aminoácidos que compõe a proteína (estrutura primária).

A troca, acréscimo ou retirada de um aminoácido pode ocasionar alterações na estrutura dessa proteína, alterando sua forma e, portanto, sua função.

Resumindo:

*O funcionamento de um organismo depende de suas proteínas.*

*O funcionamento de cada proteína depende de sua forma.*

*A forma de uma proteína depende da seqüência dos aminoácidos que a compõem.*

A questão agora é explicar:

*Como o organismo estabelece seqüência de aminoácidos que deve estar presente em cada proteína?*

A seqüência de aminoácidos das proteínas “está escrita” (codificada) nos genes. Os genes são compostos de outro tipo de molécula orgânica, os ácidos nucléicos.

## ÁCIDOS NUCLÉICOS E A INFORMAÇÃO GENÉTICA

Porque uma acetobactéria (bactéria do vinagre) colocada no leite não produz as enzimas necessárias para usar o açúcar e as proteínas do leite como nutrientes? Ou, colocando a mesma questão em um outro exemplo: sabemos que a celulose é um polissacarídeo formado de moléculas de glicose. No entanto, se por um motivo qualquer só tivéssemos papel para comer, sabemos que este “alimento” é rico em celulose, mas acabaríamos morrendo de inanição por falta de energia, embora estivéssemos ingerindo um polímero construído com “glicose”. Outros organismos como cavalos, vacas ou baratas são capazes de aproveitar a glicose presente na celulose do papel. Nos dois exemplos, o que falta é a informação genética de como fazer as enzimas necessárias para aproveitar uma determinada molécula como fonte de nutriente.

A informação genética está armazenada nas células sob forma de ácidos nucléicos. Para todas as células (procarióticas ou eucarióticas), a macromolécula informacional é o DNA. Somente alguns vírus apresentam suas informações armazenadas sob forma de RNA. Da mesma forma que a informação contida neste texto é fruto da ordem com que as letras e espaços estão postos em uma seqüência apropriada, a informação genética está “escrita” na seqüência em que os quatro nucleotídeos A, T, C e G estão ordenados nas moléculas de DNA.

A informação genética total, carregada por um organismo ou célula, é denominada de **GENOMA**. Por exemplo, na nossa espécie, o genoma das células somáticas é constituído por 46 moléculas de DNA. Cada uma dessas moléculas se organiza sob forma de um cromossomo, ou seja, cada cromossomo contém uma única molécula de DNA que é contínua, começando em uma extremidade do cromossomo e prolongando-se sem interrupção até a outra extremidade. Temos também uma 47<sup>a</sup> molécula de DNA que é o cromossomo mitocondrial.

O genoma de células mais simples, como as bactérias, está organizado em um único cromossomo circular. Em torno de 2000 genes estão presentes no genoma de uma bactéria, como a *Escherichia coli*.

O cromossomo bacteriano como de *E. coli* possui aproximadamente  $4,2 \times 10^6$  pares de bases. Ou seja, se contássemos o número de diferentes nucleotídeos ATCCGGTAACC... em uma das fitas do DNA, este número seria de, aproximadamente, 4.200.000 nucleotídeos. É na seqüência de bases desta imensa molécula de DNA que “está escrito” a informação genética, nos genes dessa bactéria.

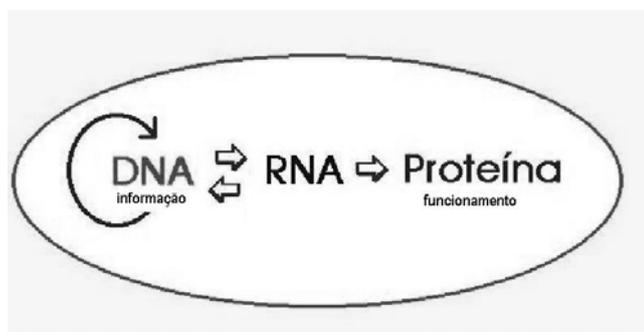
Estudos moleculares recentes têm ampliado o **conceito de gene**: *é uma seqüência de DNA que é essencial para uma função específica*. Três tipos de genes são reconhecidos:

1) **genes que codificam para proteínas**. São transcritos para RNA mensageiro (mRNA) e subseqüentemente traduzidos, nos ribossomos, para proteínas.

2) **genes que especificam RNAs funcionais**, como os RNAs ribossômicos (rRNA); RNAs transportadores (tRNA) e RNAs que desempenham funções regulatórias na célula como os snoRNA e miRNA.

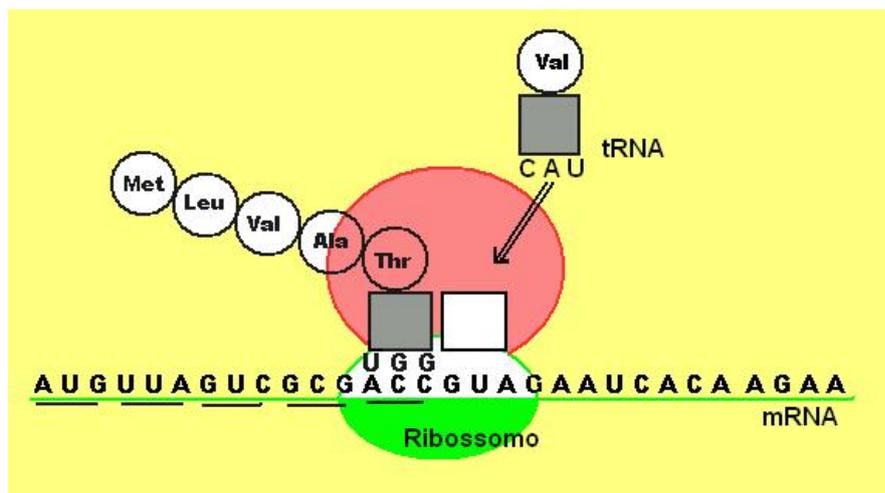
3) **genes não transcritos**. São seqüências de DNA que, embora não sejam transcritas, desempenham alguma função. Por exemplo, os *genes de replicação*, envolvidos na duplicação do DNA; *genes de recombinação*, que são seqüências envolvidas no processo de crossing-over; *seqüências teloméricas*, envolvidas na proteção das extremidades dos cromossomos...

Assim, o genoma contém um grande número de genes que, quando necessários, são ativados. Alguns deles são copiados em RNA e podem “funcionar” como RNA ou codificar uma proteína (Figura 2.2).



**Figura 2.2** - Fluxo da informação genética dentro da célula. O DNA se duplica pelo processo chamado de replicação. A informação nele contida é copiada em moléculas de RNA em um processo chamado de transcrição. Os RNAs participam do processo de síntese de proteínas (tradução).

Para a produção de proteínas temos a ação de um complexo aparato celular envolvendo os ribossomos e dois tipos de RNAs, o RNA transportador (tRNA) e o RNA mensageiro (mRNA). O mRNA corresponde a “cópia” da seqüência de nucleotídeos de um gene e nesta seqüência está a informação de qual deve ser a seqüência de aminoácidos de uma proteína. Ao se ligar aos ribossomos os mRNAs servirão de molde em que cada três nucleotídeos serão informação de um aminoácido na proteína. Cada diferente “trinca” de nucleotídeos que codifica um aminoácido chamamos um “códon”. Como podemos ver na Figura 2.3, o mRNA contém a informação para a seqüência de aminoácidos na proteína. Os tRNAs transportarão os aminoácidos ao sistema. Temos vários “tipos” de tRNA e cada um carrega um diferente aminoácido. Cada tRNA contém ainda uma região chamada de anticódon, que reconhece no mRNA o códon correspondente. Assim, ao se deslocar pelo mRNA, o ribossomo irá percorrendo os “códon” e o tRNAs vão trazendo os aminoácidos na seqüência certa.



**Figura 2.3** - Maquinaria da síntese proteica. Cada três nucleotídeos do mRNA (códon) são reconhecidos pelo anticódon do tRNA. Ao se deslocar pela fita de mRNA o ribossomo permitirá o reconhecimento preciso dos códon-anticódon e os tRNAs deixarão os aminoácidos apropriados para a síntese da proteína codificada pelo mRNA.

### ***Mutação e reparo.***

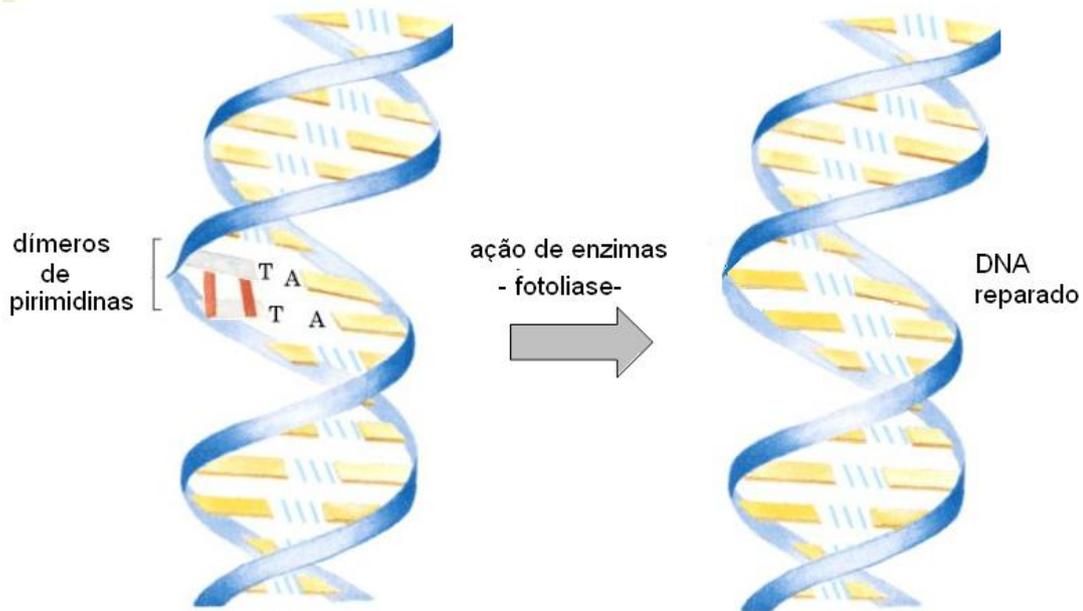
Chamamos mutação a toda alteração na seqüência de bases no material genético (DNA ou RNA). Mutações podem ser causadas por erro no processo de replicação do material genético durante a divisão celular, exposição à radiação UV ou ionizante ou ainda à ação de agentes químicos mutagênicos, viroses ou elementos transponíveis. Se esta alteração acontece em um gene, poderá interferir

no funcionamento deste e, portanto, no organismo que o contém. Por exemplo, a alteração em um gene que codifica para proteínas, poderá resultar na mudança da seqüência dos aminoácidos da proteína. A proteína alterada poderá ser menos eficiente na sua função ou mesmo incapaz de realizá-la.

Chamamos de taxa de mutação espontânea a estimativa do número de mutações que ocorrem por geração ou por gameta, para um gene específico, ocorrendo “naturalmente” na ausência de um agente mutagênico. Estas taxas são, em geral, muito baixas variando de  $10^{-5}$  a  $10^{-7}$ . Ou seja, por exemplo, é descrito que para o gene que causa a neurofibromatose tipo-1 em humanos ocorre espontaneamente uma mutação para cada 10.000.000 de gametas produzidos.

As mutações realmente são eventos raros, mas as alterações na seqüência de bases do DNA são relativamente comuns. Estima-se que todo dia ocorra um milhão de lesões nas moléculas de DNA em cada uma de nossas células. No entanto, as seqüências de DNA são mantidas com uma fidelidade muito alta. Isto acontece porque as células possuem um maravilhoso **sistema de reparo**. Diversos agentes físicos ou químicos podem provocar variadas alterações no material genético. As células possuem múltiplos sistemas de reparos capazes de reverter as alterações químicas que vão ocorrer no DNA. Estes sistemas de reparo são formados por diferentes enzimas. Por exemplo, para os mecanismos de desapareamento de bases estão envolvidas as enzimas DNA polimerase III, Exonuclease I, DNA ligase, DNA helicase II e proteínas como a MutH, L e S. Para os mecanismos de excisão de bases atuam as enzimas endonucleases, DNA polimerase I e DNA ligase. No mecanismo de reparo direto do DNA agem as enzimas DNA fotoliase e DNA metiltransferase.

Para exemplificar um mecanismo de reparo, vamos descrever brevemente a formação dos dímeros de pirimidinas. Quando a radiação ultravioleta atinge o núcleo de uma célula em regiões onde existem duas timinas (T) sucessivas (na mesma fita) essas bases são alteradas e vão parear entre si e não mais com a adenina (A) da fita complementar. Esses dímeros não se desfazem naturalmente e precisam ser removidos pelo sistema de reparo (Figura 2.4).



**Figura 2.4** - A radiação UV induz a ligação entre duas timinas formando os “dímeros de pirimidinas”. As enzimas do sistema de reparo irão desfazer estes dímeros, reparando a molécula do DNA.

## As Radiações e suas interações com as moléculas biológicas:

Como exposto no capítulo 1, a palavra “radiação” abrange um gama muito variada de fenômenos. Os diferentes tipos de radiação irão interagir com as diversas moléculas biológicas de forma variada.

### ***Radiações não ionizantes:***

As radiações na faixa de radiofrequência, microondas e a radiação infravermelha fazem com que as moléculas vibrem. Isto acontece principalmente com as moléculas eletricamente carregadas e no estado líquido, como a água. Esta vibração é transformada em calor. Como os seres vivos apresentam, em geral, uma elevada concentração de água e outras moléculas polares, são bastante sensíveis ao aquecimento por estas radiações. Este é o efeito térmico destas radiações.

A todo o momento estamos expostos a ondas de rádio e microondas de baixa intensidade de diversas fontes, próximas ou distantes, esta espécie de “poluição” de radiação é chamada de “*eletrosmog*”. O termo eletrosmog, junção de **ele**tromagnético (eletromagnético), **sm**oke (fumaça) e **fo**g (nevoeiro), vem sendo utilizado para caracterizar esta espécie de “poluição eletromagnética invisível” na qual estamos cada vez mais imersos. Quando ondas eletromagnéticas passam pelos tecidos do corpo, elas produzem uma ligeira vibração nas moléculas eletricamente carregadas,

mas essas vibrações não são suficientemente fortes para aumentar a temperatura corporal. Atualmente há um grande debate se o “eletrosmog” pode ter algum efeito biológico de caráter não-térmico.

Em situações especiais a quantidade de energia das radiações de microondas e ondas de rádio pode ser alta o suficiente para promover o aumento de temperatura. Por exemplo, ficando exposto diretamente ao *magnetron* de um forno de microondas ou muito próximo às antenas transmissoras de radiofrequência ou de uma fonte intensa de ondas infravermelhas. Mas, nestes casos, não é a onda eletromagnética em si que promove mudanças nas moléculas biológicas, mas sim o aumento da temperatura gerado por estas ondas que corresponde ao efeito termal da radiação. Há poucos indícios de efeitos não-termiais (bioquímicos e eletrofisiológicos) significativos. Pode-se dizer que o campo elétrico das microondas excita os dipolos elétricos das moléculas de água. Já o vetor campo elétrico das ondas de comprimento de onda maior (FM e de rádio curtas e longas) induz correntes nos tecidos condutores.

**Proteínas:** a principal alteração sofrida pelas proteínas com o aumento da temperatura é a **desnaturação**. Este processo geralmente começa com a elevação de temperatura acima dos 40 °C e corresponde a mudanças na estrutura terciária das proteínas. Ou seja, ocorrem mudanças na forma das proteínas. Este processo pode ser reversível ou não. Em geral com o aumento de temperatura, a longa cadeia de aminoácidos que compõe a proteína, se abre, perdendo sua forma funcional. Se a temperatura volta a baixar, a proteína pode voltar à forma original e ser funcional novamente. Entretanto, o mais comum é a não reversibilidade da desnaturação e a proteína perder sua capacidade funcional. Se o calor for muito intenso, as ligações peptídicas (entre os aminoácidos) podem romper-se, alterando inclusive a estrutura primária das proteínas.

Os ácidos nucléicos também sofrem alterações na sua estrutura terciária com o aumento da temperatura. Porém, são mais estáveis que as proteínas. No DNA o aquecimento promove a desnaturação da molécula, que corresponde à abertura da dupla hélice. Este é um processo reversível e com a diminuição da temperatura ocorre a renaturação da molécula. A temperatura em que inicia o processo de desnaturação dos ácidos nucléicos depende do tamanho da molécula e da composição de Cs e Gs mas, em geral, a desnaturação dos ácidos nucléicos começa acima dos 80 °C.

Os carboidratos também são moléculas mais estáveis que as proteínas ao aquecimento. Em temperaturas bem elevadas, e na ausência de aminoácidos ou proteínas, os açúcares sofrem **caramelização**, resultando em compostos escuros de composição química complexa. Já na presença de aminoácidos ou proteínas ocorre a **reação de Maillard**, onde o grupo carbonila ( $=O$ ) do carboidrato interage com o grupo amino ( $-NH_2$ ) dos aminoácidos, e após várias etapas produz as melanoidinas, que dão a cor e o aspecto característico dos alimentos cozidos ou assados.

### ***Radiações “excitantes”.***

As radiações visível e ultravioleta possuem energia intermediária entre as radiações ionizantes e as não ionizantes. Esta energia não é suficiente para arrancar elétrons dos átomos ou moléculas, mas pode promover excitação dos orbitais atômicos ou moleculares, onde elétrons são levados a camadas mais externas, sem serem ejetados. Quando o elétron volta ao seu orbital original, ele pode re-emitir parte desta energia em diferentes comprimentos de onda. Se for emitido na região espectral do visível ou proximidades, este fenômeno é chamado de **fluorescência**. Ou seja, fluorescência é a capacidade de uma substância emitir luz quando exposta às radiações (luz visível, UV ou raios X) ou outras formas de excitação (por exemplo descarga elétrica). Várias moléculas biológicas possuem capacidade de fluorescência.

A clorofila e os carotenóides são excitados pela luz visível. Nos cloroplastos íntegros, estes elétrons são captados pelo fotossistema, alimentando a fase clara da fotossíntese. Entretanto, isolada, a clorofila ao ser excitada, principalmente por luz azul, emitirá fluorescência na forma de luz vermelha.

Algumas plantas são naturalmente fluorescentes na presença de UV, como, por exemplo, a *Mirabilis jalapa* (maravilha). Um pigmento amarelado, chamado betaxantina, é responsável por essa fluorescência.

Certas proteínas também são fluorescentes. A mais famosa delas é a Proteína Verde Fluorescente, mais conhecida por GFP (do inglês green fluorescent protein). É uma proteína produzida pelo cnidário *Aequorea victoria* que emite fluorescência na zona verde do espectro visível. A descoberta desta proteína e suas variantes tem permitido o desenvolvimento de poderosas ferramentas de estudos moleculares e celulares.

Fluorescência é um caso especial de **luminescência**. Este último termo refere-se a emissão de luz por uma substância quando submetida a algum tipo de excitação. Quando a excitação for por descarga elétrica ou luz então chama-se fluorescência, se for uma reação química chama-se quimioluminescência, se for por calor então chamamos de termoluminescência (filamentos das lâmpadas incandescentes), quando forem reações enzimáticas chamamos de bioluminescência, se for por radiações ionizantes então observamos cintilações e outros. Alguns organismos vivos, como vaga-lume, pirilampos, alguns cupins, fungos, bactérias... são capazes de produzir luz como resultado de reações bioquímicas, durante a qual a energia química do ATP é transformada em energia luminosa. Este processo é chamado de **bioluminescência**, e envolve a oxidação de um substrato, chamado luciferina, a oxiluciferina pela luciferase.

### ***Radiações ionizantes***

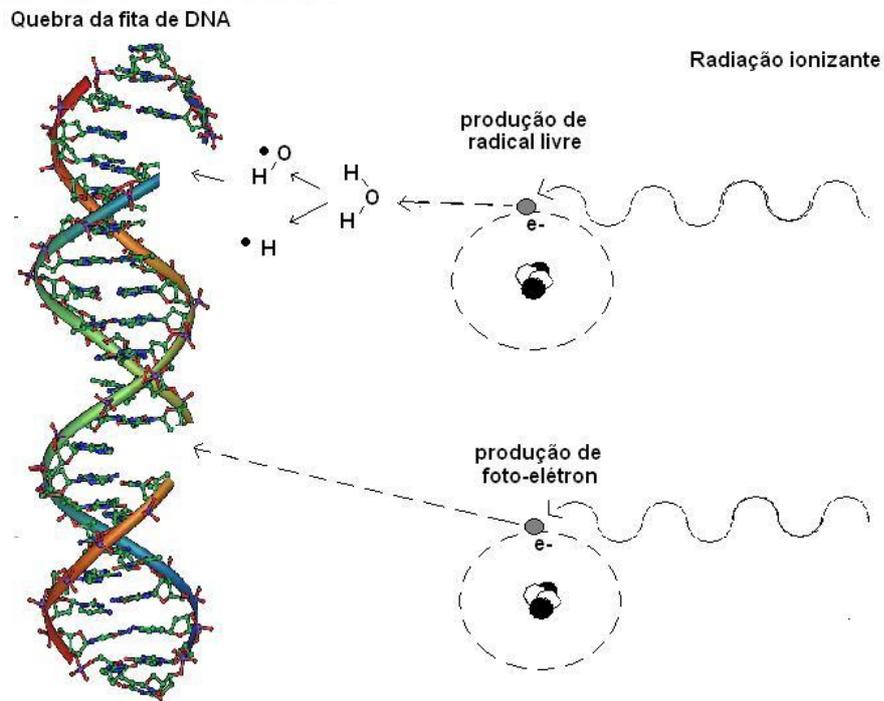
As radiações ionizantes são aquelas que possuem energia suficiente para ionizar átomos ou moléculas. A ionização acontece quando a energia da radiação incidente sobre um material é suficiente para arrancar elétrons dos seus átomos ou moléculas. São exemplos de radiações ionizantes, partículas como os elétrons e os prótons que possuam altas energias, partículas alfa, partículas beta, raios gama, raios X.

As radiações ionizantes interagem com praticamente todos os átomos e moléculas de um ser vivo. Como resultado desta interação muitos radicais livres são produzidos. A água, por exemplo, é decomposta em seus radicais livres, hidroxil, superóxido, peróxido e hidroperóxido. Estes por sua vez poderão interagir com as macromoléculas orgânicas, como DNA, RNA, proteínas e outras, quebrando-as (ver Figuras 2.5 e 2.6).

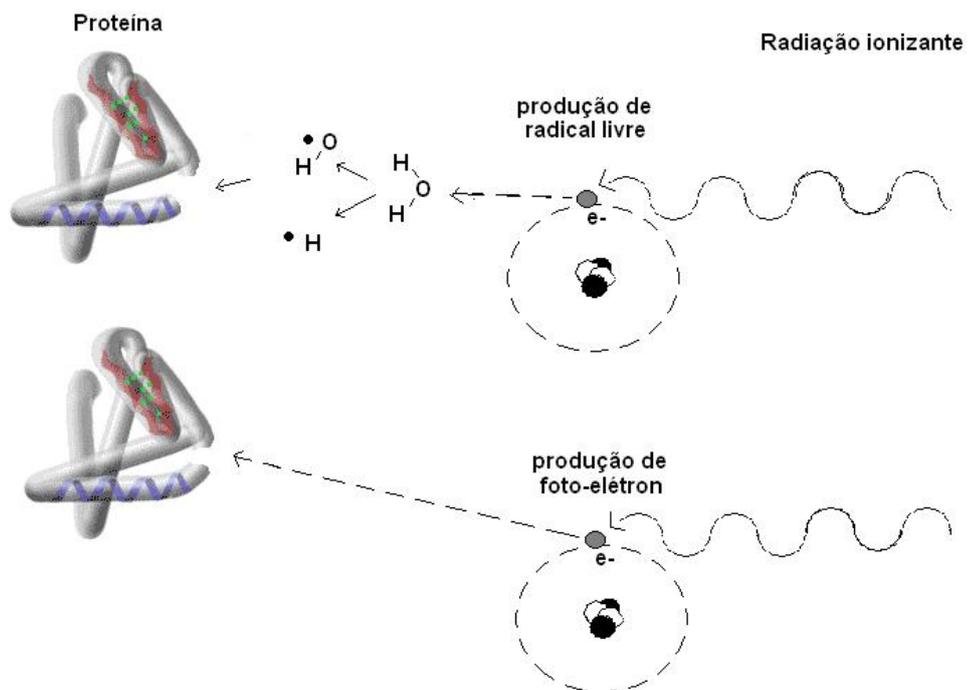
Além da produção de radicais livres, as radiações ionizantes podem, elas mesmas, promover a ionização das macromoléculas de DNA, proteínas... ou podem excitar elétrons de outras moléculas que emitirão foto-elétrons capazes de quebrar as moléculas de DNA ou proteína.

Desta forma, as radiações ionizantes podem provocar a quebra de ligações covalentes de macromoléculas biológicas como DNA, RNA, proteínas, carboidratos

e lipídios. Este processo pode ocorrer diretamente ou pela produção de radicais livres que atacam as macromoléculas.



**Figura 2.5** - As radiações ionizantes podem interagir diretamente com o DNA ou, como mostrado na figura, podem interagir com moléculas do meio e induzir a produção de radicais livres ou um foto-elétron que irá promover alterações no DNA.



**Figura 2.6** - As radiações ionizantes podem interagir diretamente com as proteínas ou, como mostrado na figura, podem interagir com moléculas do meio e induzir a produção de radicais livres ou um foto-elétron que irá modificar a proteína.

O efeito biológico da radiação ionizante dependerá da quantidade, forma e período de radiação recebida. Assim, os efeitos podem ter resultados bastante diferenciados se a exposição ocorrer de uma única vez, ou se fracionada e periódica.

A exposição acidental a altas doses de radiação ionizante resultam em reações biológicas conhecidas como ***síndrome de irradiação aguda***. Muitas pessoas que foram expostas às explosões das bombas atômicas em Hiroshima e Nagazaky, do acidente da usina de Chernobyl ou com a cápsula de Césio-137 em Goiânia apresentaram esta síndrome. A sintomatologia varia conforme a dose de radiação recebida. Em doses mais elevadas, ocorre coma e morte poucas horas após a exposição. Este fato pode ser explicado por que muitas proteínas assim como estruturas celulares fundamentais para o funcionamento do organismo foram danificadas. Estas estruturas, sendo danificadas acima de certo limite, impedem o funcionamento do organismo levando-o à morte.

Em doses intermediárias, podem ocorrer diarreia, vômito, hemorragias e depressão severa da função medular, geralmente levando ao óbito em alguns dias. Neste caso, os danos na maquinaria metabólica das células e em suas estruturas não foram suficientes para induzir à morte imediatamente. A princípio as células poderiam sintetizar novas proteínas para substituir aquelas que foram “quebradas”. Entretanto isto não pode ocorrer porque ocorreu um número significativo de quebras e alterações no DNA, que não puderam ser reparados adequadamente. Tantas são as mutações originadas que as células são incapazes de produzir todas as proteínas necessárias ao correto funcionamento celular.

Em doses menores podem ocorrer náuseas, astenia e também pode ocorrer depressão da função medular, porém voltando ao normal em 4 a 6 meses. Neste caso, as alterações nas proteínas não foram suficientes para impedir o funcionamento da célula. As mutações que ocorreram no DNA foram em quantidade compatível com a capacidade das células em reparar a maioria destas alterações. Algumas mutações somáticas, entretanto, podem se manifestar tardiamente no desenvolvimento de câncer.

Exposição a baixas doses, porém periódicas, geralmente não promovem nenhuma alteração de imediato nas células. No entanto ocorre, de forma dependente da dose, o aumento das **mutações**. As mutações podem ser pontuais (alterações na seqüência de base do DNA), aberrações cromossômicas estruturais ou numéricas. As **aberrações cromossômicas** são resultados de quebras nas duas fitas do DNA, gerando cromossomos dicêntricos ou em anéis.

As mutações podem ocorrer nas células germinativas (que darão origem aos óvulos e espermatozóides) e assim podem ser passadas a geração seguinte, ou em células somáticas. Mutações somáticas podem levar ao **câncer**. Nas células cancerosas ocorrem mutações nos genes que controlam a reprodução celular de forma que estas passam a se multiplicar indefinidamente. Além disto, podem ocorrer mutações em outros genes, como por exemplo em genes responsáveis em manter as células organizadas em tecidos. Estas células alteradas são ditas neoplásicas, não param de se dividir e se espalham pelo corpo (metástases). A este crescimento descontrolado das células chamamos “câncer”.

### **Atividade experimental 1:**

## **Mutagênese Somática em larvas de *Drosophila* promovidas por UV**

### ***Introdução***

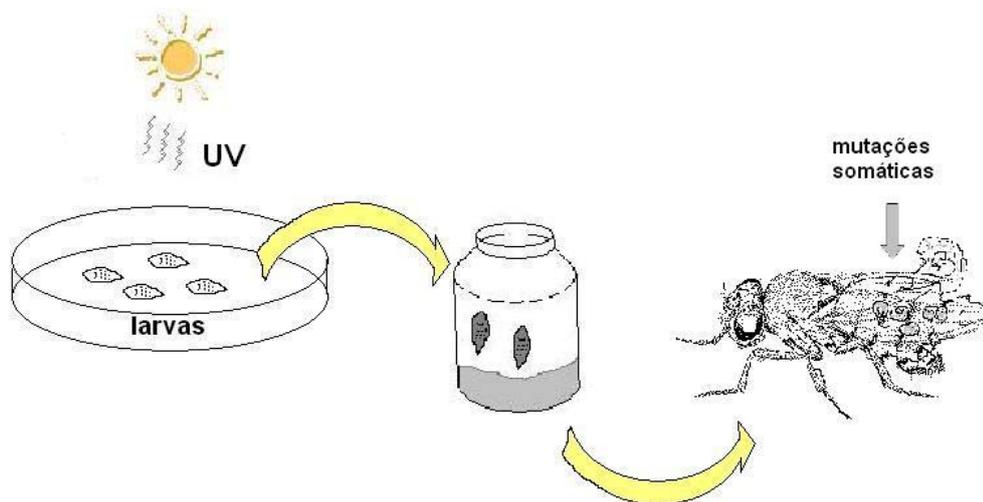
Embora seja bastante conhecido que radiações UV e ionizantes, assim como alguns agentes químicos sejam potentes mutagênicos, poucas são as atividades didáticas disponíveis para exemplificar estes efeitos. As principais razões para este fato residem em que experimentos de indução de mutação geralmente exigem linhagens especiais de alguns organismos modelos. Nestes ensaios, bactérias, fungos, a mosca *Drosophila* ou outros organismos contendo mutações em genes especiais ou, ainda, heterozigotos para estes genes são expostos aos mutagênicos e sua descendência analisada. Geralmente uma prole numerosa precisa ser analisada para podermos verificar a ação mutagênica desses agentes.

Existem alguns ensaios clássicos para se demonstrar o efeito mutagênico de radiações e agentes químicos. Por exemplo, o teste de Ames, que emprega linhagens especiais da bactéria *Salmonella typhimurium*. Temos também o teste

SMART que usa linhagens de *Drosophila melanogaster* com genes marcadores em heterozigose, permitindo identificar mutações somáticas. Alguns bioensaios empregam plantas como *Tradescantia*, soja e milho. Todos necessitando, entretanto, linhagens especiais. Estes ensaios são geralmente empregados para testar a ação mutagênica de substâncias químicas. Mas podem também ser empregados para testar a ação de radiações.

Não nos parece aplicável o emprego de radiações ionizantes em atividades didáticas, principalmente em ensino médio ou no ensino de graduação, dado os riscos envolvidos e necessidade de condições especiais. Vale salientar que, para trabalhar com radiações ionizantes, se faz necessário curso de capacitação específico e autorização do CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear).

Propomos aqui uma atividade didática, de fácil execução e que requer materiais simples, possibilitando demonstrar de forma muito “eloqüente” a ação das radiações ultravioletas em produzir mutações somáticas em drosófilas. A proposição geral do experimento pode ser visualizada na Figura 2.7. Larvas de drosófilas são expostas à RUV, transferidas para meio de cultura e após a eclosão dos adultos, se observa com uma lupa a presença de mutações somáticas.



**Figura 2.7** - Esquema geral do experimento de mutagênese somática em *Drosophila*. As larvas de *Drosophila* são expostas à radiação UV, posteriormente transferidas para vidros com meio de cultura e por último observadas as alterações somáticas.

## PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL:

### Material necessário:

- Cultura de *Drosophila*

Drosófilas são organismos muito fáceis de obter e de manter. Pode-se obter uma cultura em laboratórios de Genética de várias universidades. Porém, é muito fácil iniciar uma cultura nova, partindo de moscas que visitam a cozinha de nossa casa ou escola. Informações de como iniciar e manter uma cultura de drosófilas podem ser encontradas no site: <http://www.ufsm.br/labdros/links/cultdros.pdf>

- Lâmpada germicida (UV).

A descrição detalhada de como construir uma câmara com lâmpada germicida é fornecida na página 113 (153). Lá também está descrito como pode ser utilizada lâmpadas germicidas geralmente presentes em laboratório.

- Lupa (estereomicroscópio).

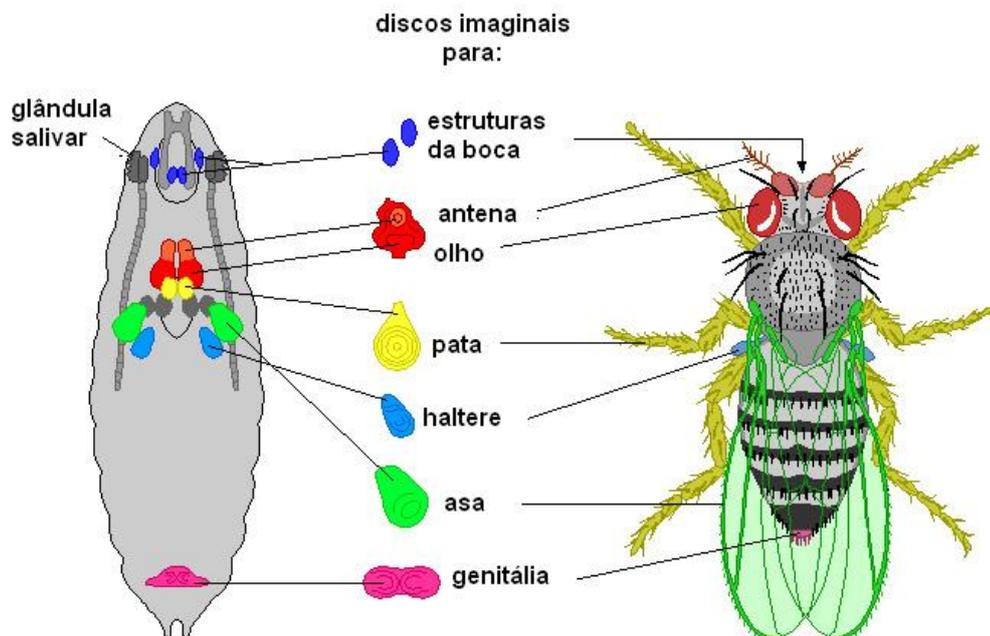
### PROCEDIMENTO:

Pegue um vidro com cultura de *Drosophila* contendo larvas. Ponha um pouco de meio em uma placa e cate larvas no meio com um pincel de pintura número zero ou uma pinça de ponta fina. Para facilitar a captura das larvas é útil dissolver o meio em água. Transfira as larvas para uma placa umedecida. Junte umas 40 a 50 larvas. Exponha as larvas à radiação UV por diferentes tempos. Nossa experiência mostra que tempos como 30 segundos e 1, 2 e 3 minutos de exposição são o suficiente para promover uma letalidade a maioria das larvas e entre as sobreviventes o aparecimento de mutações somáticas. Posteriormente as larvas são transferidas para vidros pequenos contendo meio de cultura. Sugerimos que estes vidros sejam bem pequenos, com apenas 2 a 3 mL de meio de cultura (pequenos vidros de remédio). Após alguns dias, aproximadamente uma semana, algumas moscas irão eclodir. É interessante registrar o número de larvas que foram expostas a cada tratamento, assim como fazer um grupo controle, que não foi exposto à radiação UV. É importante também comparar quantas moscas irão eclodir nos diferentes tratamentos. Pode-se verificar que há uma maior letalidade associada

aos maiores tempos de exposição, assim como também a incidência de mutações somáticas é maior em larvas expostas por mais tempo à RUV.

### OBSERVANDO MUTAÇÕES SOMÁTICAS

As larvas de *Drosophila* carregam em seu interior um conjunto de células indiferenciadas, denominadas discos imaginais que durante a metamorfose, no estágio de pupa, irão dar origem aos tecidos do adulto (ver Figura 2.8). Mutações nestas células poderão acarretar alterações nas estruturas da mosca adulta, sendo que não podem ser transmitidas às gerações futuras por que ocorreram em células somáticas (discos imaginais) e não em células germinativas.



**Figura 2.8** - Discos imaginais são conjuntos de células indiferenciadas presentes na larva dos insetos holometábolos, como a *Drosophila*. Na metamorfose estas células irão se diferenciar e originar as estruturas do corpo do inseto adulto.

Várias alterações podem ser observadas nas drosófilas adultas com mutações somáticas. As alterações mais comuns são nos tergitos abdominais, que são as placas do exoesqueleto do abdome. É comum, nas moscas irradiadas, encontrarmos placas mal formadas, interrompidas, com padrões de coloração alterados... Também, as asas são seguidamente alteradas, aparecendo bolhas ou as veias são alteradas (Figura 2.9). A taxa destas mutações somáticas é bem alta.

Por exemplo, geralmente obtemos mais de 50% de moscas com más formações após a exposição de 1 minuto à radiação ultravioleta de uma lâmpada de 20 watts.

A natureza somática destas mutações pode ser demonstrada observando a F1 e F2. A rigor, a prole dessas moscas com mutação somática será normal. Eventualmente, pelo fato da larva ter sido exposta a uma quantidade alta de radiação, podem ocorrer mutações também em células germinativas. Estas mutações nas células germinativas podem tornar algumas moscas estéreis ou com fertilidade reduzida. Também, novas mutações poderão surgir na F1 ou F2, ainda que estas mutações serão de natureza diferente das observadas nos pais. Vale salientar, entretanto, que este tipo de mutação germinativa é menos freqüente e precisamos observar um número muito elevado (geralmente na ordem de  $10^5$  moscas da F2) para poder encontrar um mutante.



**Figura 2.9** - Mutações somáticas em adultos de *Drosophila* que foram expostas, quando em larvas, à radiação ultravioleta. Em **A**, podemos ver as placas abdominais (tergitos) com formação alterada (interrompidas); em **B**, podemos ver a formação de “bolhas” nas asas e a formação alterada das veias.

### Atividade experimental 2:

### Usando o espectro para identificar moléculas

Como mencionado no capítulo 1, cada molécula pode ter um padrão característico de absorção das radiações, nos diferentes comprimentos de onda. Esta propriedade é muito usada para identificação e quantificação de moléculas.

Daremos a seguir exemplos de como se pode identificar moléculas por espectroscopia na faixa do visível. Entretanto, existem outras técnicas como dicroísmo circular, espectrofotometria infravermelha, espectroscopia Raman, espectrofotometria de absorção atômica, espectrofluorometria, espectroscopia por fluorescência de raios X, ressonância magnética nuclear que também usam radiações para identificar moléculas.

### **A carteira de identidade da Clorofila**

A clorofila não absorve igualmente todos os comprimentos de onda. É comum, em livros do ensino médio, encontrarmos gráficos como o da Figura 2.12, mostrando que a clorofila absorve mais a luz nos comprimentos de onda correspondente ao violeta, azul e vermelho. Como podemos demonstrar este fenômeno experimentalmente? Propomos uma investigação usando o espectroscópio e os espectrofotômetros descritos no capítulo 1, para caracterizar um padrão de identificação típico correspondente ao espectro de absorção da molécula da clorofila.

Existem diversos protocolos descrevendo modos de obtenção de extratos de clorofila. De maneira bastante simplificada a estratégia básica consiste em macerar folhas verdes picotadas em um pouco de álcool ou acetona. Folhas de espinafre são mais indicadas por terem como pigmento predominante a clorofila e serem fáceis de macerar. Mas folhas verdes em geral servem para o nosso propósito.

#### **Materiais:**

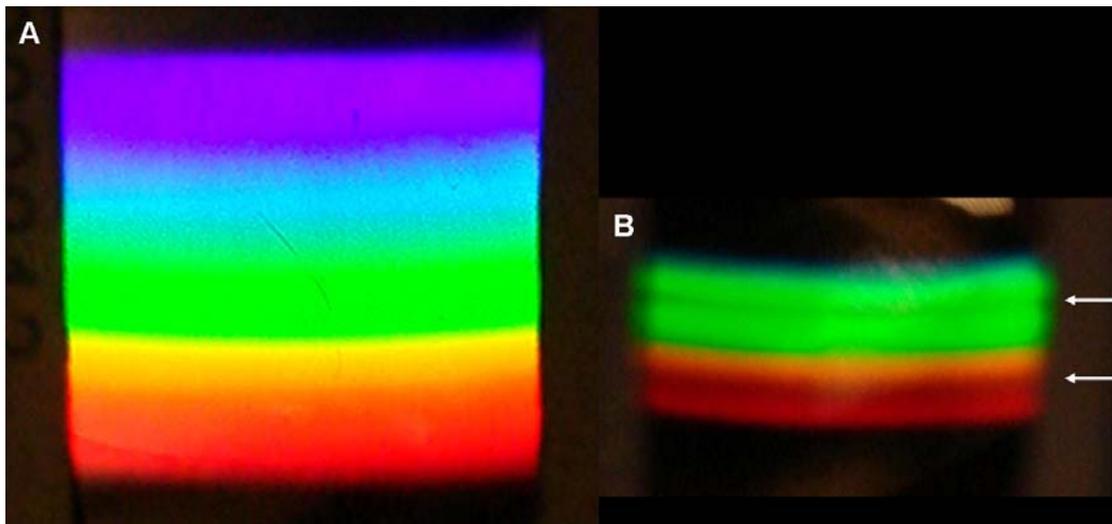
- Folhas verdes (de preferência de espinafre).
- Almofariz e pistilo (ou colher e pires ou pratinho de sobremesa e frasco de desodorante com tampa arredondada ou “kit de caipirinha”).
- Álcool comercial.
- Papel filtro (pode ser papel filtro para café).
- Cubeta acrílica transparente de com medidas aproximadas de 2 x 3 x 4 cm (usamos um depósito de apontador de lápis; pode ser, também, uma caixinha de pastilhas tictac®).
- Espectroscópio (conforme descrito no capítulo 1).
- Espectrofotômetros (conforme descrito no capítulo 1).
- Retroprojektor (ou lâmpada halógena de 100 W em suporte apropriado).

- Tiras de papelão com dimensões suficientes para cobrir a superfície do retroprojetor ou sistema de barreiras para a luminária da lâmpada halógena.

**Procedimento:**

Obter um extrato alcoólico das folhas verdes (duas ou três), picotando-as e macerando-as em um pouco de álcool (não muito para facilitar a maceração). Quando estiver bem macerado acrescentar um pouco mais de álcool e filtrar.

Após a obtenção do extrato de clorofila, ajustamos um sistema de iluminação para obter um feixe luminoso, posicionando o frasco com clorofila no caminho do feixe. Uma amostra de álcool pode servir de referência (ou “branco” como é conhecido na linguagem de laboratório). Atrás da amostra posicionamos o espectroscópio com sua fenda voltada para o frasco e observa-se o espectro projetado no interior da caixa. A disposição geral é a mesma da Figura 2.13. Provavelmente será necessário, para uma melhor visualização, uma leve inclinação do espectroscópio, direcionando a visão para a base da caixa.



**Figura 2.10** - Espectro comparativo do álcool comercial (A) e do extrato alcoólico de clorofila (B). As setas em B indicam fortes absorções (picos) dentro das faixas verde e vermelha. As faixas do violeta, azul e boa parte da vermelha desaparecem em B indicando absorção total das mesmas. Visualizações obtidas do espectroscópio caseiro.

Fisicamente o que é observado pode ser entendido conforme o esquema:

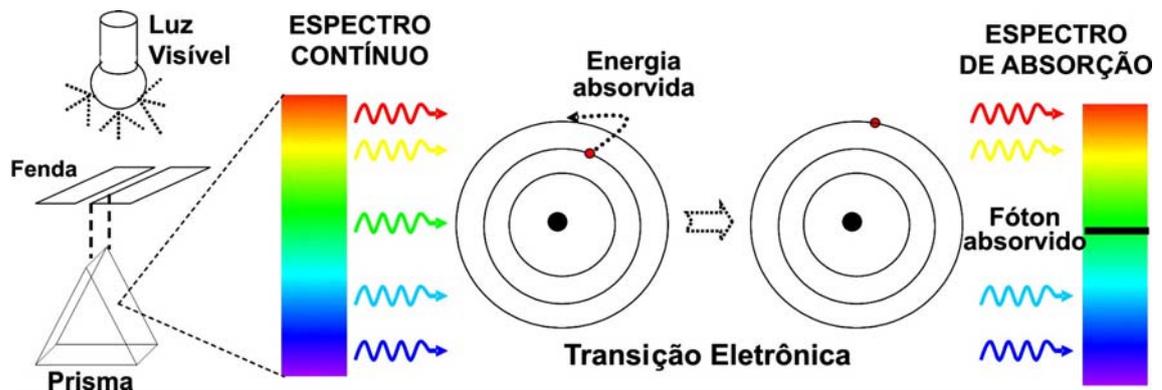


Figura 2.11 - Esquema explicativo do espectro de absorção.

A faixa escura da figura no espectro de absorção mostra que a energia que foi absorvida para promover a transição eletrônica corresponde à energia do fóton verde que, então, não mais aparecerá no espectro.

### Espectrofotometria:

A comprovação da absorção visualizada diretamente no espectroscópio pode ser convertida em informação gráfica. Vamos usar o “espectroled” por ajuste de distanciamento (descrito no capítulo 1 no item 4.2.1.b) como sistema de aquisição de dados.

### Procedimento:

Inicialmente deve-se obter o valor inicial de referência usando o álcool comercial comum como amostra (“corrida do branco”, na linguagem de laboratório). Selecionar a faixa do multímetro adequada e ligar LED à fonte de alimentação. Verificar os valores registrados para cada LED aproximando e distanciando dentro dos limites de deslocamento do sistema vai-e-vem. No quadro abaixo temos o exemplo de valores máximos e mínimos encontrados:

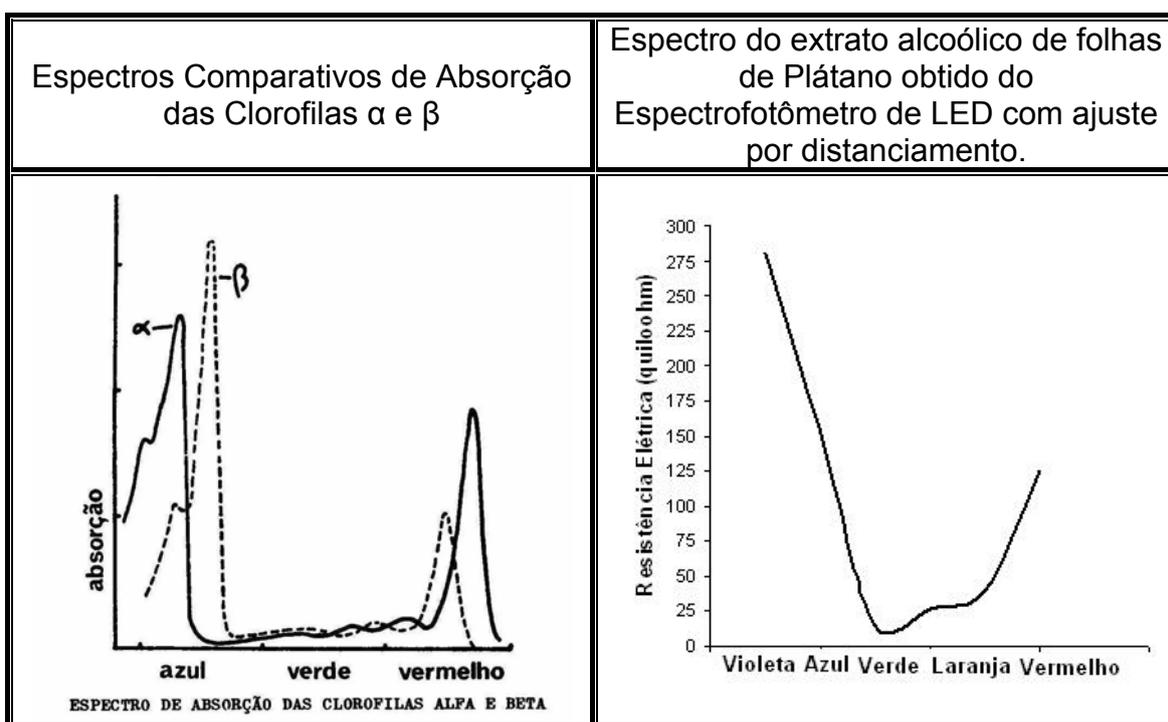
Cor do LED	Faixa de Resistência Registrada (kΩ)		Critério
	Mínimo	Máximo	
Amarelo	2,6	35,0	Escolhe-se um valor entre: o <b>maior</b> valor entre os <b>mínimos</b> (2,6) e o <b>menor</b> valor entre os <b>máximos</b> (4,6).
Verde	0,07	4,7	
Violeta	1,4	10,6	
Azul	0,07	4,6	
Laranja	2,5	40,0	
Vermelho	0,06	4,9	

O valor inicial da resistência elétrica adotado como valor de referência foi 4,5 k $\Omega$ . Portanto antes de efetuar as medidas com o extrato de folhas de espinafre deve-se ajustar o distanciamento de cada LED para o referido valor, usando a amostra de álcool. Aí então troca-se o álcool pelo extrato e registra-se o valor. Este procedimento deve ser repetido para cada LED.

Apresentamos no quadro abaixo um exemplo de resultados por nós obtidos para a solução de clorofila em etanol de folhas de plátano, usando o “espectroled”.

Cor do LED	Resistência Elétrica (em k $\Omega$ )
Violeta	280,0
Azul	151,0
Verde	15,1
Amarelo	26,7
Laranja (âmbar)	39,5
Vermelho	125,0

Construindo um gráfico com os valores obtidos, podemos comparar este gráfico com o encontrado em livros. A comparação dos gráficos do espectro de absorção “dos livros” com o obtido empregando o “espectroled” é apresentada na Figura 2.11. Note que os gráficos são bastante similares.



**Figura 2.12** - Comparação entre o padrão de absorção das clorofilas  $\alpha$  e da clorofila  $\beta$ , obtidas por espectrofotômetros analíticos e o obtido com o “espectroled caseiro” construído para atividades didáticas.

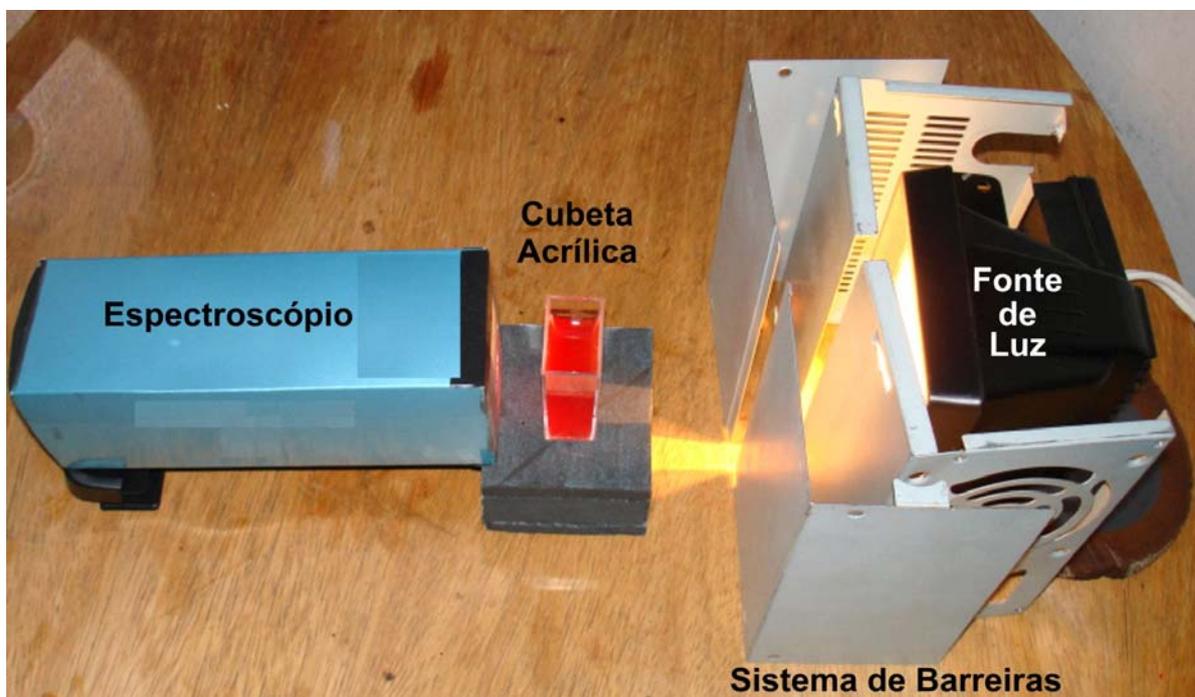
### **A carteira de identidade da Hemoglobina**

A molécula de hemoglobina também apresenta, quando submetida ao espectro visível, uma absorção seletiva, especialmente na região violeta-azulada. Uma observação próxima disto pode ser feita por intermédio da espectroscopia do sangue, como mostra a Figura 2.12.

A amostra agora é feita com sangue diluído, que pode ser obtido a partir do resíduo de sangue que fica retido nas embalagens de carnes. Coletar este resíduo e diluir em um pouco de água (cerca de 2 a 3 mL de resíduo para 15 a 20 mL de água). Filtrar em papel filtro.

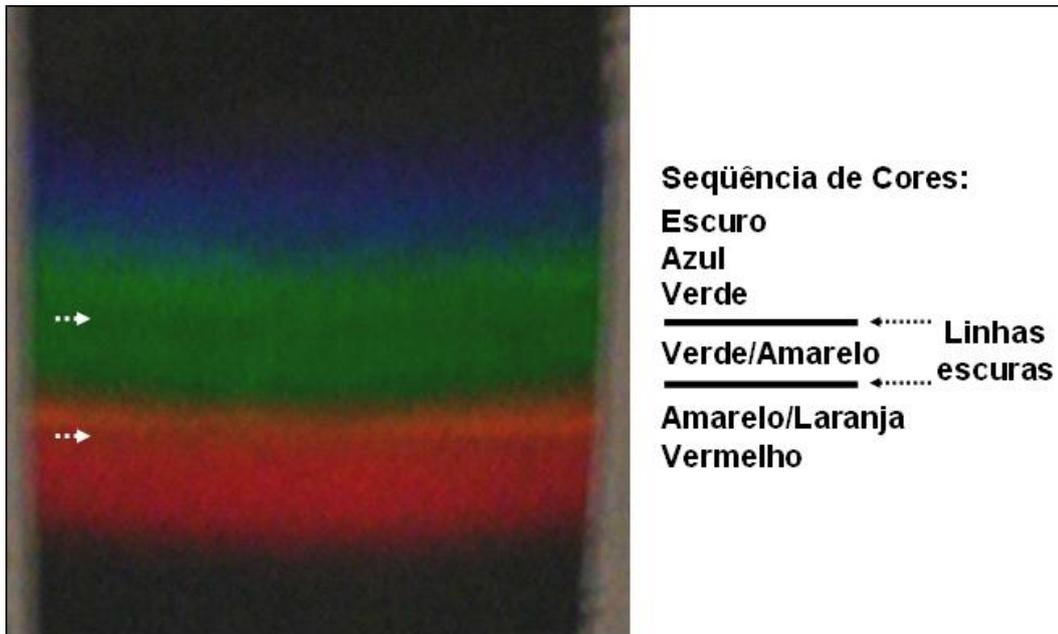
### **Procedimento:**

Para observação espectroscópica seguir as instruções constantes na espectroscopia da clorofila e conforme a configuração da Figura 2.13.



**Figura 2.13** - Montagem do sistema de espectroscopia de sangue suíno.

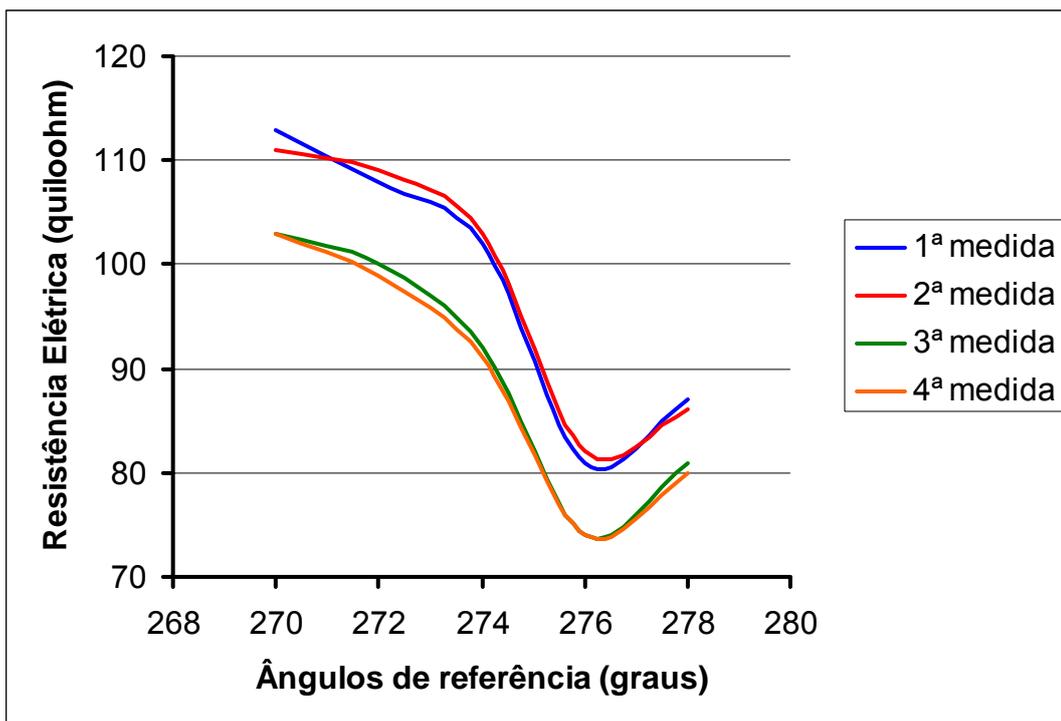
A observação através da janela do espectroscópio é mostrada na Figura 2.14.



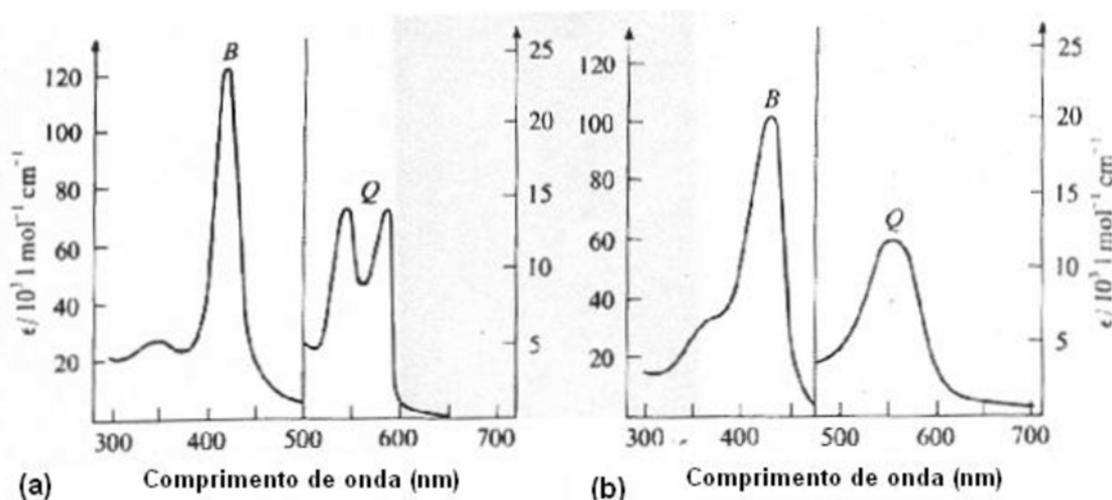
**Figura 2.14** - Espectroscopia de sangue de suíno. As setas brancas indicam linhas escuras (pouco visíveis na foto) como absorções na zona colorida do espectro.

Para análise espectral em termos gráficos usamos os dados obtidos do espectrofotômetro com rede de difração por reflexão (construído no capítulo 1, no item 4.2.2.b).

Colocar a amostra de sangue diluído na cubeta e fazer a varredura girando o transferidor de modo que o espectro seja projetado no porta-cubeta e então coletar os dados registrados pelo multímetro (ver montagem na Figura 1.18 do capítulo 1).

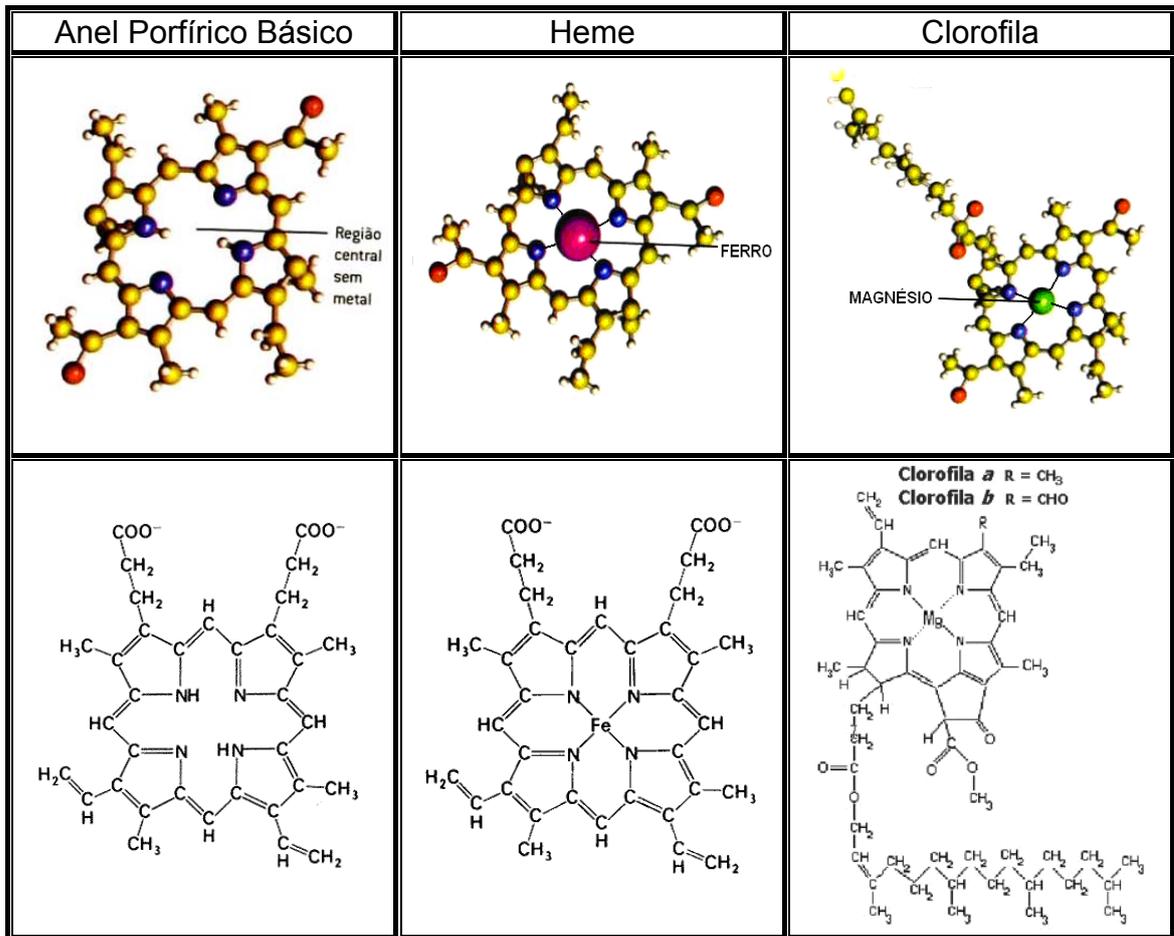


**Figura 2.15** - 1ª e 2ª medidas sangue de bovino diluído em água. 3ª e 4ª medidas são mais diluídas. Os graus correspondem às variações do espectro contínuo que vai do violeta (270°) ao vermelho (278°) conforme ajuste inicial do experimento.



**Figura 2.16** – Espectro de absorção de (a) oxihemoglobina e (b) desoxihemoglobina. As bandas B e Q têm diferentes escalas de absorção.

É interessante observar as semelhanças nas estruturas químicas das moléculas de hemoglobina e de clorofila. Ambas possuem um anel porfírico e algumas substâncias com esta configuração (como a porfirina) são usadas em terapia fotodinâmica por absorver fortemente na faixa vermelha que é a radiação visível mais penetrante na pele (ver capítulo 3).



**Figura 2.17** - Comparação entre as estruturas moleculares das moléculas de clorofila, heme e estrutura molecular básica do anel porfírico.

### A carteira de identidade do Caroteno:

Usamos pedaços de cenoura para obter um extrato alcoólico onde o pigmento predominante é o caroteno (Figura 2.18). Ralar 3 a 4 cm do comprimento de uma cenoura e macerar em um pouco de álcool (cerca de 5 a 10 mL). Após, acrescentar um pouco mais de álcool (10 a 20 mL) e filtrar em papel filtro.

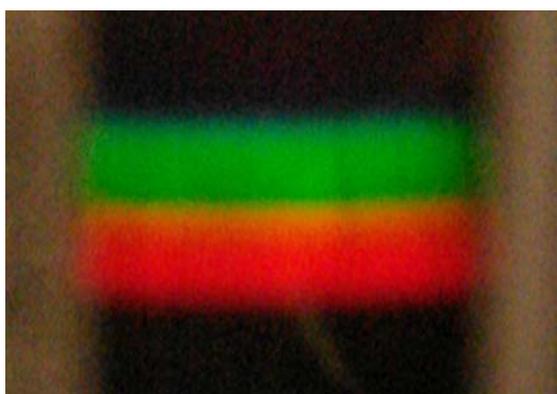


**Figura 2.18** - Recipientes contendo extratos alcoólicos de cenoura e de folhas de plátano.

**Procedimento:**

Para observação espectroscópica seguir as instruções constantes na espectroscopia da clorofila e conforme a configuração da Figura 2.13.

O resultado visto através da janela do espectroscópio é mostrado na Figura 2.19.



**Seqüência de cores observadas no espectroscópio:**

- Escuro
- Verde
- Amarelo } - estreito
- Laranja } - pouco visível
- Vermelho

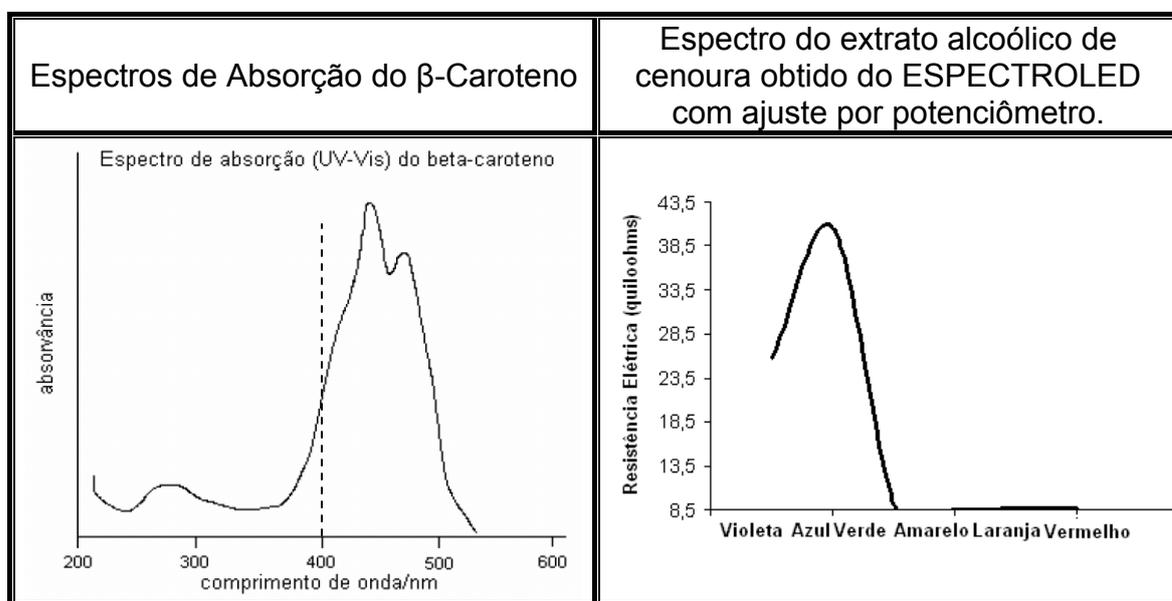
**Figura 2.19** - Observação espectroscópica do extrato alcoólico de cenoura visto pelo espectroscópio caseiro.

Para obtenção do registro gráfico usou-se o ESPECTROLED com ajuste por potenciômetro, construído no capítulo 1 (item 4.2.1.a).

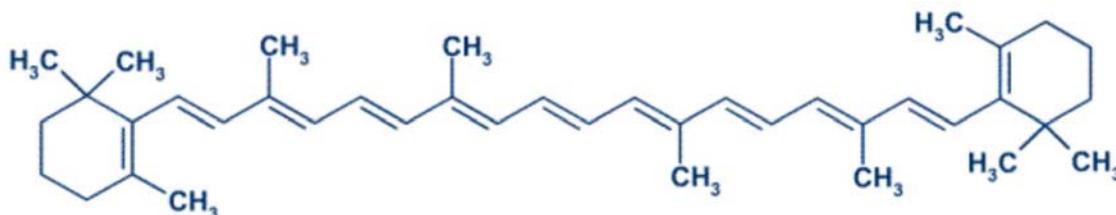
O procedimento é praticamente o mesmo do experimento que fez uso do ESPECTROLED com ajuste por distanciamento (usado na atividade com a clorofila), diferindo apenas no ajuste do valor de referência inicial que agora é feito girando o potenciômetro para averiguar os valores máximos e mínimos que serão registrados pelo multímetro.

O valor adotado como referência inicial, na nossa configuração, foi de 8,5 k $\Omega$ , ou seja, todos os LEDs devem partir deste valor. Portanto, antes de efetuar as medidas com o extrato alcoólico de caroteno, deve-se ajustar o potenciômetro para que o LED inicie com o referido valor, usando a amostra de álcool. Aí então troca-se o álcool pelo extrato e registra-se o valor. Este procedimento deve ser repetido para cada LED.

O resultado gráfico está expresso na Figura 2.20.



**Figura 2.20** - Comparação entre os espectros de absorção do caroteno obtido por espectrofotômetro de laboratório e pelo “espectroled caseiro”.



**Figura 2.21** - Fórmula estrutural da molécula de beta-caroteno.

### Atividade experimental 3:

#### Porque a vida prefere as moléculas canhotas?

Existem compostos que possuem idêntica fórmula e estrutura molecular, com propriedades químicas e físicas iguais, diferenciando-se apenas pelo fato de desviarem a luz plano-polarizada em diferentes sentidos. Compostos que manifestam esta peculiar atividade óptica denominam-se **isômeros ópticos** (do grego *isoméres* = partes iguais). Cada membro de um par de isômeros ópticos é conhecido como enantiômero (do grego *enantio* = oposto).

Isômeros ópticos possuem “imagens espelhadas” de suas estruturas moleculares que não podem ser superpostas tal como ocorre com a mão esquerda e direita. Por este motivo também são conhecidos como compostos **quirais** (de origem grega e significa “mão” direita ou esquerda).

Polarizar uma onda de luz significa obter oscilações do campo elétrico numa única direção por intermédio de um dispositivo polarizador, o qual apresenta moléculas paralelamente alinhadas entre si (ver Figura 2.22). Nesta condição, as ondas cujos campos elétricos vibrem na direção perpendicular ao alinhamento das moléculas serão absorvidas pelo polarizador. As que vibram em direção paralela à direção de alinhamento serão transmitidas. Esta luz que emerge, por estar contida num único plano de oscilação, é chamada luz plano-polarizada.

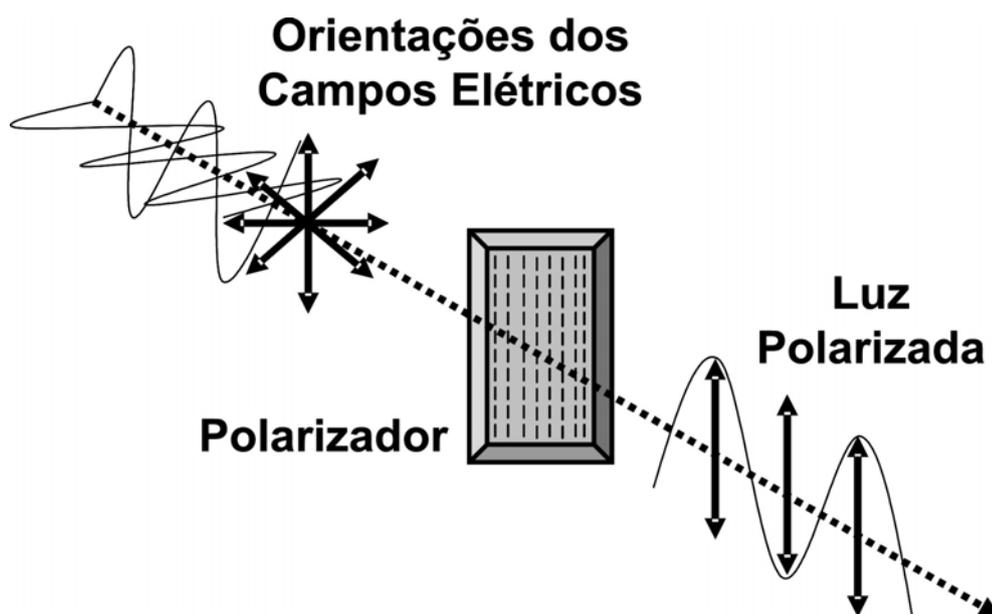
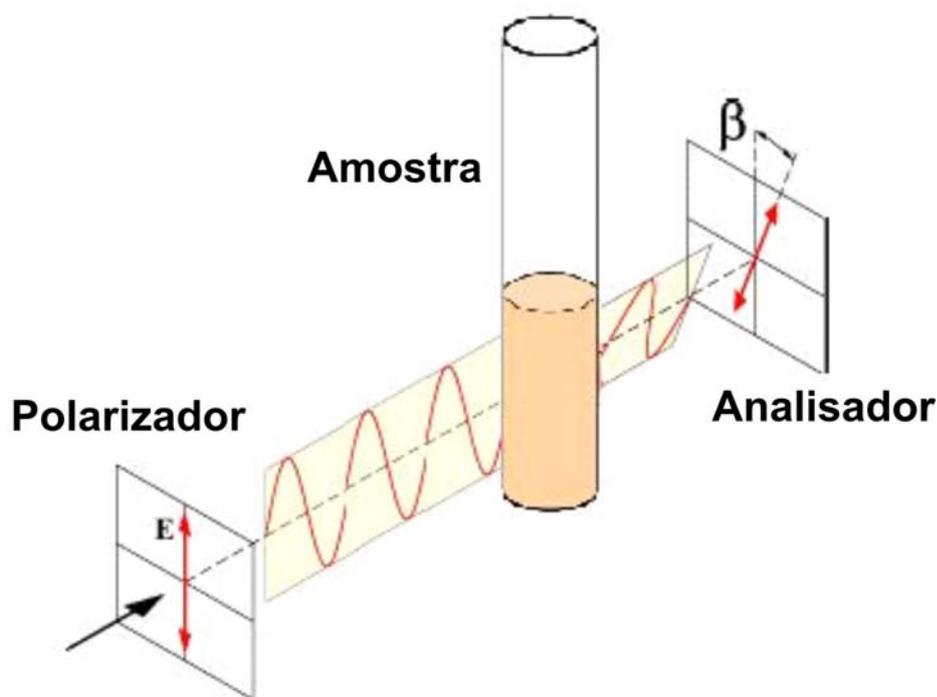


Figura 2.22 - Produção de luz plano-polarizada.

Um segundo polarizador (normalmente chamado analisador) colocado no trajeto luminoso de uma luz plano-polarizada, deixará passar apenas a componente do campo elétrico que vibra em sua direção característica de polarização.



**Figura 2.23** - Esquema mostrando a luz plano-polarizada que atravessa uma amostra e é desviada sendo então analisada por outro polarizador (analisador).

Se o plano é desviado para a esquerda, diz-se que a substância é *levorrotatória* ou *levógira* (latim *laevu* = esquerda) e, por convenção, rotula-se com um sinal de menos entre parênteses (-) ou com a letra “L”. Se o plano for desviado para a direita, diz-se que a substância é *dextrorrotatória* ou *dextrógira* (latim *dextro* = direita) e rotula-se como um sinal de mais entre parênteses (+) ou com a letra “D”.

Muitos compostos orgânicos que possuem um ou mais carbonos assimétricos (têm quatro ligantes diferentes) podem apresentar uma natureza quiral. Diversos compostos biológicos importantes têm pelo menos um centro quiral.

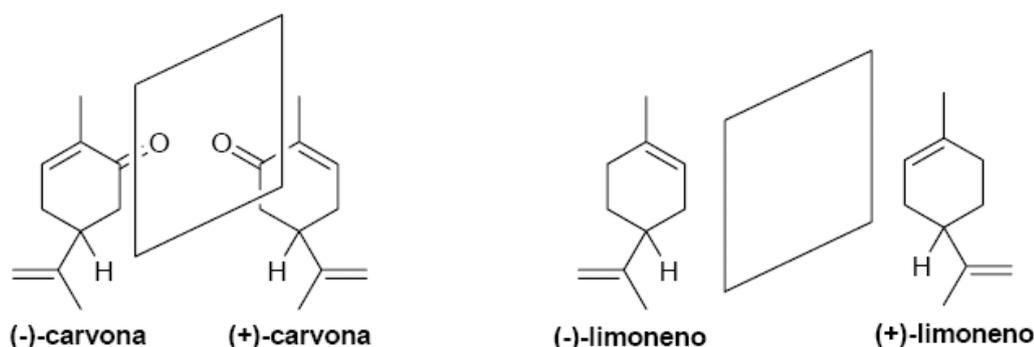
Até que ponto a configuração geométrica de uma molécula pode afetar suas propriedades biológicas?

Foi Pasteur quem ajudou a fundar um ramo de estudo que permitiria compreender as implicações da estrutura espacial das moléculas nos mecanismos biológicos. Suas observações estabeleceram as bases para o surgimento da moderna estereoquímica, que se dedica a estudar as moléculas em três dimensões.

A capacidade de desviar a luz plano-polarizada demonstrada por certos compostos já era conhecida à época de Pasteur. Este se dedicou a estudar o comportamento óptico de duas substâncias isoladas do tártaro que se depositava nos barris, durante o processo de envelhecimento do vinho.

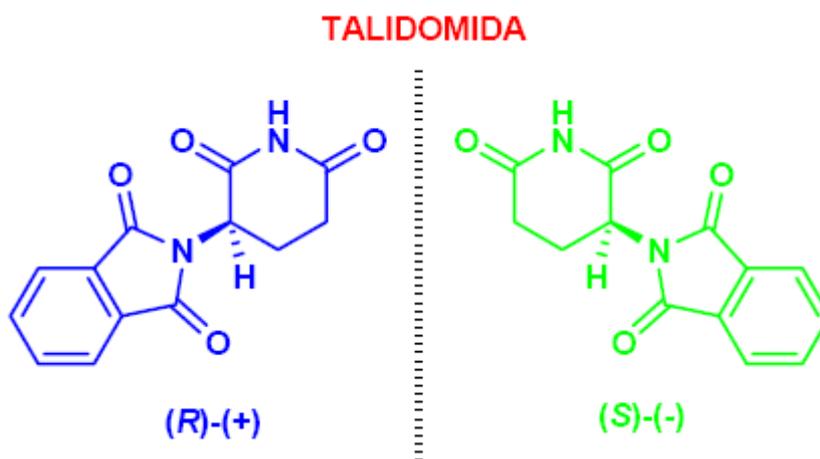
Uma dessas substâncias, chamada de ácido tartárico, quando dissolvida em água, rotacionava o plano da luz polarizada para o lado direito. Por convenção, ficou conhecida como (+) ácido tartárico. A outra substância, estruturalmente idêntica ao ácido tartárico, era conhecida como ácido paratartárico ou racêmico (do latim *racemus* = cacho de uva), mas não era capaz de desviar a luz polarizada. Pasteur formou cristais dessas substâncias, reagindo-as com amônia e, munido de uma simples lupa, uma pinça e muita paciência, separou-os em dois tipos: um era semelhante aos cristais do ácido (+) tartárico que, em solução, desviava o plano da luz polarizada para o lado direito; o outro tipo desviava o plano da luz polarizada para o lado esquerdo. As duas substâncias partilhavam das mesmas propriedades físicas e químicas, diferindo apenas no comportamento diante de um feixe de luz polarizada. Curiosamente, os ângulos dos desvios eram exatamente os mesmos, porém com orientações opostas. Pasteur chamou de *racemato* a mistura inicial das duas substâncias em partes iguais, a qual não desvia o plano da luz polarizada.

Como exemplo das diferenças de atividades biológicas de enantiômeros, podemos citar a (-) carvona e a (+) carvona, responsáveis, respectivamente, pelos aromas da menta e do cominho, duas plantas utilizadas na culinária, e o (+) limoneno e o (-) limoneno, responsáveis pelos aromas da laranja e do limão, respectivamente (Figura 2.24).



**Figura 2.24** - Exemplos de enantiômeros com diferentes propriedades. Substâncias responsáveis pelos aromas da menta, cominho, limão e laranja respectivamente.

Outro exemplo das diferenças de atividade biológica entre enantiômeros, com conseqüências bem mais sérias do que apenas diferenças de aromas, é o da talidomida (Figura 2.25), um fármaco muito utilizado, entre os anos de 1957 e 1962 em todo o mundo, no tratamento de enjoos e náuseas, muito comum no período inicial da gravidez humana. Quando a talidomida foi lançada era considerada segura, sendo administrada a mistura racêmica. Mais tarde foi descoberto que um dos enantiômeros apresentava ação teratogênica (do grego *teras* = monstro; *gene* = origem), levando à má formação congênita.



**Figura 2.25** - Talidomida, um fármaco com atividade biológica distinta para cada enantiômero.

Tais estudos, portanto, têm profundas implicações para a indústria farmacêutica, pois muitos remédios são quirais; diferentes isômeros da mesma droga podem ter efeitos completamente diferentes: curativos, inertes ou até nocivos. Possibilitam também o desenvolvimento de novas substâncias biologicamente ativas (fragrâncias, pesticidas, feromônios, etc.) com alta pureza enantiomérica.

Outra questão relacionada é que, dos vinte aminoácidos existentes no organismo apenas um (a glicina) não é quiral, sendo todos os demais da forma L, enquanto as formas D predominam nos açúcares. Porque uma forma predomina sobre a outra?

Recentemente uma possível resposta veio através de um experimento muito simples: ao dissolver quantidades crescentes de sal em água, no início todo o sal se dissolve, mas a partir de um dado ponto a água fica saturada e parte do sal fica no fundo do copo. Os cientistas repetiram esse experimento com uma mistura contendo 50% de D-aminoácidos e 50% de L-aminoácidos e verificaram que, quando a

mistura atingia o equilíbrio sólido-líquido, na parte líquida predominava a forma “canhota”. Portanto, apesar de as duas formas estarem presentes na mesma quantidade na “sopa primordial” em que surgiu a vida, provavelmente existia uma maior concentração das formas L, o que pode explicar o motivo de os seres vivos conterem somente L-aminoácidos.

### **Materiais:**

- Fonte de iluminação. Pode ser um retroprojektor ou lâmpada halógena em suporte apropriado (permitem melhor visualização, mas deve-se evitar olhar por muito tempo), ou até uma lanterna.

- Sistema de barreiras ajustáveis para regular a passagem de luz por fendas obtendo um feixe de luz. Por exemplo, placas de metal cortadas ao meio, feitas a partir da carcaça metálica de aparelhos estragados (Figura 2.27).

- Dois polarizadores que podem ser retirados de relógios ou calculadoras digitais estragados. Seus mostradores (display, visor) funcionam como filtros polarizadores.

- Tampa plástica redonda na qual se possa adaptar um polarizador (como a tampa de um tubo de tinta spray).

- Bases de madeira ou isopor para manter os polarizadores na posição vertical.

- Tubo de ensaio ou tubo de vidro similar.

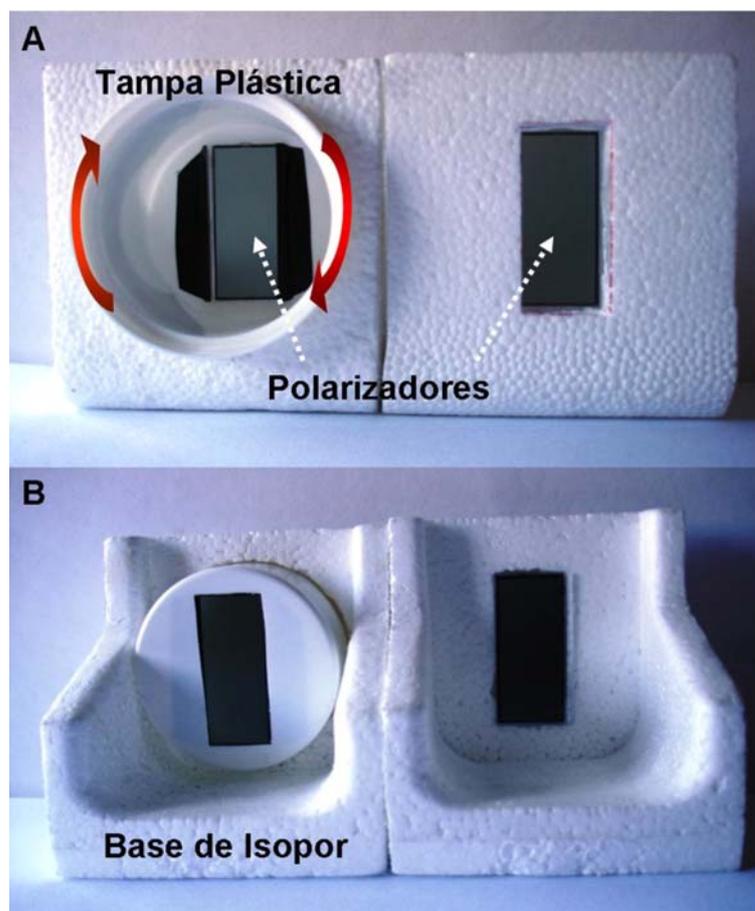
- Base para sustentar o tubo de vidro na vertical (uma tampa furada de tubo de amaciante, por exemplo).

- Açúcar comercial comum.

- Glucose (xarope de milho) pode ser encontrado em supermercados ou lojas de artigos para confeitaria ou artesanato.

Montagem:

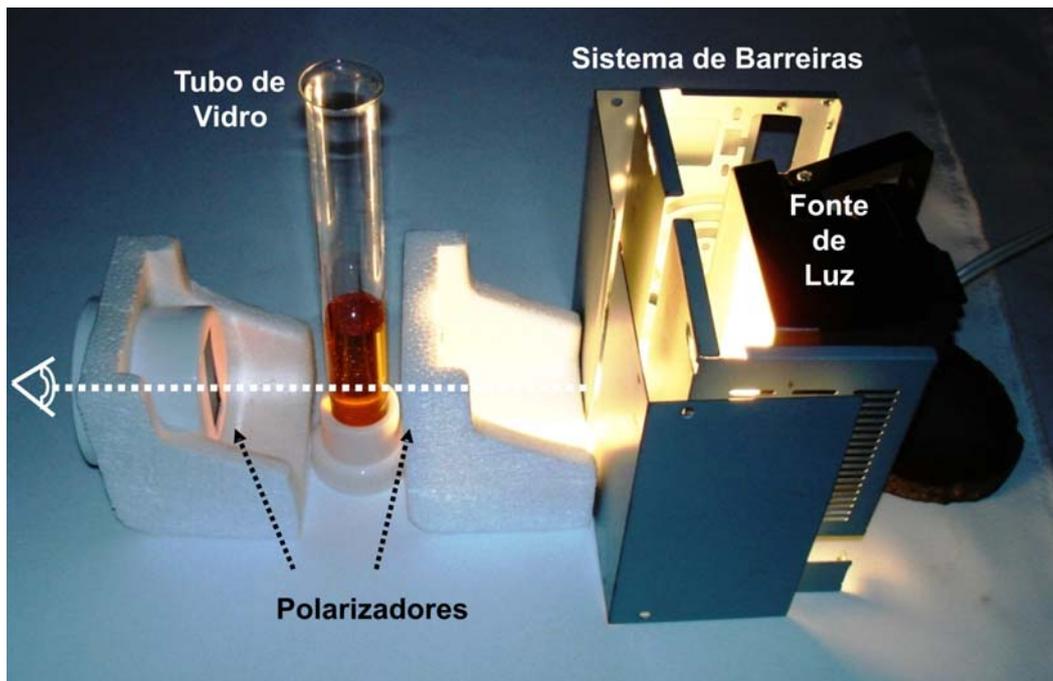
Fazer uma janela na tampa redonda e aderir um polarizador com fita isolante. Encaixar a tampa numa das bases de isopor, de tal forma que possa girar livremente, constituindo o polarizador rotatório. Na outra base fazer um encaixe para fixar o outro polarizador, que será o polarizador fixo.



**Figura 2.26** - Polarizadores montados em bases de isopor. A) Vista da parte frontal. B) Vista da parte traseira.

**Procedimento:**

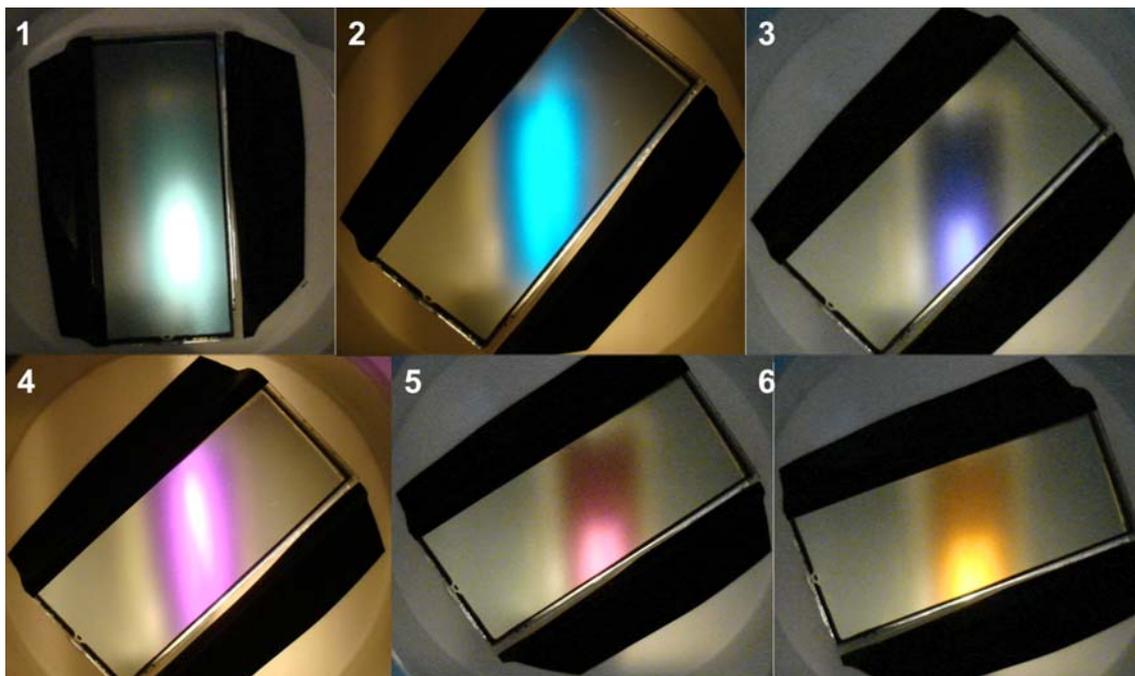
Ajustar o sistema de barreiras a fim de obter um feixe estreito de luz. No caminho óptico deste feixe colocamos o polarizador fixo, a amostra (no suporte) e o polarizador rotatório. Através deste último, observar a imagem formada, girando para a esquerda (sentido anti-horário) e para a direita (sentido horário). A amostra pode ser feita com solução de açúcar em diferentes concentrações (incluindo saturado) ou com o xarope de milho.



**Figura 2.27** - Montagem do sistema de análise do desvio da luz polarizada em amostras.

À medida que se gira o polarizador rotatório, haverá a formação de imagens coloridas que se formarão apenas em um dos sentidos de rotação. Tais cores resultam da absorção seletiva da luz polarizada quando se gira o polarizador. O ângulo de rotação é proporcional a quantidade de solução atravessada (medida ao longo da extensão da solução percorrida pelo caminho óptico; corresponde ao diâmetro interno do tubo que contém a amostra). Ele também depende da concentração da solução: quanto mais concentrado maior o ângulo de rotação.

Conforme mostra a Figura 2.28, partindo do alinhamento vertical inicial ( $n^{\circ} 1$ ), à medida que o polarizador é girado para a direita, uma seqüência de cores se sucede devido às diferentes componentes do comprimento de onda que atravessam a amostra e são selecionadas pelo analisador.



**Figura 2.28** - Visualização das diferentes cores (comprimentos de onda) que surgem à medida que o polarizador é rotacionado. A amostra analisada é uma solução saturada de açúcar e a seqüência numérica está na ordem crescente do ângulo de rotação para a direita (o nº 1 corresponde a posição inicial e o nº 6 ao maior desvio em que se registra mudança de cor).

Questões relacionadas:

- O que é açúcar invertido? O que sua molécula tem de diferente do açúcar “normal”?
- Investigar animais que se utilizam da luz polarizada para localização e deslocamento e quais os mecanismos associados a esta característica. Isto teria alguma implicação na sobrevivência ou na evolução destes seres?

#### **Atividade experimental 4:**

#### **Como a radiação de microondas afeta moléculas orgânicas.**

Quando se trata de avaliar os efeitos de determinada radiação sobre certos compostos ou moléculas uma gama muito grande de variáveis concorrem: distância à fonte, tempo de exposição, temperatura e pressão ambientes, potência da fonte, frequência, etc. Isso considerando apenas a radiação e o ambiente, mas inúmeras outras propriedades do meio irradiado interferem: viscosidade, densidade, estado físico, forma, etc.

O aquecimento associado à radiação de microondas é particularmente diferente do promovido por métodos tradicionais. Neste, o quanto uma substância irá aquecer depende basicamente de seu calor específico. No caso das microondas além deste, outros fatores são igualmente relevantes, tais como: momento dipolar (polaridade da molécula), constante dielétrica, se está na forma cristalina ou não.

A radiação emitida por um forno de microondas doméstico faz mudar de orientação cerca de 4,9 bilhões de vezes a cada segundo uma molécula polar muito abundante na maioria dos alimentos: a de água. Esta “agitação” da molécula da água se dá por excitação dos níveis de energia vibracional, rotacional e translacional, promovendo um aumento na taxa de colisões com as demais moléculas que constituem os alimentos. Assim, este aumento da energia cinética das moléculas é sinônimo de aumento de temperatura. Diferentemente das formas convencionais de aquecimento onde o calor se propaga de fora para dentro, no aparelho de microondas as substâncias se aquecem praticamente por inteiro (desde que a radiação consiga penetrar o suficiente).

Portanto, em um forno de microondas, avaliar o comportamento em termos de aquecimento não é uma tarefa simples e requer um adequado controle das variáveis envolvidas.

Apesar deste complexo contexto e às dificuldades inerentes, podemos testar algumas substâncias e acompanhar seu comportamento sob a óptica de algumas destas variáveis. Talvez isso leve a algumas surpreendentes constatações, a uma melhor compreensão sobre a elevação de temperatura de uma substância e que isso depende muito de **como** ela é aquecida (convencional ou microondas) e de **quem** é aquecido (sua estrutura molecular e propriedades).

### **Uma verificação muito simples:**

Indicamos uma atividade para contornar a falta de um termômetro adequado para medições imediatas de temperatura. Apesar de ser uma forma muito simples de verificar a diferença entre o aquecimento produzido pela ação de uma chama (fogo) e o devido a radiação de microondas, pode, se bem explorada, consistir numa atividade bastante profícua.

### **Materiais:**

- Uma pequena panela ou frigideira.
- Papel alumínio.

- Parafina (pode ser de uma vela).
- Silicone (tipo cola bastão de silicone).
- Forno de microondas doméstico.
- Forno a gás doméstico, fogareiro, bico de Bunsen (ou outra forma segura de aquecimento com fogo).
- Recipientes apropriados para uso em fornos de microondas.

**Procedimento:**

Preparar pequenas amostras das substâncias de tal forma que possuam a mesma forma e volume (cerca de 1 a 2 cm<sup>3</sup>) ou possuam a mesma massa. Forrar o fundo da panela com um pedaço de papel alumínio. Colocar as amostras sobre o papel alumínio e acender a chama. Anotar quanto tempo demora para começar a fundir (derreter). Colocar as amostras no recipiente próprio para microondas (agora sem o papel alumínio) regulando a potência e o tempo (como sugerido na tabela abaixo). Quando for fazer nova exposição convém usar outro recipiente igual ou esperar esfriar (já que este pode ficar “pré-aquecido” para a próxima exposição).

Características das Amostras	Fogo		Microondas			
	Tempo para fundir		Derrete (sim ou não)			
			Silicone		Parafina	
	Silicone	Parafina	Potência 50%		Potência 100%	
60 s			90 s	60s	90 s	
Formas e volumes iguais						
Massas iguais						

**Comentários:**

A atividade foi proposta para avaliar o comportamento das amostras quando submetidas a diferentes processos de aquecimento através da verificação ou não da fusão. Mas como não se conhece a potência dissipada pela chama (que até pode ser estimada) é difícil estabelecer uma boa comparação. Por este motivo, para averiguar se amostra está aquecida, caso não se disponha de um termômetro adequado (com rápida resposta), pode-se tocar a amostra. Embora isto não seja adequado, servirá para efeitos de comparação e para ter uma sensação térmica que indique o estado de aquecimento em termos de frio, morno ou quente. Muito

provavelmente a amostra estará com menor temperatura (mais fria) do que o próprio recipiente. Cabe ressaltar que este procedimento é indicado somente para estas circunstâncias, respeitados os valores sugeridos, esteja em conformidade com as recomendações de segurança do manual do aparelho de microondas e desde que não ultrapasse os limites recomendados.

Muitas vezes a surpresa diante da constatação do inesperado (que contrasta com o senso comum) é muito maior e tem mais “impacto” se intermediada através de um dos sentidos, neste caso o tato, do que simplesmente observar um resultado numérico obtido num instrumento. Apesar do tato não nos fornecer respostas confiáveis e às vezes até enganadoras, isto pode ser relativizado e servir de elemento para discussão.

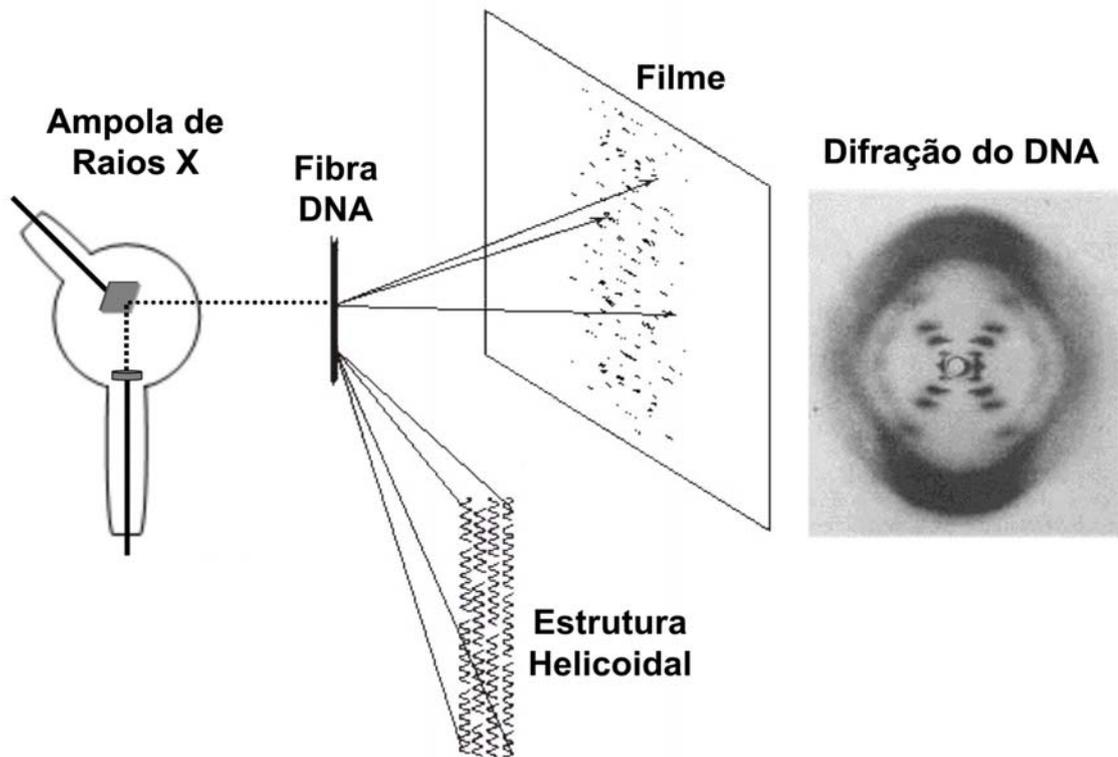
Dependendo do tempo de exposição e da potência haverá um início de derretimento na região de contato com o recipiente que, ao aquecer, transmite calor por condução para a amostra.

É importante discutir as causas, variáveis e os contextos dos diferentes comportamentos. Levar em consideração especialmente as características das substâncias testadas: suas moléculas serem apolares, isentas de água (que as faz não aquecerem na radiação de microondas) e possuírem baixos pontos de fusão (que as faz aquecerem e derreterem facilmente na chama).

### **Atividade experimental 5:**

#### **Simulação da difração da estrutura helicoidal do DNA**

A elucidação da estrutura molecular do DNA é tida como um dos mais notáveis marcos da Biologia do século XX. Para esta descoberta concorreu a participação direta e indireta de inúmeros pesquisadores e cientistas dos mais variados ramos: químicos, bioquímicos, geneticistas, físicos, biólogos estruturais. O resultado foi de espetacular elegância, simplicidade e beleza. Nosso intuito é o de colaborar no entendimento de um dos processos que contribuíram para este fim. A famosa foto de difração de raios X da molécula de DNA, que indicou que a molécula deveria ter a forma de uma hélice é mostrada na Figura 2.29.



**Figura 2.29** - Esquema representando o processo de difração do DNA. A foto do padrão de difração de raios X por fibras de DNA tipo B foi obtida por Rosalind Franklin.

A capacidade que uma onda possui de contornar um obstáculo ou passar por uma fenda e se dispersar corresponde ao fenômeno conhecido por difração. No entanto existe uma condição fundamental para a ocorrência de tal fenômeno: a ordem de grandeza do obstáculo deve ser da mesma ordem de grandeza do comprimento de onda incidente. Isso justifica, por exemplo, o fato de podermos escutar alguém falando se estiver atrás de uma porta aberta: a onda sonora “contorna” a parede; o comprimento de onda do som no ar é da ordem de um metro que é compatível com o “tamanho” (ordem de grandeza) da porta. A luz, porém, “passa reto” pela porta. Devemos lembrar que o comprimento de onda da luz visível é da ordem do micrômetro. Se quisermos difratá-la precisamos de fendas suficientemente pequenas (o furo de uma agulha, por exemplo). Então para uma onda poder difratar-se pelo DNA deve-se escolher uma com comprimento de onda extremamente curto, compatível com as dimensões da estrutura do DNA. Daí a escolha recair sobre os raios X.

Estruturas regulares apresentam padrões de difração característicos. No caso do DNA, ao cristalizá-lo, poderão surgir duas formas: a forma B, com 10 pares de nucleotídeos para cada volta de **hélice**, e que corresponde às condições fisiológicas

mais correntes; e a forma A, com 11 pares de nucleotídeos por volta, encontrados às vezes quando o grau de hidratação é menor. Tal processo foi feito por Rosalind Franklin, que por volta de novembro de 1951, obteve a foto da Figura 2.29, a qual foi incluída em um relatório de laboratório do King's College (Inglaterra) em fevereiro de 1952. Por meio de cálculos adicionais, provou que a estrutura do DNA, sua “coluna vertebral” de desoxirribose-fosfato não se encontrava no interior, mas no exterior da **hélice**, que haveria entre duas e quatro hélices co-axiais e avaliou a distância de uma volta completa da hélice. Durante uma visita de Watson ao laboratório, em torno de 6 de fevereiro de 1953, o mesmo teve acesso ao referido relatório com todos os detalhes. Em pouco mais de 20 dias, com base na construção de modelos, erros e acertos, Watson e Crick chegaram à estrutura correta do modelo tridimensional da dupla hélice para o DNA.

Uma imagem bidimensional de difração pode ser extrapolada, por meio de uma análise geométrica apropriada, para uma configuração em três dimensões compatível com os resultados experimentais. O quanto o trabalho de Franklin teria contribuído para o modelo de Watson e Crick...até hoje não se sabe!

Como a partir de uma “mancha”, como a da foto da Figura 2.29, é possível concluir que a estrutura básica é de uma hélice?

Nesta atividade, a proposta é o contrário: demonstrar que uma estrutura no formato de hélice apresenta uma figura de difração similar àquela “mancha” vista nos estudos de Rosalind Franklin.

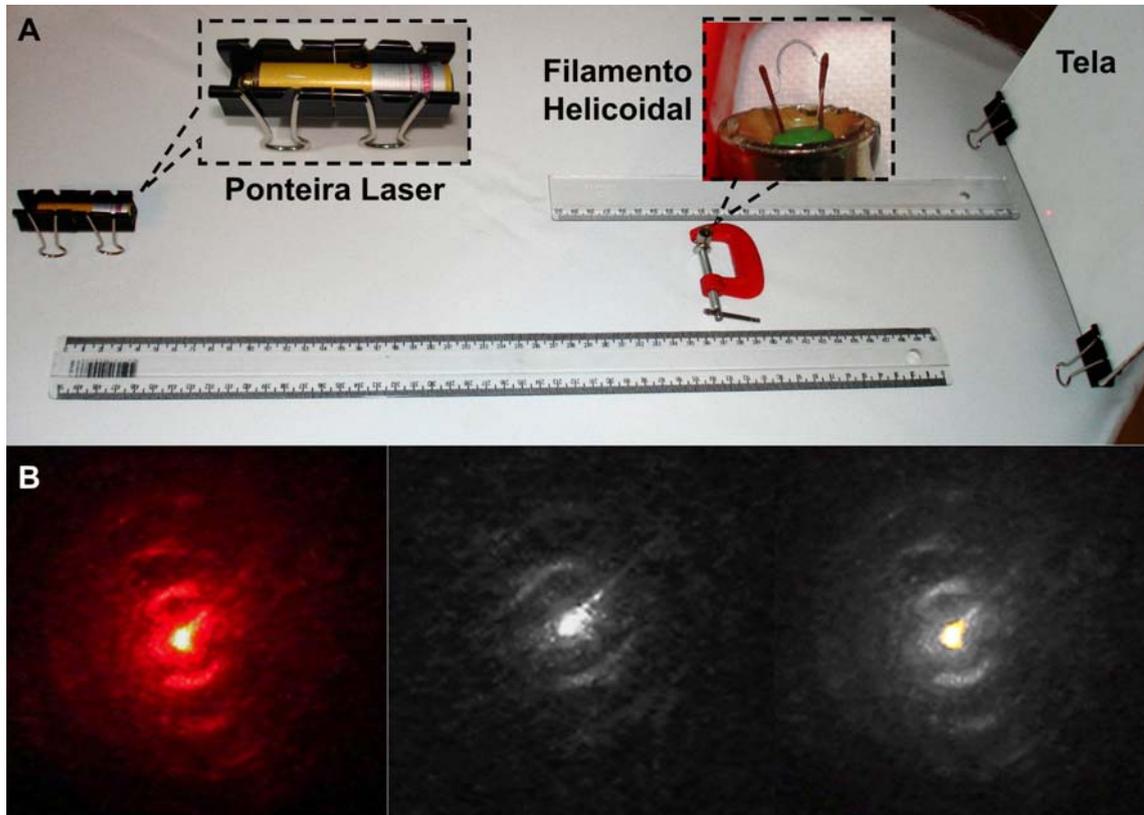
#### **Materiais:**

- Ponteira laser, (encontrado em papelarias, lojas de variedades, muito utilizadas como auxiliar em apresentações com projeções).
- Tela branca para projeção de pelo menos 10 x 10 cm (papelão, cartolina).
- Lâmpada incandescente pequena com filamento helicoidal (lâmpada de lanterna) em que se quebra o vidro da lâmpada para o filamento ficar exposto.
- Clips de metal, prendedor de roupas (ou quaisquer outros meios para segurar pequenos objetos).

#### **Procedimento:**

Em um ambiente escuro, alinhar, no caminho óptico da ponteira laser, o filamento da lâmpada, projetando a figura de difração em um anteparo. As distâncias devem ser ajustadas conforme as dimensões específicas do filamento da lâmpada disponível. De modo geral, aproximadamente 38 cm da ponteira laser ao filamento e

cerca de 23 cm deste até a tela. Um distanciamento maior da tela pode produzir uma imagem maior, porém menos definida. Cabe lembrar que a difração produzida é de uma única (mono) hélice, mas a figura formada lembra muito a célebre figura do DNA.



**Figura 2.30** - A) Disposição dos elementos para projetar a difração do filamento de uma lâmpada. B) Algumas fotos da difração do filamento da lâmpada projetadas na tela (as imagens reais são mais definidas).

Tendo por base a natureza ondulatória das radiações, a cristalografia de raios X permitiu conhecer a estrutura de muitas outras moléculas orgânicas, como a da hemoglobina, por exemplo.

## **CAPÍTULO 3**

### **OS SISTEMAS BIOLÓGICOS E A RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA**

A radiação ultravioleta (RUV) sempre atingiu a superfície da Terra e exerceu pressões seletivas sobre os sistemas biológicos. Para reduzir os danos provocados pelas RUV, os seres vivos desenvolveram sistemas de proteção que reduzem a incidência dessa radiação sobre suas células e mecanismos de reparo especiais para as alterações que ela causa no DNA.

A nossa espécie, como as outras, evoluiu em presença de RUV e a variabilidade existente na nossa espécie para colorações de pele, cabelos e olhos pode ser explicada principalmente como resultado das adaptações desenvolvidas ao longo da convivência com esse fator ambiental.

A importância da força seletiva da RUV não está limitada às situações evolutivas do passado. As alterações que atualmente ocorrem na atmosfera transformam a RUV em fonte de preocupação. Ao incidir sobre toda a superfície do planeta a RUV tem a capacidade de agir diretamente sobre uma grande variedade de formas vivas e a grande questão agora é descobrir como os sistemas biológicos responderão ao aumento da incidência dessa radiação. Várias dúvidas existem: Será que os mecanismos de defesa já desenvolvidos serão suficientes para esses novos níveis de RUV? Que alterações poderão ocorrer na biota? Quais as espécies mais sensíveis a essa modificação? Que medidas de prevenção podem ser implementadas?

#### **Evolução da atmosfera antes dos seres vivos**

A atmosfera terrestre atual constitui uma camada protetora para as formas de vida porque absorve parte da radiação solar ultravioleta e reduz as temperaturas extremas do dia e da noite.

Ao longo da história do nosso planeta, a composição química da atmosfera sofreu alterações notáveis. A atmosfera mais primitiva (provavelmente rica em hélio e hidrogênio) deve ter sido dissipada pelo calor que emanava da crosta terrestre e do Sol. Há quatro bilhões de anos, quando a superfície da Terra já teria resfriado o suficiente para formar uma crosta sólida com muitos vulcões em atividade, a atmosfera terrestre provavelmente era formada por grandes quantidades de dióxido

de carbono e vapor de água. Nesse período, o nitrogênio também devia estar presente, mas em pequena concentração e o oxigênio devia ser um gás raro.

O resfriamento gradual da Terra permitiu que grandes quantidades de dióxido de carbono fossem dissolvidas nos mares e precipitassem sob forma de carbonatos. Nessa fase, o congelamento total do planeta foi evitado pelo efeito estufa (provocado pelos altos níveis de dióxido de carbono e metano). Simulações das condições existentes na Terra entre dois e três bilhões de anos atrás estimam que a temperatura da superfície poderia atingir valores superiores à 70 °C e a manutenção de temperaturas relativamente altas permitiu o desenvolvimento das primeiras formas celulares, provavelmente em locais mais protegidos.

### **A atmosfera modificada pelos seres vivos**

Os registros fósseis mais antigos indicam que organismos celulares (semelhantes às cianobactérias atuais) já estavam presentes há 3,3 bilhões de anos. Esses organismos deram início a um processo de mudança intensa no planeta. À medida que aumentava o número de seres capazes de se desenvolver utilizando os raios solares como fonte de energia e produzindo oxigênio como resíduo metabólico, a composição da atmosfera tornava-se muito diferente. O sucesso dos primeiros organismos fotossintetizantes, o aumento das populações fotossintetizantes, em especial as plantas, modificou a composição de gases da atmosfera terrestre de modo ímpar: fez com que o oxigênio, um gás até então raro, se tornasse extremamente comum e provocou a redução gradual dióxido de carbono. Essa alteração, provavelmente ocorrida entre 2,2 e 2,7 bilhões de anos atrás, definiu um cenário completamente novo para a evolução das formas de vida.

Ainda que o oxigênio seja muito reativo e capaz de combinar-se com vários outros elementos, a grande quantidade produzida resultou em acúmulo sob a forma de O<sub>2</sub>. O desenvolvimento de uma atmosfera rica em oxigênio deve ter determinado a extinção de um grande número de formas vivas, mas também permitiu o surgimento de uma proteção especial para a superfície do planeta. A atmosfera rica em oxigênio permitiu surgimento do ozônio (uma forma alótropa do oxigênio) e a presença dessa forma de oxigênio passou a constituir uma barreira para a passagem da radiação ultravioleta (RUV) proveniente do Sol. A partir do surgimento da camada de ozônio, a superfície terrestre passa a receber menor quantidade desses raios tornando-se um ambiente menos hostil para várias formas de vida.

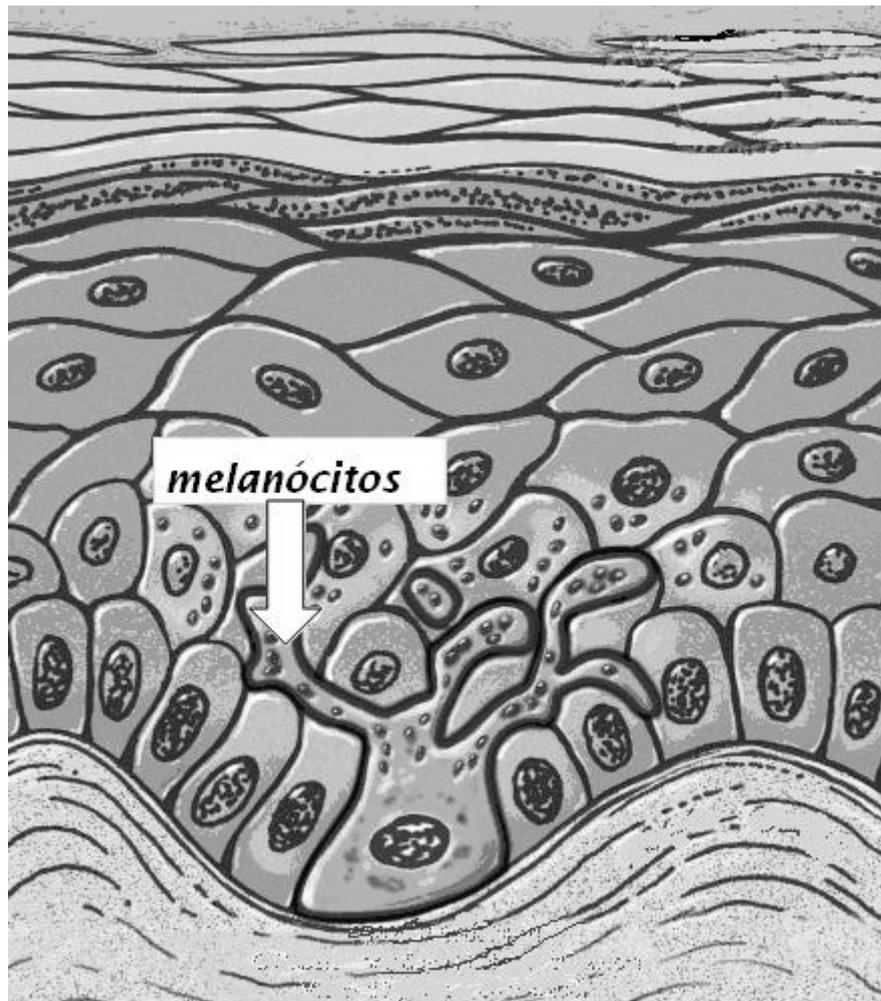
## **Proteção contra RUV**

A presença da camada de ozônio reduz a quantidade de RUV que chega à superfície terrestre, mas, mesmo assim, os seres vivos estão expostos a quantidades significativas de RUV. Para diminuir os efeitos dessa radiação duas “soluções” foram desenvolvidas: pigmentos protetores e sistema de reparo específico para as alterações que a RUV causa no DNA.

### *MELANINA*

O pigmento melanina não tem peso molecular fixo, é um biopolímero heterogêneo construído a partir de monômeros de quinona e hidroquinona que derivam da oxidação do aminoácido tirosina. Esse pigmento está presente em todos os reinos de seres vivos, é encontrado em muitas estruturas e desempenha funções variadas. Para algumas espécies a melanina apresenta um papel decisivo na camuflagem e no comportamento sexual; em muitos organismos pode atuar como um bloqueador solar, mas nem sempre é um filtro muito eficiente. Além dessas funções, a melanina também atua na dissipação de energia na forma de calor e pode ser fonte de radicais livres que causam alterações no DNA e em outras moléculas.

Os mamíferos podem produzir dois tipos de melanina: a eumelanina que é um composto escuro de coloração marrom/preta e a feomelanina, um pigmento amarelo/vermelho. Os melanócitos, células especializadas na produção de melanina, são capazes de produzir ambos os tipos e quando isso acontece o resultado é uma mistura de melaninas. Na pele, essas células estão situadas na camada basal, entre a derme e a epiderme, e apresentam numerosos processos dendríticos que se interdigitam entre os queratinócitos vizinhos.



**Figura 3.1** - Melanócitos (células especializadas em produzir melanina) com as projeções dendríticas por entre as demais queratinócitos (células da pele que produzem queratina). Observar que melanossomos são difundidos dos melanócitos para os queratinócitos.

Nos melanócitos, a síntese da melanina ocorre em vesículas especializadas denominadas de melanossomos que são organelas derivadas do complexo de Golgi. A síntese e o confinamento da melanina nessas organelas especiais é uma forma de proteção desenvolvida contra os potenciais efeitos citotóxicos dessas moléculas.

A síntese e maturação das melaninas na pele e nos pêlos ocorrem à medida que os melanossomos vão sendo transportados ao longo dos processos dendríticos. Na pele e no folículo piloso, os grânulos contendo melanina são liberados no meio extracelular, entre os queratinócitos, mas na íris os melanócitos não secretam seus melanossomos e essas organelas são retidas no citoplasma.

Os melanócitos podem produzir dois tipos de melanossomos. Os eumelanossomos são grandes (aproximadamente  $0,9 \times 0,3 \mu\text{m}$ ), com formato

elipsoidal e uma matriz glicoprotéica altamente ordenada e contém pigmentos de eumelanina com coloração marrom ou preta. Os feomelanossomos que contêm os pigmentos de feomelanina amarela ou vermelha são menores (aproximadamente 0,7  $\mu\text{m}$ ) esféricos, compostos por uma matriz glicoprotéica desordenada e com baixa agregação.

Embora em humanos o número de melanócitos seja relativamente constante, existem diferenças quantificáveis em relação ao grau de melanização e de distribuição dos melanossomos entre indivíduos dos diferentes grupos étnicos. A quantidade, a forma e o modo de distribuição dos melanossomos dentro dos queratinócitos são variáveis. Em geral, as peles com pigmentação mais escura contêm numerosos melanossomos grandes isolados, elipsóides e intensamente pigmentados. Peles mais claras possuem melanossomos menores que formam grupos. Esses padrões distintos em relação aos melanossomos estão presentes no nascimento e não são determinados pela exposição ao Sol. As variações nas colorações de pele são explicadas pelas diferenças no grau de melanização, bem como pelas diferenças químicas nos pigmentos propriamente ditos.

#### *MELANINA E BRONZEAMENTO*

Os melanossomos dentro dos queratinócitos formam uma camada protetora contra a RUV. O “sombreamento” provocado pela presença desses grânulos impede que grande parte da RUV que atinge a célula chegue ao núcleo e cause alterações no DNA. Do mesmo modo esse mecanismo de sombreamento também protege outras moléculas contra fotodegradação.

As condições ambientais podem modular a proteção conferida pela melanina. O processo de escurecimento da pele exposta ao Sol, denominado bronzeamento, é uma resposta de adaptação da pele ao aumento de exposição à RUV. Essa resposta pode ocorrer em duas etapas, uma imediata e transitória (bronzeamento imediato) e outra mais tardia, mas de longa duração (bronzeamento duradouro).

O bronzeamento imediato corresponde a um escurecimento transitório e pouco intenso que ocorre após a exposição à RUV e luz visível. Em geral, esse bronzeamento atinge seu máximo em 1 a 2 horas após a exposição da pele à radiação e desaparece 3 a 24 horas após. Nesse processo não ocorre formação de novos melanossomas e os mecanismos mais prováveis para explicar o

escurecimento sutil e transitório da pele são a foto-oxidação da melanina pré-existente e a redistribuição dos melanossomos.

O bronzeamento duradouro decorre da exposição repetida da pele especialmente aos RUV-B (ainda que RUV-A e a luz tenham também alguma função nesse bronzeamento). Essa resposta de bronzeamento é gradual, uma modificação na coloração da pele que começa entre 48 a 72 horas após a irradiação, atinge um máximo 19 dias depois e decai lentamente, podendo levar até nove meses para que a pele retorne o estado de coloração anterior ao bronzeamento. Nesse tipo de bronzeamento, os melanócitos sofrem modificações, aumentam o número, a densidade e o tamanho das projeções dendríticas e os melanossomos são produzidos em maior número e com mais melanina.

As mudanças que ocorrem na pele durante o bronzeamento estão bem descritas, mas os mecanismos através dos quais a radiação solar provoca essas respostas ainda não são bem compreendidos. Como a RUV interage com os genes responsáveis pela síntese e distribuição da melanina? Como a expressão desses genes pode ser regulada pela maior ou menor incidência de RUV? Essas são questões importantes para entender como funcionam os mecanismos de defesa contra as queimaduras solares e também contra as mutações induzidas pelos RUV.

#### *OUTROS EFEITOS PROTETORES DA MELANINA*

A melanina também permite que algumas moléculas tenham maior duração no organismo. O colágeno, proteína que é um dos principais constituintes da matriz extracelular dos tecidos conjuntivos, tem longa duração e é responsável por várias características da pele humana. A RUV acelera o processo de degradação das fibras de colágeno estando relacionada com envelhecimento precoce da pele provocado pela exposição intensa ao Sol.

A função da melanina na proteção do folato (vitamina B9 ou M) contra fotodegradação também tem sido muito investigada. O folato participa de processos metabólicos essenciais como, por exemplo, produção de células sangüíneas, síntese e reparo de DNA. A deficiência dessa vitamina está associada a vários distúrbios e o uso de ácido fólico (composto sintético) como aditivo alimentar é um dos mecanismos preventivos adotados para reduzir a incidência populacional de defeitos congênitos, especialmente defeitos de tubo neural. O ácido fólico é uma molécula

estável cuja síntese é feita com baixo custo e quando absorvida é transformada em tetra-hidrofolato, que é a forma de folato mais ativa no organismo.

A possibilidade do folato ser degradado na circulação durante a exposição à RUV que normalmente incide sobre a pele tem sido muito investigada. Duas hipóteses decorrem dessa possibilidade. A primeira é que a pigmentação mais intensa da pele seria protetora dos níveis de folato circulante e que a exposição ao Sol poderia ser causa de deficiência, mesmo quando os níveis de folato na dieta fossem adequados. Conhecer como o folato circulante responde à incidência de RUV é importante para entender as possíveis forças seletivas que atuaram durante a evolução humana e resultaram na variabilidade existente para pigmentação de pele em humanos. Os efeitos da RUV sobre os níveis de folato também são importantes para estabelecer medidas de prevenção contra os efeitos da deficiência dessa vitamina. Ainda que vários experimentos já tenham sido realizados, nenhum foi definitivamente conclusivo e embora essa molécula seja sensível à RUV não há uma demonstração inequívoca de que a exposição ao Sol é um fator que provoca deficiência de folato.

### *PROTEÇÃO EM EXCESSO É INDESEJÁVEL*

A presença constante da RUV e a capacidade dessa radiação modificar moléculas também foram utilizadas pelos organismos de modo favorável. Nos mamíferos, a síntese da vitamina D representa essa situação de dualidade em relação à presença da RUV. Se por um lado o excesso é um fator desfavorável por provocar queimaduras de pele e aumentar a taxa de mutação das células expostas, por outro, a ausência ou a redução extrema também é prejudicial.

A vitamina D (ou calciferol) é essencial para a absorção de cálcio, está relacionada com desenvolvimento de ossos e dentes e tem participação importante na atividade de músculos e nervos. A fonte primária dessa vitamina lipossolúvel é a biossíntese que ocorre na pele. Moléculas precursoras (7-di-hidrocolesterol) presentes na pele sofrem conversão fotoquímica (reação não enzimática) quando expostas à RUV e originam colecalciferol (vitamina D<sub>3</sub>) que no fígado será transformada em 25-hidroxicolecalciferol. Essa molécula será finalmente processada nos rins dando origem ao 1,25-di-hidroxivitamina D que é a forma mais ativa da vitamina (calcitriol) cuja função principal é aumentar a absorção de cálcio no intestino e facilitar a formação e manutenção de ossos normais.

A deficiência de vitamina D pode ser causada pela pouca exposição à luz solar, associada a uma dieta pobre em alimentos com essa vitamina. Durante a fase de crescimento, a falta de vitamina D provoca calcificação deficiente dos ossos, um distúrbio conhecido como raquitismo. Nas manifestações mais graves de raquitismo os ossos se tornam estruturalmente frágeis e com deformidades que podem ser permanentes.

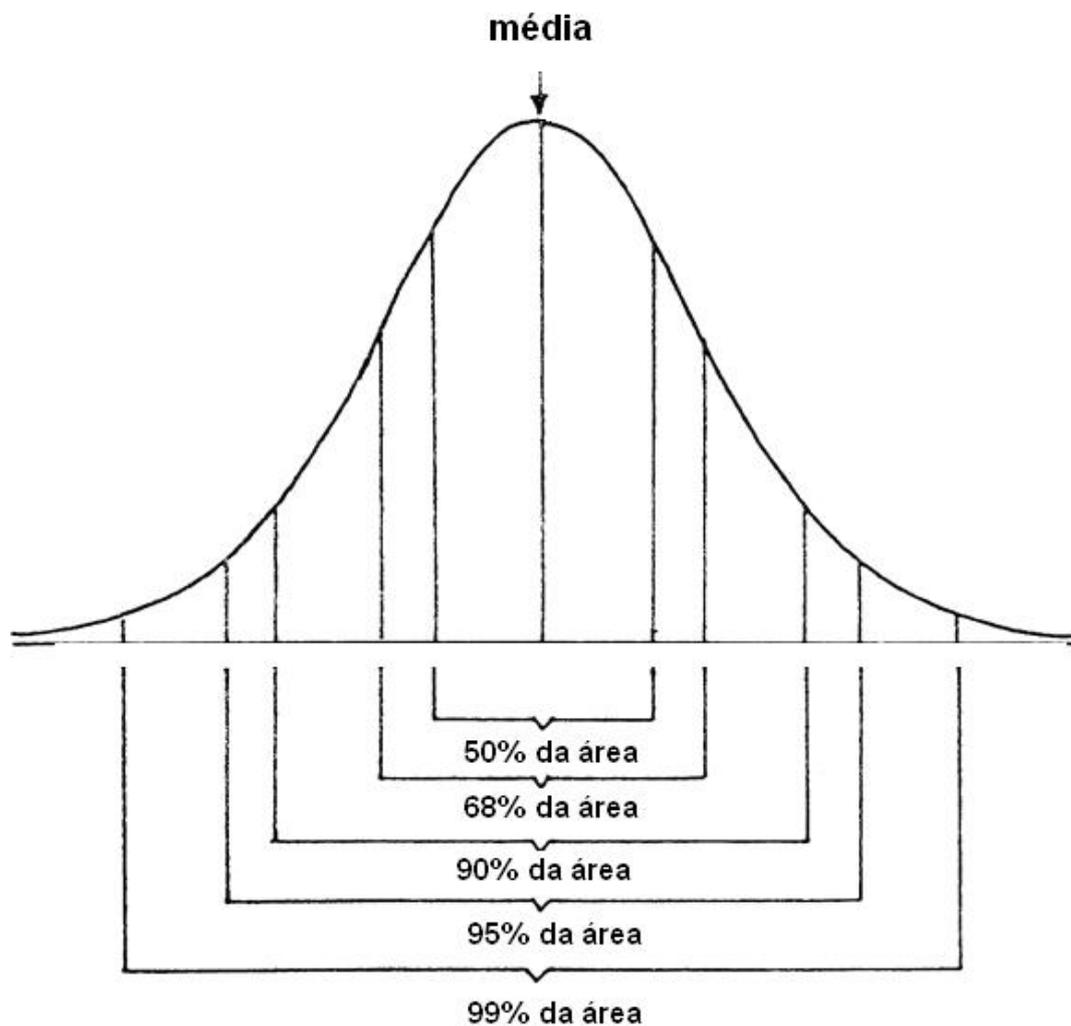
Ao longo da evolução da nossa espécie, considera-se que os efeitos do raquitismo nos ossos longos e na pélvis foram potencialmente perigosos e atuaram como fatores seletivos. A sobrevivência dos indivíduos afetados pelo raquitismo podia ser reduzida porque a capacidade de locomoção era afetada e as deformações da pélvis aumentavam as chances de problemas de parto que resultariam em morte de mãe e filho.

Uma das principais explicações para as tonalidades de pele mais claras que são típicas de povos do norte da Europa está associada à síntese de vitamina D. A presença de grande quantidade de melanina na pele reduz a taxa de transformação da molécula precursora que dá início à via de síntese dessa vitamina, tornando-se uma característica desvantajosa nas regiões onde a incidência de luz solar é menor. O equilíbrio entre a necessidade de proteção contra RUV e de exposição a essa radiação teria resultado nas diferentes tonalidades de pele dos grupos humanos: escura nas regiões de grande incidência de RUV e clara nas regiões onde a incidência de luz solar é reduzida.

### **Compreendendo as variações na coloração da pele**

As diferenças físicas existentes entre as diversas populações humanas sempre despertaram curiosidade e sem dúvida a coloração da pele foi a característica que recebeu maior atenção. Embora tenha sido uma característica essencial para a maioria dos sistemas de classificação racial propostos pelos antropologistas dos séculos passados, foi somente no século XX (década de 50) que a avaliação da coloração da pele tornou-se menos subjetiva. Com o uso de espectrofotômetros de reflexão, equipamento que emite luz de comprimento de onda específico e mede a intensidade da luz refletida, foi possível avaliar a intensidade da luz refletida pela pele e estabelecer classes de resposta de acordo com um resultado numérico.

As análises realizadas com de diferentes populações resultam em gráficos que demonstram uma distribuição contínua do fenótipo, tipicamente uma “distribuição normal” formando uma “curva de sino” (Figura 3.2). Poucas populações humanas podem ser caracterizadas como tendo a coloração mais intensa possível. Do mesmo modo, poucos grupos humanos apresentam a coloração de pele mais clara possível. A maioria das populações analisadas apresenta resultados intermediários para a coloração da pele e possui uma grande variação interna em relação a essa característica.



**Figura 3.2** - A “curva do sino” ou da distribuição normal. Muitas características como a altura, o peso ou a cor da pele tem uma distribuição contínua na população. A maior parte das pessoas apresenta a característica próximo a média da população e poucos nos valores extremos.

As variações intra-populacionais e as diferenças observadas dentro das famílias são indicativos de que a coloração da pele é uma característica multifatorial, ou seja múltiplos locos gênicos constituem a base genética desse fenótipo e fatores ambientais somam seus efeitos para a definição da coloração final. Porém, as primeiras tentativas de explicar as variações observadas na coloração da pele foram baseadas em modelos mendelianos de herança. Esses estudos iniciais sobre a herança da coloração da pele em humanos consideravam que os genes envolvidos (fossem quantos fossem) agiam de modo simples e equivalente (modelo aditivo). A explicação das variações observadas, tanto em relação à quantidade quanto ao tipo de melanina produzida, considerava que a coloração da pele poderia ser determinada por quatro a seis locos gênicos. Cada um desses locos teria várias formas gênicas diferentes (formas alélicas) e isso justificaria a grande variedade de tonalidades de pele que pode existir entre indivíduos de populações diferentes ou entre os membros de uma mesma família.

A hipótese inicial para explicar as variações na tonalidade da pele mostrou-se inadequada, pois os genes envolvidos na síntese e na distribuição da melanina interagem de modo bem mais complexo. Para compreender a base genética da pigmentação da pele é necessário conhecer os produtos gênicos expressos pelos melanócitos e as interações celulares desses produtos com os queratinócitos circundantes que absorvem o pigmento. Os genes responsáveis pela pigmentação humana são os que codificam as proteínas envolvidas na formação direta da melanina, bem como no transporte e na distribuição dos melanossomos. A identificação desses genes tem sido feita principalmente através de análises comparativas com os genes de outros animais e também através do estudo de distúrbios humanos que causam hipopigmentação.

Os estudos genômicos comparativos são baseados principalmente em fenótipos análogos que existem em humanos e em camundongos. Esses trabalhos demonstram que há uma grande correspondência entre as numerosas mutações que afetam os melanócitos dessas duas espécies e três grupos de genes (família TYRP, família SILV e o “P-gene”) que foram identificados como os melhores candidatos para explicar a extensa variabilidade de fenótipos humanos. Esses grupos de genes têm expressão restrita aos melanócitos, mas certamente constituem apenas parte dos genes que coordenam a melanogênese em humanos.

Embora muito úteis para identificação de genes, o estudo genômico comparativo tem limites. Por exemplo, os processos de extrusão, passagem e distribuição dos melanossomos para os queratinócitos, que são a base para as diferenças de coloração da pele humana, não têm a mesma importância para a definição da coloração de pelagem em ratos. Os genes responsáveis por esses processos, portanto, não podem ser identificados através do estudo de roedores.

Uma parte significativa da variação na tonalidade da pele humana observada entre diferentes populações tem sido relacionada com mutações no gene MC1R que codifica uma proteína receptora para o hormônio melanocortina, produzido pela glândula pituitária, que estimula as células a produzirem melanina. Variações na seqüência de aminoácidos dessa proteína receptora estão associadas a peles mais claras ou mais escuras. As populações africanas apresentam poucas variações nesse gene, ao contrário das populações européias. Essa diferença é interpretada como uma indicação de que deve ter existido uma intensa pressão seletiva contra alterações na seqüência de aminoácidos dessa proteína nas populações africanas e uma pressão muito menos intensa nas populações européias. Assim, ao longo das gerações, as populações que se desenvolveram na Europa puderam acumular as variações nesse gene que resultam em peles mais claras conferindo menos proteção contra a RUV.

Embora os melanócitos da pele e dos cabelos surjam da mesma fonte embrionária, os genes que afetam a coloração podem ser expressos independentemente com combinações de cabelos escuros e pele clara e vice-versa. Ainda que exista uma base genética para as variações na coloração de pele, cabelos e olhos, essa base genética é complexa e ainda não totalmente conhecida. A simples identificação dos genes não basta para explicar os diferentes fenótipos pois são as combinações entre diferentes alelos e as formas de expressão em vários tecidos, associadas também às influências ambientais e os fatores relacionados com a idade que respondem pelos fenótipos específicos de cada indivíduo.

### **Explicações evolutivas para as variações geográficas nas intensidades de coloração de pele**

Em 1955 os efeitos protetores da melanina contra a RUV foram demonstrados e isso levou à proposição de uma série de teorias explicativas para a variação na tonalidade da pele observada entre as diferentes populações humanas. Nessa

época, a importância da RUV para a síntese de vitamina D também já era conhecida. A associação entre os fatores incidência de radiação ultravioleta, intensidade de pigmentação da pele e incidência de raquitismo havia sido proposta na década de trinta. Porém somente no final da década de 60 o problema da síntese de vitamina D na evolução humana passou a ser considerado mais seriamente. A integração dos dados sobre incidência de RUV nas diferentes latitudes e sobre a influência que a quantidade e qualidade de pigmentos presentes na pele exercem sobre a síntese de vitamina D, levou a proposição de teorias explicativas para o gradiente de pigmentação de pele que se observava nas populações humanas que povoaram a África e a Europa.

Dados populacionais do período anterior ao início da suplementação alimentar com vitamina D (antes da década de 30, no século passado) registram que mulheres negras norte-americanas apresentavam aproximadamente 8 vezes mais deformidade pélvica do que as mulheres brancas. Considerando que os nossos ancestrais viveram nos trópicos e possuíam peles escuras, à medida que as populações de homínídeos foram se deslocando para latitudes mais altas deve ter se iniciado uma seleção a favor de baixa quantidade de melanina na pele para que a síntese de vitamina D fosse aumentada em ambientes com menor incidência de luz solar. Um dos mecanismos de seleção propostos é associação entre síntese deficiente de vitamina D e deformidade da pélvis que aumentaria a probabilidade de óbito durante o parto para mulheres afetadas pelo raquitismo.

A hipótese da seleção contra indivíduos de pele escura em latitudes maiores tem contra-argumentos baseados na poucas evidências da existência de raquitismo na região norte da América do Norte onde os habitantes originais apresentavam pele escura, incluindo nessa linha de contra-evidência, os esquimós. É preciso também considerar que o uso de agasalhos nas latitudes maiores também poderia reduzir a necessidade de pele pigmentada e o fato de que mesmo uma menor exposição aos raios UV poderia ser compensada pelo armazenamento de vitamina D obtida pela dieta.

As forças evolutivas que foram responsáveis pelo estabelecimento da graduação de tonalidades de pele que existe do equador para os pólos são complexas e provavelmente refletem como as populações primitivas interagem com o ambiente, envolvendo tanto o clima quanto o uso de recursos naturais. A influência do ambiente como uma pressão seletiva para a coloração da pele tem sido

postulado para as populações do norte da Europa que teriam sido selecionadas contra a presença de pele escura em locais onde os níveis de luz solar são baixos. Isso preveniria contra o raquitismo quando a dieta é pobre em vitamina D. Já a seleção a favor de peles escuras em regiões geográficas onde há alta exposição aos raios UV solares, previne contra as queimaduras solares e o câncer de pele.

Outra linha de investigação supõe que a evolução dos diferentes tons de pele pode ter ocorrido a partir de uma variabilidade já existente nas espécies de homínídeos ancestrais. Os homínídeos ancestrais assim como os grandes macacos modernos teriam peles claras sob uma pelagem densa que protegeria contra os efeitos daninhos da RUV. Ao longo da evolução, medida em que os pêlos começaram a ser perdidos, os homínídeos que apresentavam peles mais escuras provavelmente tiveram mais sucesso para sobreviver nas regiões intensamente expostas ao Sol na África, evitando queimaduras que poderiam permitir infecções de pele e permitindo uma utilização mais plena dos ambientes abertos sem sombreamento. A proteção contra o câncer de pele provavelmente foi de importância secundária, uma vez que causa morte tardia, após a idade reprodutiva, e por isso não deve ter exercido pressão seletiva muito grande. Quando os humanos migraram para regiões menos iluminadas pelo Sol no norte, as peles escuras associadas a uma dieta pobre em vitamina D tornaram-se um problema e as peles claras, com menor proteção contra RUV e permitindo uma maior síntese de vitamina D, passaram a ser vantajosas.

Nessa linha de argumentação, os Inuits e Yupiks são casos especiais, mesmo considerando que eles vivem em regiões extremamente pobres em incidência solar houve manutenção da pele escura. A explicação para esse fato pode ser a dieta baseada principalmente na caça. A dieta rica em carne forneceria a vitamina D necessária para desenvolvimento normal.

As evidências dos processos seletivos que ocorreram em um passado remoto da nossa história podem ser obtidas de modo indireto. Uma investigação ampla, realizada por Nina Jablonski e George Chaplin em 2000, evidenciou uma alta correlação entre a média anual de RUV disponível para absorção e a tonalidade da pele em várias populações. As amostras desse estudo foram populações residentes por mais de 500 gerações na mesma região e em cada uma delas, no mínimo 200 indivíduos foram analisados. Nessa investigação foi medida a porcentagem de luz refletida a partir de uma área do corpo que usualmente tem uma exposição muito

reduzida ao Sol (a parte superior interna do braço). Considerando que o valor máximo obtido para a reflexão da incidência de luz na pele humana é de 70%, esse valor foi considerado pelos pesquisadores como o esperado para populações autóctones de regiões onde a disponibilidade de RUV para a pele fosse zero. As estimativas de disponibilidade de RUV levaram em consideração um conjunto complexo de dados como: variação média da espessura da camada de ozônio que reduz a passagem da RUV, as alterações diárias na opacidade das nuvens e no ângulo em que a luz solar atinge a Terra, bem como a espessura da atmosfera nas diferentes latitudes onde cada população residia. Nesse trabalho, a tonalidade da pele, representada por  $W$ , é maior quanto mais clara for a pele do indivíduo analisado e está relacionada com a RUV anual disponível no local onde os indivíduos vivem (AUV), podendo ser estimada de acordo com a seguinte equação:  $W = 70 - (-AUV/10)$ .

A hipótese de Jablonski and Chaplin para explicar as variações observadas nos resultados de coloração da pele envolve o equilíbrio entre dois fatores importantes:

- a) a necessidade de proteção proporcionada pela melanina que funciona como filtro contra a RUV e por isso reduz a possibilidade de lesões na pele;
- b) a necessidade de absorção de um valor mínimo de RUV pela pele humana para garantir a produção de vitamina D que é essencial para a construção e manutenção dos ossos.

Assim, ao se estabelecerem nos locais atuais, as populações humanas já apresentavam diversidade em relação aos genes que coordenam a coloração da pele e, ao final de milhares de anos, o efeito da seleção natural pode ser observado em seus descendentes (as populações autóctones atuais de pele mais clara ou mais escura).

Há algumas diferenças entre as hipóteses criadas para explicar o processo seletivo que teria originado a distribuição clinal na coloração da pele humana (populações com pele progressivamente menos pigmentadas à medida que a latitude aumenta). A coloração original da pele de nossos ancestrais é um exemplo da diversidade de explicações. Alguns pesquisadores consideram que nossos ancestrais, há seis milhões de anos, deveriam ter a pele com coloração semelhante a dos chimpanzés atuais, ou seja, clara e protegida pela presença de pelagem. Na medida em que nossos ancestrais começaram a apresentar redução na quantidade

de pêlos, iniciou-se o processo seletivo favorável à produção de peles de coloração mais escura nas regiões de grande incidência de luz solar. Através desse modelo, no período em que os humanos viviam apenas na África, a seleção natural desfavorecia os indivíduos de pele clara. A migração das populações humanas para o norte criou outras condições de seleção. Em regiões onde a incidência de RUV é menos intensa, a presença de grande quantidade de eumelanina deixou de ter importância na proteção da pele e passou a ser desvantajosa ao impedir a penetração da RUV para síntese de vitamina D.

Alguns pesquisadores argumentam que a dieta das populações pode ter sido um fator importante associado às estações do ano. Assim, populações que se estabeleceram ao redor dos 40 graus de latitude não foram submetidas a uma pressão seletiva intensa contra peles pigmentadas porque podiam produzir vitamina D em quantidade suficiente sob o Sol na primavera e verão e armazenar essa vitamina nos tecidos para ser usada durante o inverno.

Notáveis exceções são os povos de pele escura do norte, como as populações da costa da Groenlândia e podem ser explicadas pelo suprimento constante de alimento rico em vitamina D, como os peixes, de modo que não foi necessário que a pele desses povos se torna-se tão clara para que a pele pudesse receber quantidades suficientes de RUV para a síntese de vitamina D.

As explicações para as variações na coloração de pele dos ameríndios também são variadas. Uma das hipóteses supõe que as populações que atingiram o estreito de Bering ainda mantinham variabilidade genética em relação aos genes responsáveis pela coloração da pele. Assim quando essas populações ancestrais atingiram regiões de grande incidência de RUV novamente foram submetidas à seleção favorável para os indivíduos mais pigmentados.

Existem vários argumentos para explicar a atual distribuição de pigmentação nos continentes como produto da seleção favorável aos indivíduos de pele escura que seriam melhor protegidos dos efeitos prejudiciais dos raios ultravioleta. Porém, há que se considerar que essa distribuição também pode ser apenas um reflexo do estado ancestral e de eventos aleatórios somados que favoreceram as mutações que originaram indivíduos de pele mais clara em ambientes com baixa incidência de RUV e em situações de dieta mais pobre em vitamina D. Embora a variação latitudinal na incidência de luz solar possa ser uma força seletiva importante, ela não pode ser considerada como único fator para seleção natural pois os seres humanos

são capazes, através de mudanças no ambiente e no comportamento, de superar esse fator.

### **Redução na camada de ozônio**

O esperado aumento de incidência de RUV sobre a superfície da Terra, como resultado da redução da camada de ozônio estratosférico terá como uma das conseqüências mais óbvias para os seres humanos o aumento nos casos de câncer de pele. Dados epidemiológicos demonstram que a pigmentação deficiente da pele combinada com exposição à RUV tem uma alta correlação com desenvolvimento de melanoma. Também haverá, para a nossa espécie, aceleração dos processos de envelhecimento da pele por exposição à luz e inibição da atividade do sistema imune. Pode-se prever, também, que as populações tenderão a se tornar mais escuras pois as pessoas capazes de responder com aumento na produção de melanina estarão mais aptas a este cenário. Porém, a exposição aumentada à RUV atingirá todos os organismos que utilizam a superfície do planeta. O quanto o aumento de RUV irá modificar as comunidades de microrganismos, qual a capacidade de responder contra esse aumento de radiação, são previsões mais difíceis de serem elaboradas.

### **Atividade experimental 1:**

#### **Efeito germicida da RUV em *Saccharomyces cerevisie***

As atividades propostas nesse capítulo demonstram de modo concreto a ação germicida da RUV, através de um conjunto de experimentos muito simples e de fácil execução que podem ser feitos com um mínimo de reagentes, em condições de sala de aula ou como atividade extra-classe.

Estes experimentos têm grande potencial didático porque permitem que várias hipóteses sobre a ação germicida dos raios ultravioleta sejam testadas, atendendo às curiosidades e interesses dos executores. As atividades propostas, além de permitirem a vivência da metodologia científica, também estimulam discussões sobre ações preventivas em relação ao câncer de pele e sobre a necessidade de proteção efetiva contra a RUV. A relação desses temas com o dia-

dia de todos nós e a aplicabilidade das conclusões decorrentes das observações são formas de valorizar o conhecimento científico e tornar o aluno mais consciente sobre a necessidade de utilizar métodos de proteção contra RUV e sobre a importância do controle de qualidade em relação aos produtos que envolvem proteção contra RUV.

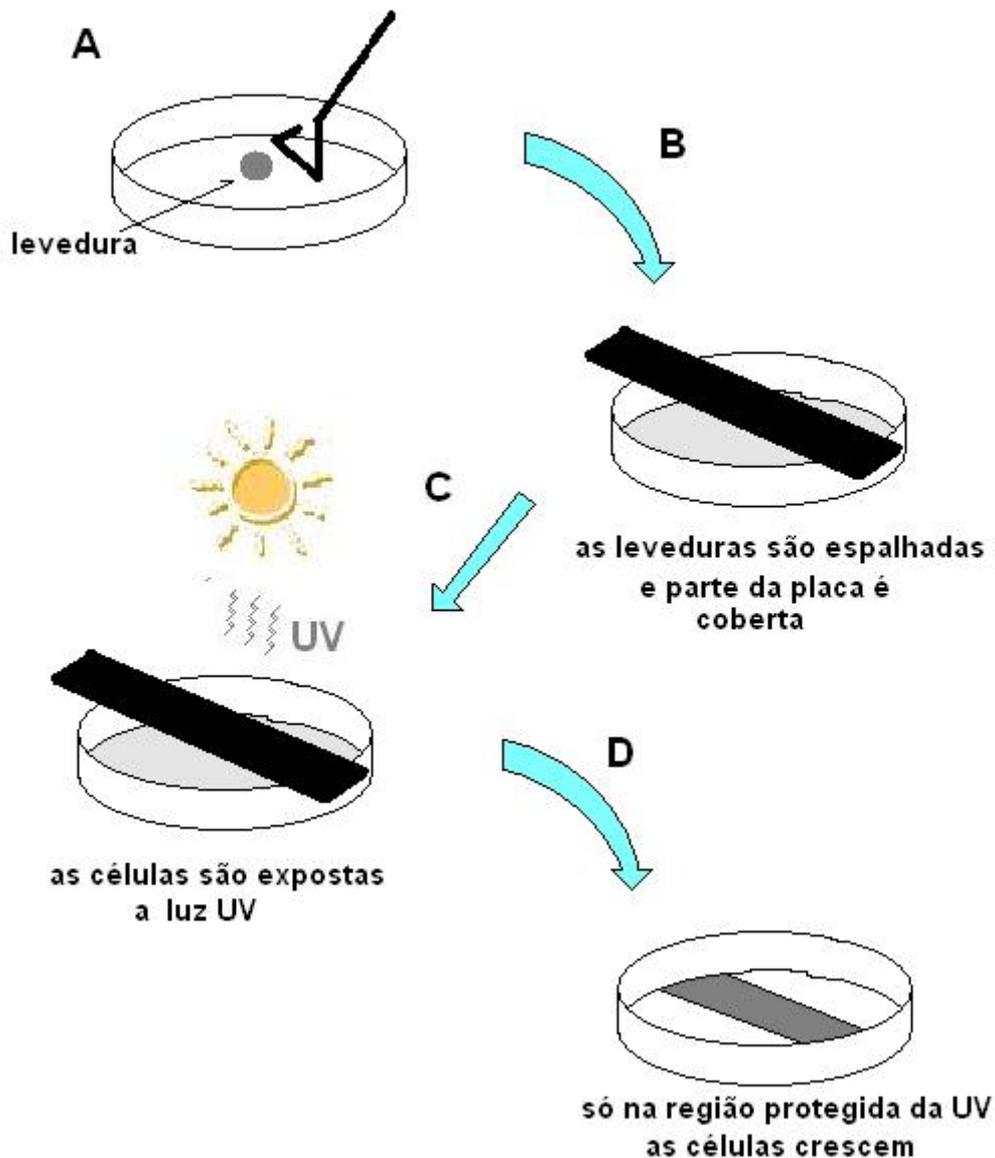
### *DESCRIÇÃO GERAL*

Os experimentos são realizados com *Saccharomyces cerevisiae*, um microrganismo seguro, não patogênico, de crescimento rápido, que permite a realização de todas as fases do experimento em sala de aula. Outras vantagens do uso de *S. cerevisiae* decorrem do fato de toda manipulação da cultura poder ser feita em ambiente não estéril, dispensando tanto o uso de mesa de fluxo laminar, ou de manuseio próximo à bico de Bunsen, quanto o emprego de materiais esterilizados.

A base dos experimentos reside no espalhamento uniforme das leveduras em uma superfície com meio de cultura (Figura 3.3) e exposição de parte dessa população de células à RUV. Para isso, uma parte da placa pode ser coberta com materiais que não deixem passar radiação ou que impedem especificamente a passagem da RUV.

Vários materiais sabidamente eficientes como bloqueadores de RUV podem ser empregados nesses experimentos, como por exemplo, um filme plástico coberto com filtro solar, lentes de óculos de sol ou lentes de equipamentos de proteção para soldadores. Há também uma infinidade de materiais que podem ser simultaneamente investigados em relação à capacidade de proteção contra as RUV, permitindo uma exploração livre que atenda à curiosidade dos alunos.

Na Figura 3.3 é apresentado o modelo geral da execução desses experimentos cujos resultados podem ser visualizados entre 24 e 48 horas após a exposição das leveduras à RUV. O crescimento das células nas regiões não expostas ou devidamente protegidas é facilmente percebido no meio de cultura e permite que se constatem os efeitos da ação germicida dos raios UV (regiões com poucas células) e da ação protetora de alguns materiais (regiões de maior densidade celular).



**Figura 3.3** - Esquema geral dos experimentos: (A) Em uma placa de Petri, com meio de cultura, espalhamos leveduras em suspensão; (B) Parte da placa é protegida por um material que não permite a passagem de RUV; (C) A placa é exposta à RUV (Sol ou lâmpada germicida); (D) Dependendo da quantidade RUV recebida, as leveduras vão crescer apenas na parte protegida da placa.

A seguir são descritas diferentes possibilidades para esse tipo de experimento. Apresentamos duas maneiras de preparar o meio de cultura, uma com “reagentes” de cozinha e outra com os reagentes de laboratório de microbiologia e descrevemos experimentos testando diferentes fontes de RUV. Procuramos descrever detalhadamente os diferentes processos para que o leitor possa escolher quais experimentos são mais adequados a sua realidade didática.

## CULTURA DE LEVEDURAS:

### *Material*

- Placa de Petri.
- Levedura desidratada (fermento biológico, seco, instantâneo; para pães).
- Suco de uva (produto comercial).
- Açúcar.
- Ágar (esse polissacarídeo, extraído de algas, é usado para tornar meios de cultura gelatinosos, pode ser encontrado em farmácias de manipulação ou em empresas que vendem reagentes de laboratório).
- Fonte de radiação ultravioleta (por exemplo: Sol, lâmpada germicida, lâmpada de “luz negra”, lâmpada fluorescente...).
- Bloqueador solar, hidratantes, óculos de sol, tiras de cartolina, e outros materiais cuja eficiência na proteção contra RUV se deseje testar.
- Filme de PVC (normalmente usado para proteger ou acondicionar alimentos).
- Pipeta ou seringa descartável de 20 mL.
- Alça de vidro (alça de Digralsky) – na falta de uma, veja abaixo como solucionar.
- Opcional: secador de cabelo ou estufa, extrato de levedura e bactotripton.

### *Preparo do meio*

O meio descrito a seguir é bastante simples e não precisa ser autoclavado porque o período de duração da cultura será breve (dois dias) e dada a grande quantidade de células de *S. cerevisie* que serão inoculadas há pouca probabilidade de crescimento de outras células. Tem a vantagem de ser feito com “reagentes” baratos e encontrados no supermercado. Foi desenvolvido para ser realizado mesmo na ausência de laboratório e equipamentos específicos. Entretanto, se tiver disponibilidade de reagentes para meios microbiológicos recomendamos o emprego do meio YPD (descrito abaixo), pela facilidade de preparação.

### **Meio caseiro 1:**

- Em duzentos mL de água, colocar duas colheres de sopa de suco de uva e uma colher de açúcar.
- Acrescente duas colheres de café, rasas, de ágar.

- Ferver (30 segundos ou até que o ágar fique totalmente fundido, podemos verificar isto quando o líquido perde o aspecto leitoso).
- Verter o líquido ainda quente em placas de Petri, formando uma camada de 3 a 5 milímetros de meio. Deixar solidificar.
- Secar as placas. Para o experimento funcionar bem é fundamental um bom “plaqueamento” das leveduras. Chamamos “plaqueamento” o ato de espalhar uma fina e uniforme camada de células no meio de cultura e fazer com que as células “entrem” no meio de cultura. Para isto ocorrer com facilidade é ideal que o meio não tenha uma cobertura muito úmida, pois isto dificultaria as células entrarem no meio. Ou seja, para melhor plaquear as leveduras, se faz necessário “secar” um pouco o meio. Para tal, podemos colocar as placas em uma estufa a 40-45 °C por 15 a 30 minutos ou, alternativamente, com um secador de cabelo, direcionar o ar quente sobre o meio (com cuidado para não causar aquecimento excessivo) até que a umidade superficial desapareça. Eliminar o excesso de umidade da superfície é um procedimento importante no preparo de todos tipos de meios pois garantirá uma distribuição uniforme das células.

### **Meio de cultura YPD**

Meio específico para leveduras YPD é o meio padrão completo para leveduras.

Material necessário:

- 10 g/L de extrato de levedura.
- 20 g/L de bactopectona.
- 20 g/L de glicose.
- 100 mL de água destilada.

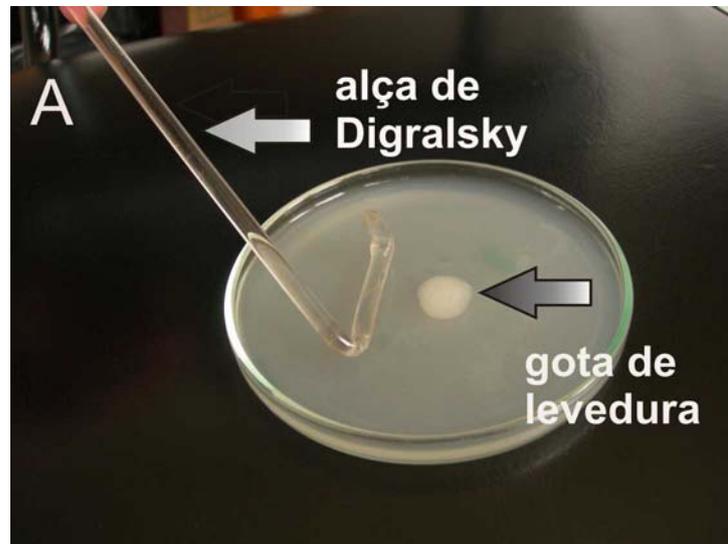
Ferver a água até o ágar ficar completamente fundido e espalhar nas placas de Petri até formar uma camada de alguns milímetros.

Preparando a cultura de leveduras:

- Preparar uma solução de leveduras. Para isto, coloque um pequeno volume de água (+/-10 mL) em um recipiente e acrescente meia colher de chá de levedura. Deixe as leveduras hidratarem por aproximadamente 15 minutos.
- Quando a solução de leveduras não apresentar mais grumos (hidratação completa), coloque uma gota da solução de levedura sobre a placa com meio de cultura, e com uma alça de vidro espalhe bem a gota por toda a superfície da placa

(Figura 3.4). Na ausência de alça de vidro, as leveduras podem ser espalhadas com a parte convexa de uma colher de chá.

- Cubra a placa com um filme de PVC.



**Figura 3.4.** Placa contendo uma gota de solução de levedura e a alça de vidro. Com a alça a gota é espalhada por toda a superfície do meio.

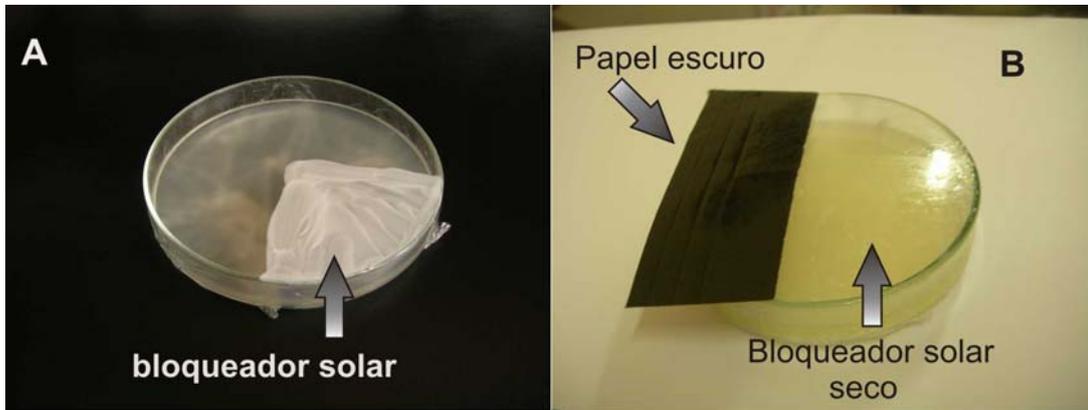
### ***Experimentos de exposição aos raios UV***

Uma vez que “plaqueadas” as leveduras podemos expô-las à RUV. Antes, porém, devemos cobrir partes da placa com diferentes objetos ou substâncias que não deixem passar a radiação UV e desta forma poderemos demonstrar que a RUV possui ação germicida. Nesta secção descrevemos alguns exemplos de experimentos que podem ser feitos. Na seqüência explicamos como expor as células à radiação UV e posteriormente como interpretar os resultados. Com certeza, muitos outros experimentos podem ser propostos e é interessante provocar a imaginação dos alunos.

#### ***Experimento 1 – Os bloqueadores solares protegem de fato contra RUV ?***

Divida a placa em quadrantes. No primeiro cubra o filme de PVC com bloqueador solar (Figura 3.5). O segundo quadrante cubra com creme hidratante ou bronzeador ou qualquer outro produto que não esteja associado à proteção contra a RUV. O terceiro quadrante cubra com um papel preto ou papel alumínio. O último quadrante fica como controle e não deve ser coberto com nada. Várias placas podem ser feitas

empregando bloqueadores solares com diferentes Fatores de Proteção Solar (FPS - 60; 30; 10; do inglês SPF - sun protection factor). Também outros cosméticos que são apresentados como tendo fatores de proteção à RUV (como algumas loções pós-barba,...) podem ser testados.



**Figura 3.5** - A) Bloqueador solar é aplicado sobre o filme de PVC; B) o bloqueador é seco com um secador de cabelo e se torna transparente. Neste caso a metade da placa está sendo coberta com um papel preto.

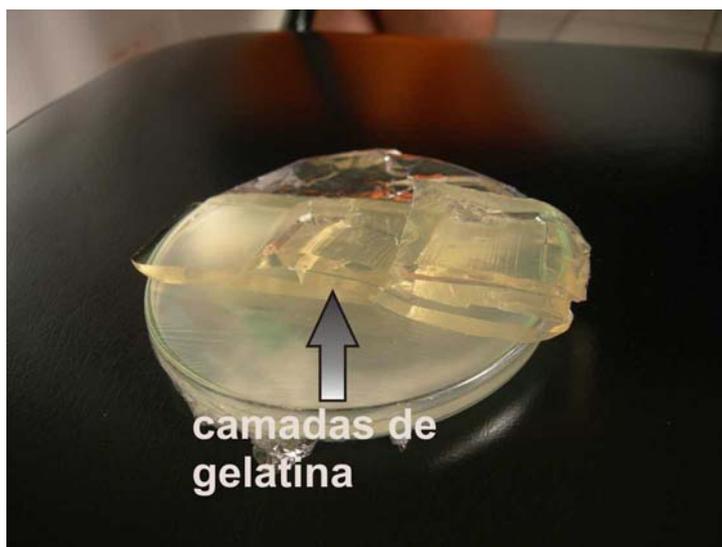
### *Experimento 2 – Que espessura da derme é atravessada pela RUV?*

Como apresentado anteriormente, a radiação UV tem uma penetração muito limitada no nosso corpo, entrando na derme em apenas alguns milímetros. Assim, a ação da RUV fica restrita a epiderme e a camada mais superficial da derme. Sabemos que a derme possui uma matriz extracelular muito proeminente, sendo constituída principalmente de uma proteína chamada colágeno. A gelatina, usada para fazer sobremesas, é colágeno. Podemos “simular” uma camada da derme fazendo uma gelatina bem consistente e fina, com aproximadamente três milímetros. O objetivo deste experimento é verificar que espessura de colágeno é ultrapassada por RUV.

#### Procedimentos:

- Para fazer a gelatina, dissolva um envelope de gelatina incolor (12 gramas) em ½ xícara de água. Ferva bem e verta em uma vasilha de fundo plano, formando uma fina camada de aproximadamente três milímetros. Coloque na geladeira para geleificar.

- Corte a gelatina em tiras de 3 a 4 cm de largura. Use para isto um estilete. Cubra uma parte da placa de Petri com estas tiras de gelatina. É interessante fazer diferentes camadas (Figura 3.6). Uma parte deverá conter uma só camada de gelatina (3 mm), outra parte terá duas camadas (6 mm) e outra com três (9 mm).
- Como controle, deixe uma parte da placa sem cobertura alguma e outra cubra com um papel escuro ou folha de papel alumínio.



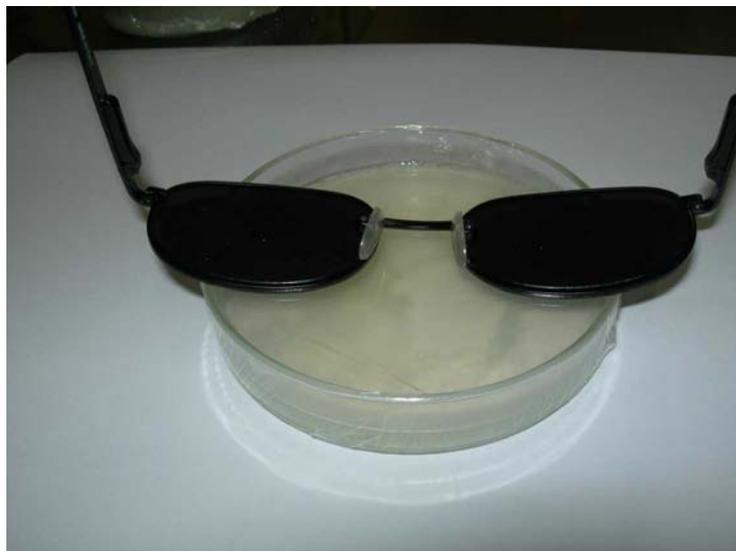
**Figura 3.6** - Diferentes quantidades de camadas de gelatina são colocadas sobre a placa.

### *Experimento 3 – Os óculos de sol realmente protegem da RUV?*

Geralmente é dito que os óculos de sol protegem os olhos do efeito nocivo da radiação UV. Será que realmente eles protegem? Um experimento muito simples pode ser feito para testar a capacidade dos óculos de sol de proteger, ou não, as leveduras do efeito germicida da RUV. Para isto basta colocar um óculos de sol sobre a placa, antes da exposição das leveduras à RUV (Figura 3.7).

Outros tipos de óculos podem também ser testados, como os óculos de grau. Muitos deles têm lentes que filtram a radiação UV. Também outros objetos transparentes podem ser testados. A rigor os vidros comuns são bastante “impermeáveis” a radiação UV, mas a capacidade destes em evitar o efeito germicida da RUV dependerá da espessura do vidro e também da fonte de UV empregada (ver abaixo). Outros objetos transparentes, como os acrílicos, apresentarão resultados bem variados, alguns sendo menos “bloqueadores” de UV que outros.

Podemos demonstrar também que o vidro comum, mesmo fino como a tampa da placa de Petri ou uma placa de acrílico, geralmente são barreiras eficientes contra a ação germicida da RUV.



**Figura 3.7** - Óculos de sol sobre a placa para ser exposta à RUV.

#### *Experimento 4 – Flavonóides: protetores do DNA das plantas*

Várias plantas possuem uma epiderme rica em pigmentos flavonóides (antocianinas e flavonóis) que geralmente dão as folhas e/ou flores as cores roxa, vermelha ou amarela. Estes pigmentos absorvem RUV e entre suas funções está a de proteção das células a radiação UV. Podemos fazer um ensaio para mostrar a eficiência das antocianinas em bloquear a RUV. Por cima do filme de PVC, colocamos uma “grande” gota de água, outra de suco de uva e outra de suco de laranja ou de café. Após expomos as leveduras à RUV.

#### ***Expondo as leveduras à radiação UV***

Usando uma lâmpada germicida.

Lâmpadas germicidas são comuns em laboratórios de microbiologia, biologia celular e molecular. Não são muito caras e são fáceis de instalar, como uma lâmpada fluorescente comum. Elas se parecem com lâmpadas fluorescentes, porém são de quartzo e transparentes. Produzem uma onda muito intensa na região dos 253 nm (UVC) e em função disso tem uma forte ação germicida. Nos experimentos

aqui descritos, o emprego de lâmpadas germicidas como fonte de RUV é a que proporciona os melhores resultados.

Para usar lâmpadas germicidas como fonte de RUV é necessário considerar dois aspectos principais: *i*) tempo de exposição das placas a RUV dependerá da potência da lâmpada e *ii*) da distância da lâmpada às placas.

Um tempo de 10 a 15 minutos é suficiente para uma lâmpada germicida de 20 watts, distante aproximadamente um metro das placas. Uma lâmpada como esta, geralmente está instalada nas capelas de fluxo laminar ou em bancadas de manipulação de microorganismos ou de preparação de PCR (Figura 3.8). Se sua instituição dispõe de uma destas instalações, isto facilita muito a execução destes experimentos, uma vez que a fonte de UV já está “pronta” para uso. Porém, na ausência, podemos construir facilmente uma “cabine” para irradiar nossas placas. Primeiramente, cabe chamar a atenção para alguns cuidados básicos para se trabalhar com segurança. O mais importante, é que não seja permitida a exposição à RUV, mesmo que rápida, de qualquer parte do corpo não protegida. Também a observação direta da lâmpada germicida não deve ser feita, pois pode causar irritação ocular severa com inflamação da córnea e da conjuntiva (ceratoconjuntivite).

Para construir a câmara germicida, podemos fazer uso de uma caixa de papelão de aproximadamente 30 x 30 x 30 cm. Na parte superior instalamos uma lâmpada germicida de 8 watts. Esta lâmpada pode ser obtida nas lojas especializadas em lâmpadas ou em material para laboratório. Faça uma “porta” na caixa de papelão, para poder colocar as placas. Porém, só coloque as placas na “câmara” com a lâmpada desligada. Se preferir, para efeito didático, pode deixar a porta sem o papelão e substituir este por um vidro de 5 mm. Este vidro da porta permitirá aos alunos “verem” as placas serem irradiadas e a RUV refletida nas placas não passará o vidro, tornando a observação segura.



**Figura 3.8** - Expondo as leveduras a uma lâmpada germicida.

Usando o Sol como fonte de UV.

O Sol é uma fonte de UV acessível a todos e disponível a maior parte do tempo em um país tropical como o nosso. Geralmente uma hora e meia ou duas de exposição ao sol é o suficiente para se poder observar a ação germicida da radiação UV solar sobre as leveduras. Porém, em um país continental como o Brasil, a intensidade de UV vai apresentar variações em diferentes latitudes e também pode variar conforme a época do ano. Por exemplo, tomando o Índice UV que é uma escala que vai de zero a 12 (ou mais) temos que este valor é, no Rio de Janeiro, de 5 em junho e julho e 12 em dezembro e janeiro. Já em Buenos Aires é de 2 em junho-julho e 10 em dezembro.

Em função disto, para usar o Sol como fonte de UV se faz necessário testar e acertar o tempo de exposição em sua localidade e na época do ano em que vai realizar este experimento. Dois outros cuidados devem ser tomados ao se usar o Sol como fonte de UV:

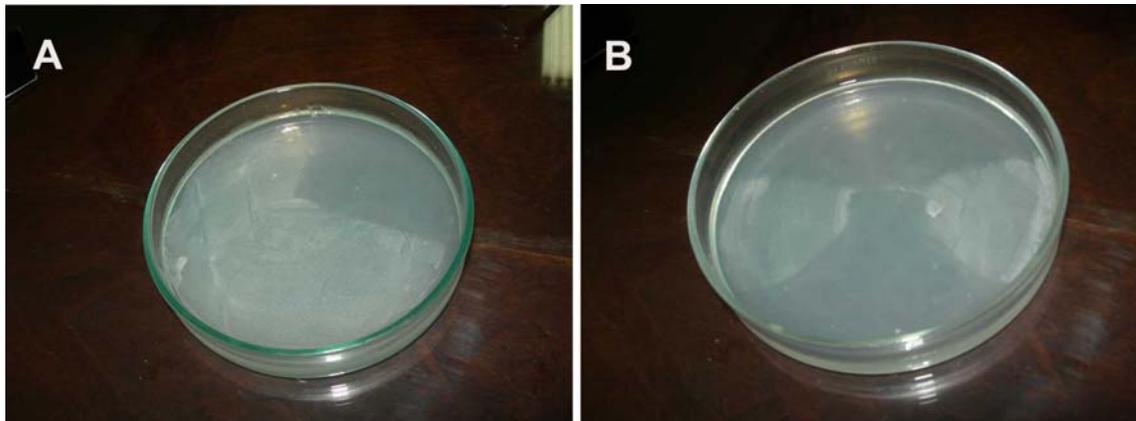
- A quantidade de leveduras a ser “plaqueada” (quantidade de células e tamanho da gota de solução de leveduras – ver o preparo dos meios de cultura descritos acima) não deve ser muito grande. A intensidade do UV solar não é muito alta e se colocarmos um excesso de células, muitas poderão sobreviver e o experimento não funcionará.

- Em dias muito quentes, a exposição de uma hora ou mais, poderá elevar a temperatura da placa acima dos 40 °C e nessas condições muitas leveduras poderão morrer por estresse térmico e não por ação da radiação UV. Nestas condições o experimento não funcionará. Podemos resolver isto colocando as placas

sobre gelo e trocá-lo na medida em que for derretendo. Se forem disponíveis frascos de “gelo azul”, estes podem ser empregados e facilitam muito a operação uma vez que, mesmo em dias mais quentes, eles se mantêm frios por horas. O “gelo azul” é muito comumente empregado na remessa de produtos biológicos pelas empresas de comercialização de produtos farmacológicos e bioquímicos.

Cabe salientar também que os experimentos empregando a gelatina e o suco como “bloqueadores” de RUV são dificilmente executáveis empregando o Sol como fonte de RUV. Em função do longo tempo de exposição e do calor envolvido, a gelatina tende a “derreter” e os sucos a secarem. Estes experimentos são mais facilmente realizáveis empregando a lâmpada germicida como fonte de RUV.

Depois de expostas as placas à fonte de radiação UV, temos que esperar o crescimento das leveduras. Se dispusermos de uma estufa bacteriológica com temperatura controlada em torno de 30 °C, em 24 horas poderemos ver os resultados. Se optarmos por esperar crescer à temperatura ambiente, também poderemos ter o resultado em 24 horas em dias quentes ou em 48 horas em dias frios. Na Figura 3.9, podemos ver o crescimento das leveduras em algumas placas.



**Figura 3.9** - Crescimento de leveduras pode ser observado nas placas. Em **A**, a placa foi protegida como mostrado na Figura 3.5. Note que o quadrante em que não houve proteção das leveduras da RUV, não houve crescimento de leveduras, já nos quadrantes cobertos com papel preto ou com protetor solar, as leveduras sobreviveram. Em **B**, podemos ver que na região protegida pelo óculos de Sol (como na Figura 3.7) houve crescimento das leveduras.

Como apresentado anteriormente, a ação germicida da RUV está relacionada aos danos causados ao DNA das células. Embora os organismos sejam dotados de eficientes mecanismos de reparo das mutações, quando estas são em número superior a capacidade de reparo do DNA das células, estas se tornam inviáveis e morrem. Quando cobrimos parte da placa com um objeto opaco, como um papel

preto, por exemplo, alguns alunos poderão questionar se não seria a luz visível que teria a ação germicida. Podemos verificar que não é ação da luz visível quando passamos filtro solar no filme de PVC. Neste caso, por ficar transparente, a luz visível atinge as leveduras mas mesmo assim elas não morrem. Porém, como mostrado adiante, o bloqueador solar deixa passar os comprimentos de onda da luz visível, mas bloqueia os da faixa UV.

Vale lembrar que as leveduras empregadas nestes ensaios são do tipo selvagem, quer dizer, possuem todos os genes para os mecanismos de reparo funcionando normalmente. Se empregássemos linhagens com mutações em alguns dos genes de reparos, essas leveduras seriam muito mais sensíveis às RUV. Por exemplo, no experimento sugerido em [www.health.utah.gov/ucan/cancer/schpieces/sunscreeenteacher.pdf](http://www.health.utah.gov/ucan/cancer/schpieces/sunscreeenteacher.pdf) que empregam linhagens de levedura mutantes, o tempo de exposição ao Sol pode ser de apenas 4 minutos!

Geralmente, empregando como fonte de RUV uma lâmpada germicida de 20 W, uma camada de gelatina de 3 mm não possui capacidade de bloqueio de UV em uma exposição de 15 minutos, porém 6 mm de gelatina já conferem uma boa proteção às leveduras e com 9 mm a proteção é total (não detectamos diferenças com relação ao controle). Resultados semelhantes são obtidos com os sucos. Enquanto o suco de uva promove uma boa proteção às leveduras, pela presença das moléculas de antocianina que absorvem UV, o suco de laranja ou simplesmente a gota de água não apresentam capacidade de proteger as leveduras.

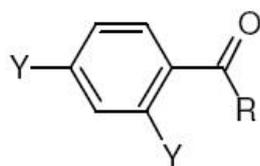
Por que não morremos ao ficar algumas horas ao Sol, como acontece com as leveduras? É verdade que uma insolação muito intensa pode causar queimaduras e levar à morte. Porém, em geral, visto que a RUV fica restrita apenas à pele e esta possui uma camada de melanina, impedindo passagem de parte da RUV, as exposições prolongadas principalmente de pessoas de pele clara, causam queimaduras. Já as exposições habituais podem causar danos que passam despercebidos no curto prazo. Porém, o acúmulo de mutações em algumas células poderá desencadear o aparecimento de câncer de pele.

## Atividade experimental 2:

### Fazendo medidas físicas da eficiência dos bloqueadores de radiações UV

Nesta secção descrevemos a construção de um equipamento simples que permite fazer medidas físicas da RUV e mostrar a ação dos filtros solares.

Os protetores ou bloqueadores solares podem conter em sua composição diversos tipos de moléculas que atuarão de duas principais maneiras: i) **Bloqueadores de Efeito Físico:** neste caso, o agente atua como um bom espalhador da radiação incidente e isto está relacionado às propriedades de reflexão e refração (elevada) das substâncias utilizadas. Para evitar um efeito final esbranquiçado, são microparticulados. Os mais comuns são os óxidos de zinco ou de titânio. ii) **Bloqueadores de Efeito Químico:** Atuam como “absorvedores quânticos”, absorvendo a radiação incidente num comprimento de onda da faixa UV A ou UV B e re-emitindo durante o processo de desexcitação numa faixa de menor energia (acima de 380 nm). Em geral são compostos aromáticos conjugados e com um grupo carboxílico, como mostrado na formula estrutural abaixo:



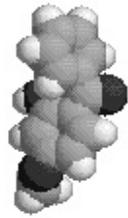
Y=OH, NH<sub>2</sub>, OCH<sub>3</sub>,

R= C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>, OH, OR' (R'=octila, metila, etc)

A tabela a seguir mostra alguns dos compostos mais utilizados na composição dos filtros solares:

Tabela de substâncias usadas nos filtros solares:

Efeito	Substância	Faixa de Proteção (nm)	Proteção		Fórmula e propriedade ou molécula
			UV A	UV B	
Físico	Óxido de Zinco	200 – 700	×	×	ZnO Índice refração 2,02
	Dióxido de Titânio	290 – 700	×	×	TiO <sub>2</sub> (rutilo) Índice refração 2,70

Químico	Oxibenzeno	250 – 390	×	Secun dário	
	Homosalato (salicilato de homomentila)	294 – 330	–	×	
	Octocrileno	350 – 360	×	–	
	4-Metoxicinamato de 2-etilexila	290 – 320	–	×	
	Salicilato de 2-etilexila	289 – 320	–	×	

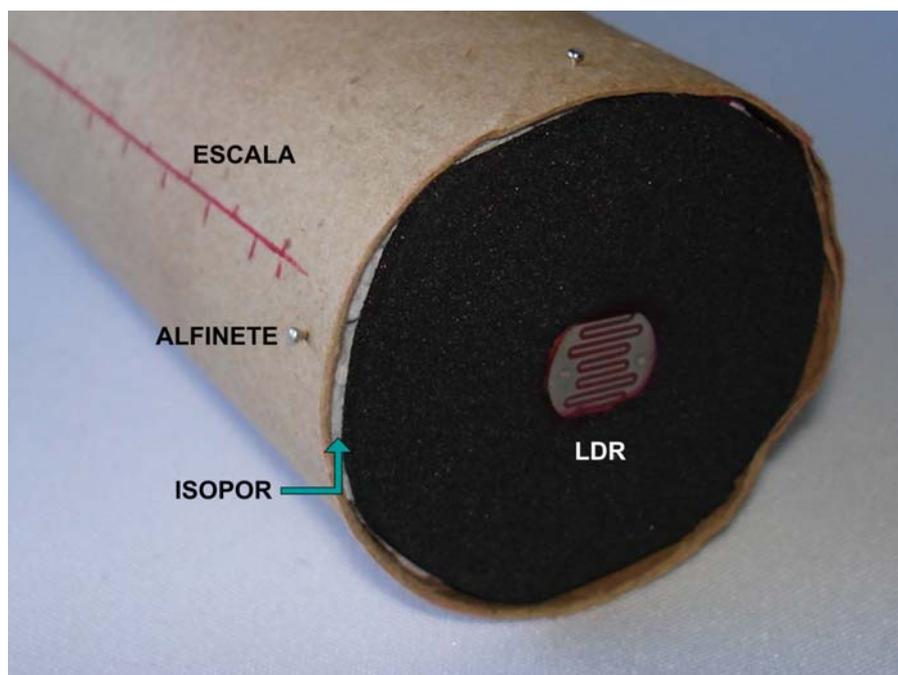
Para construir um sistema de medição da “quantidade” de radiação UV precisamos de um detector, de uma fonte UV e um suporte para servir de base onde os filtros solares serão depositados. Propomos então um sistema que apesar de ser bastante rústico atingiu o objetivo com confiabilidade.

**Materiais:**

**Construção do Sensor:**

- Tubo de papel com 22,0 cm de comprimento por 4,7 cm de diâmetro (tipo o tubo do guardanapo em rolo).

- Tubo de papel com uma das bordas em metal (tipo potinho de fermento químico em pó, cerca de 7,0 cm de comprimento por 5,3 cm de diâmetro).
  - LDR com 1,0 cm de diâmetro (ver anexo).
  - Disco de isopor ou EVA (borracha de Etil Vinil Acetato) com cerca de 1,0 cm de espessura que encaixe no tubo maior.
  - Filme de PVC (usado na cozinha para enrolar alimentos).
  - Alfinetes, tinta guache preta, fios para conexões elétricas (finos encapados).
- Fazer um orifício no centro do disco de isopor (ou EVA) do tamanho do LDR para encaixá-lo. Soldar dois fios, de comprimento um pouco maior que o tubo mais comprido, às saídas do LDR (um fio para cada saída). Encaixar o LDR no orifício do disco de isopor (ou EVA) e prender este, com alfinetes ou cola apropriada, na extremidade do tubo comprido (Figura 3.10). Fazer uma escala graduada (a cada 0,5 cm, por exemplo) na lateral do tubo.



**Figura 3.10** - Montagem do sensor no tubo de papelão.

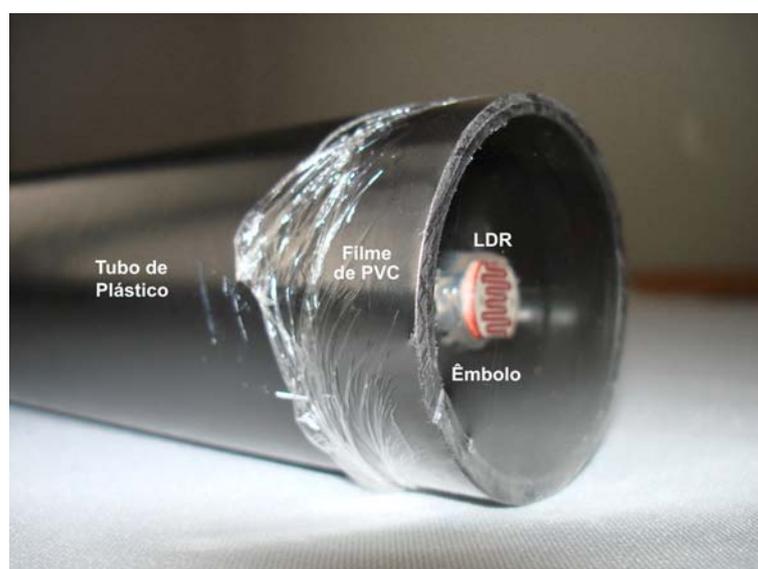
Remover a base de metal inferior do tubinho do potinho de fermento e pintar de preto a parte interna (opcional porém aconselhável, pois diminui reflexões internas de luz sobre o LDR). Por fim deve-se acoplar este potinho ao tubo do sensor, de modo a montar um sistema de vai-e-vem com o mínimo de “folga” para minimizar grandes oscilações nas medidas durante a operação. A configuração final deve parecer conforme a Figura 3.11.



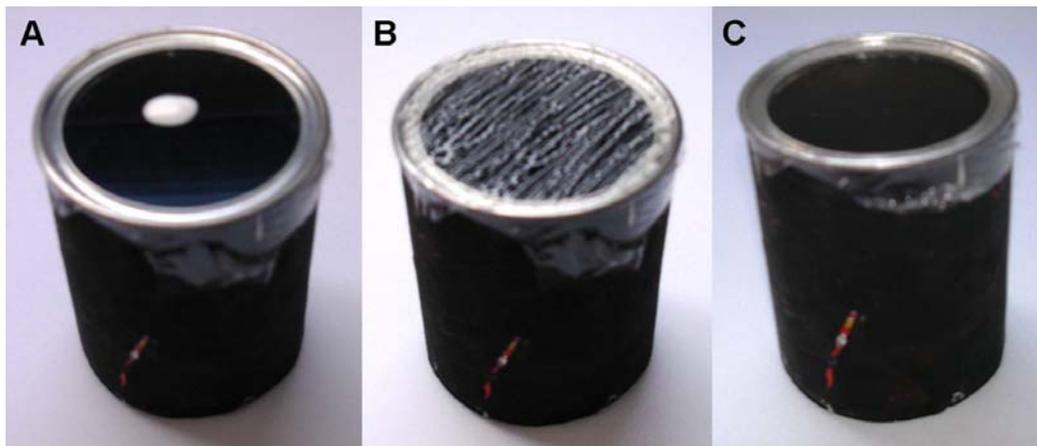
**Figura 3.11** - Encaixe do tubo com sensor no tubo com borda metálica.

Para aderir o filme de PVC na extremidade metálica basta esticá-lo sobre esta e puxar cortando o excesso. Caso seja necessário, fazer uso de um atilho ou adesivo para manter o filme bem esticado (Figuras 3.12 e 3.13).

Uma montagem alternativa, um pouco mais resistente, pode ser feita usando uma bomba de encher balões de aniversário, serrando a extremidade inferior, passando a fiação por dentro do êmbolo e fixando o LDR na extremidade deste. A diferença é que a escala tem que ser feita na haste do êmbolo. A configuração final é a seguinte:



**Figura 3.12** - Colocação do filme de PVC na extremidade do tubo de plástico.



**Figura 3.13** - Tubo de papel com filme de PVC aderido na borda metálica. A) Duas gotas de protetor solar sobre o filme. B) Espalhamento do protetor solar com um pincel sobre o filme de PVC. C) Após a secagem com o secador de cabelo fica transparente.

### **Construção da Fonte UV (“Lanterna UV”):**

#### **Materiais:**

- LED ultravioleta de alto brilho com 5,0 mm.
- Tubo de papel com uma das bordas em metal (tipo potinho de fermento químico em pó, cerca de 7,0 cm de comprimento por 5,3 cm de diâmetro).
- Disco de isopor ou EVA (borracha de Etil Vinil Acetato) com cerca de 1,0 cm de espessura que encaixe no tubo.
- Fonte de corrente contínua 6V (4 pilhas pequenas tipo AA de 1,5 V cada em um porta-pilhas ou carregador de celular com entrada 100-240 VAC e saída 5,9 VDC 400 mA ou similar).
- Fios para conexões elétricas (finos encapados).
- Resistor pequeno (qualquer valor entre 180 e 270 ohms).
- Conector para LED (ou conector de drive de disquete retirado de sucatas).

#### **Procedimento:**

Remover o fundo de metal do potinho de fermento (puxando com um alicate ele sairá facilmente) e encaixar internamente o disco de isopor ou EVA na extremidade oposta do tubo (aquela com borda metálica). Atravessar este disco com os terminais do LED de modo que fiquem expostos para fora do tubo. Seguir o esquema das Figuras 3.14 e 3.15 para as conexões elétricas.

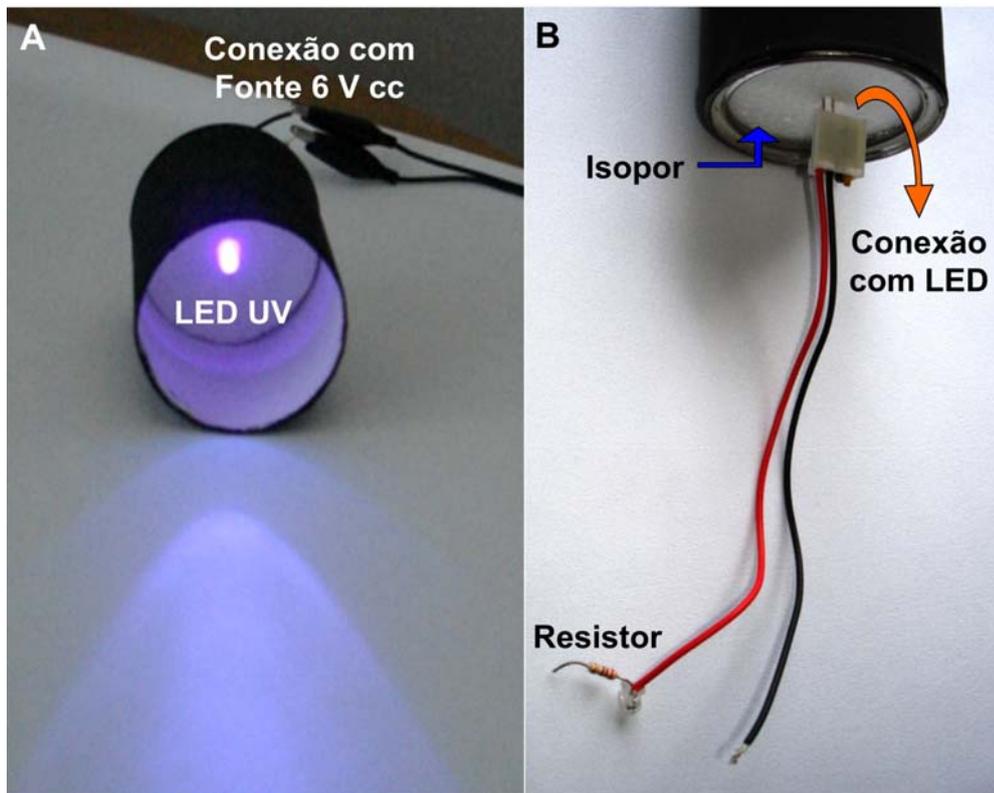


Figura 3.14 - Fonte com LED ultravioleta. A) Vista frontal. B) Vista da parte traseira.

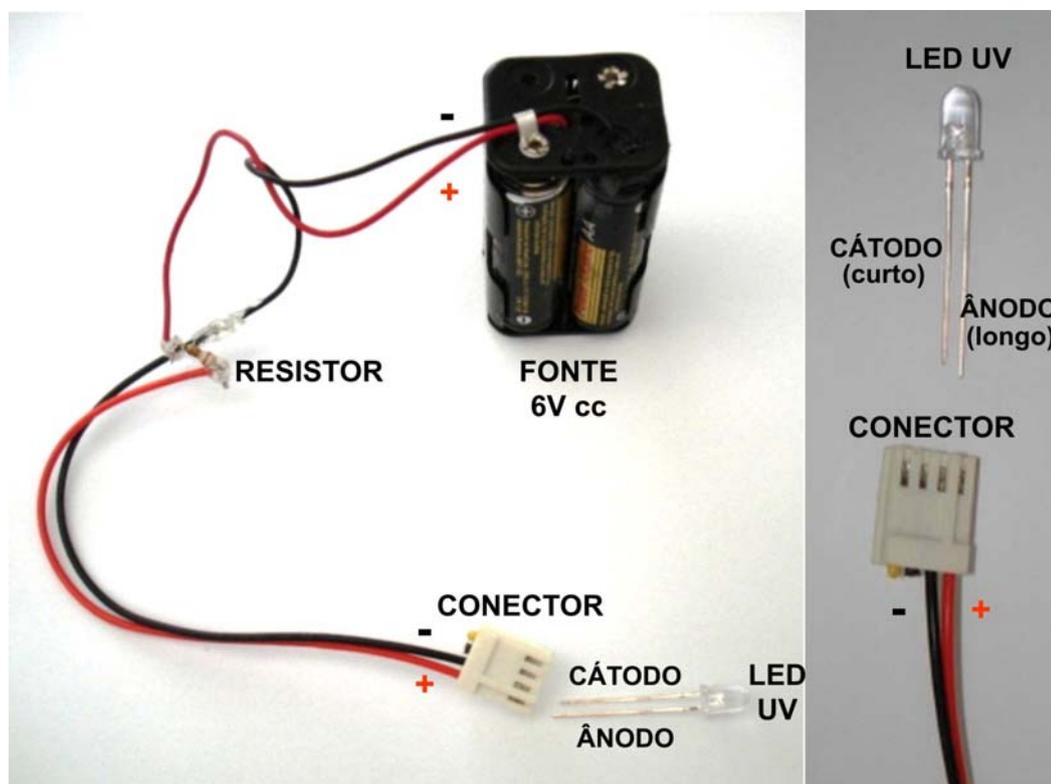
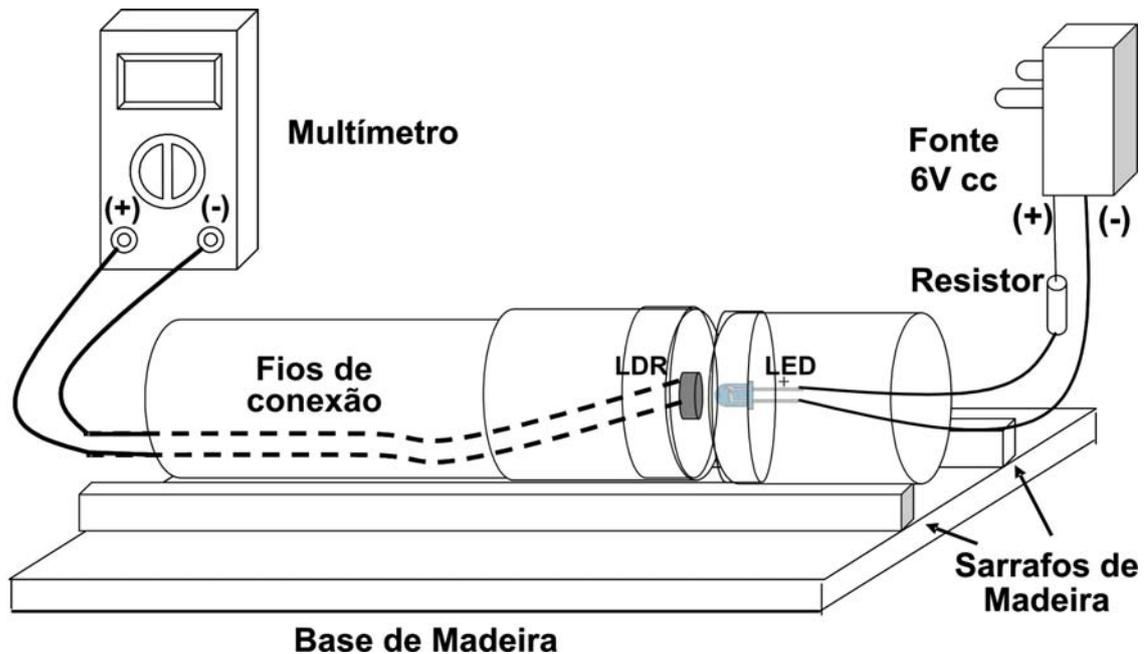


Figura 3.15 - Esquema das conexões elétricas da fonte UV.

**Medidor:**

- Multímetro digital ou analógico.
- Fios elétricos para conexão (os que em geral acompanham o próprio multímetro ou com garras tipo jacaré nas extremidades).

A montagem do “sistema de aquisição de dados” fica conforme as Figuras 3.16 e 3.17.



**Figura 3.16** - Montagem do sistema de aquisição de dados e da fonte com LED UV.

As medidas são tomadas diretamente do valor indicado no display (ou ponteiro) do multímetro. A escolha da faixa de medição no multímetro é feita testando se a faixa selecionada gera registro no aparelho. Nesta montagem a faixa de  $2.000 \Omega$  foi sensível o suficiente. Vale lembrar que o LDR funciona com a seguinte lógica: maior incidência de luz, menor resistência (menor o valor indicado no display). Portanto quanto mais luz for **bloqueada** antes de atingi-lo maior será o valor registrado (maior resistência elétrica).



**Figura 3.17** – Visualização da montagem do sistema de aquisição de dados e da fonte com LED UV.

OBS: Dificilmente as medidas se repetirão. Variáveis como luz espúria do ambiente, aproximação da fonte em relação ao sensor, distribuição e espessura da camada dos produtos sobre o filme, folga entre os tubos, reajuste das posições, oscilações do próprio medidor, etc, fazem com que as medidas tenham uma variação ao se repetir o procedimento. Isto de modo algum irá prejudicar a análise dos resultados pois, como se percebe nos dados obtidos, a diferença que irá caracterizar a eficácia ou não dos filtros solares será muito grande, permitindo alcançar o objetivo principal.

Sugerimos, por exemplo, solicitar aos alunos repetir várias vezes as medições e se obter uma média. Desta forma, os alunos terão oportunidade de vivenciar cálculos estatísticos básicos e a construção de gráficos. Porém, mesmo que apenas uma medida seja tomada, isto já será suficiente para que se chegue aos resultados esperados e as devidas conclusões.

Descrevemos, a título de exemplo, uma série de medidas que fizemos com os “equipamentos” de medição que construímos.

Em um teste inicial, com o LED UV à 1,5 cm de distância (sem envoltório de proteção e sob iluminação ambiente) testou-se o efeito bloqueador sobre a radiação UV dos seguintes cosméticos: base para unha cetim e máscara facial. Ambos apresentaram valores iniciais em torno de 800 ohms. Quando testou-se o protetor solar FPS 30 o valor foi de 1115 ohms! Uma diferença de quase 40%, apesar da

espessura das camadas dos cosméticos serem (propositalmente) comparativamente maiores.

Nas tabelas abaixo são apresentadas duas diferentes medidas para cada ensaio (diferentes produtos cosméticos com consistência, textura e cor similares aos protetores solares) em diferentes distâncias do sensor ao LED UV.

Filme de PVC sem cobertura:

Distanciamento do sensor (cm)	Medida da Resistência (ohm)	
	1ª medição	2ª medição (repetição)
0,0	1007	1030
0,5	1152	1156
1,0	1240	1263
1,5	1347	1375
2,0	1438	1486
2,5	1554	1528
3,0	1663	1690
3,5	1771	1829

Filme de PVC coberto com gel para cabelo:

Distanciamento do sensor (cm)	Medida da Resistência (ohm)	
	1ª medição	2ª medição (após secar)
0,0	1054	1076
0,5	1173	1163
1,0	1263	1265
1,5	1369	1372
2,0	1458	1475
2,5	1578	1599
3,0	1674	1697
3,5	1787	1799

Filme de PVC coberto com creme para pentear o cabelo com “Sol Action UV”:

Distância do sensor (cm)	Medida da Resistência (ohm)	
	1ª medição	2ª medição (repetição)
0,0	1076	1079
0,5	1249	1250
1,0	1433	1440
1,5	1618	1639
2,0	1828	1850

2,5	passou limite da escala	passou limite da escala
-----	-------------------------	-------------------------

Filme de PVC coberto com protetor solar FPS 30:

Distância do sensor (cm)	Medida da Resistência (ohm)	
	1ª medição	2ª medição (repetição)
0,0	1566	1600
0,5	1751	1765
1,0	1927	1930
1,5	passou limite da escala	passou limite da escala

Podemos constatar que os dois produtos testados, apresentados como protetores contra UV (creme de pentear cabelo e protetor solar), apresentaram maior resistência elétrica, indicando que menor quantidade de radiação UV passou pelo filme de PVC. Este efeito é mais evidente com o protetor solar e se torna evidenciado com o creme para pentear cabelo somente quando o sensor está mais distante da fonte (LED). Somente olhando as medições, é possível sugerir que o protetor solar tem um efeito bloqueador mais intenso que o creme de pentear e que o gel para cabelo não apresenta efeito bloqueador, pois os valores das medidas são muito parecidos aos do filme de PVC sem nenhuma cobertura. Cabe salientar que apresentamos aqui os “dados brutos” das medidas, para exemplificar que podemos demonstrar o efeito físico de bloqueadores de UV, sem a necessidade de uma abordagem estatística.

Os bloqueadores vendidos no comércio apresentam diferentes Fatores de Proteção Solar (FPS). Será que realmente os que possuem FPS maiores de fato bloqueiam melhor a RUV? Os dermatologista geralmente recomendam que se utilize os bloqueadores com uma camada “generosa” pois uma camada muito fina pouco protegeria o usuário. Descrevemos na tabela abaixo algumas medidas em que comparamos o efeito bloqueador sobre a radiação UV de filtros solares com diferentes FPS (15 e 30) assim como espalhando uma camada rala de filtro solar ou uma camada espessa. Uma simples inspeção dos valores obtidos mostra que o filtro solar com maior FPS, assim como uma camada espessa, tem um efeito significativo na ação bloqueadora desses produtos sobre a radiação UV.

Comparação entre protetores solares FPS 15 e FPS 30:

Distância do sensor (cm)	Medida da Resistência (ohm)							
	FPS 15				FPS 30			
	Camada rala		Camada espessa		Camada rala		Camada espessa	
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>
0,0	1027	1023	1293	1294	1203	1209	1596	1594
0,5	1122	1117	1513	1522	1286	1288	1698	1701
1,0	1237	1236	1805	1800	1400	1402	1836	1838
1,5	1354	1351	limite	limite	1520	1517	1987	limite
2,0	1477	1477			1643	1642	limite	
2,5	1601	1599			1775	1775		
3,0	1726	1727			1909	1912		
3,5	1867	1866			limite	limite		
4,0	limite	1995						

### Ensaio Adicionais

Os alunos podem questionar que os filtros solares testados poderiam estar bloqueando a passagem da luz em geral, em qualquer comprimento de onda, e não somente, ou principalmente a radiação UV.

O LED utilizado no ensaio acima (LED violeta) emite luz com comprimentos de onda que abrange uma faixa em torno de 400 nm, ou seja ele tem um percentual de radiação na faixa que vai do UV A (invisível) até a região violeta (visível).

Para verificar se o sensor de fato estaria “percebendo” a radiação UV A, pode-se testar LEDs de diferentes cores como verde, amarelo, vermelho... Com LEDs dessas outras cores não se observam diferenças significativas nas medidas quando o filme de PVC é coberto com filtro solar, creme de pentear, gel para cabelo...

## CAPÍTULO 4

### OS SISTEMAS BIOLÓGICOS PRODUZINDO RADIAÇÕES

Luminescência é uma denominação genérica para abranger diversos processos através dos quais átomos e moléculas em estados excitados retornam ao estado fundamental com emissão de fóton.

As aplicações desse fenômeno são muito amplas e cada vez mais presentes no cotidiano de laboratórios e indústrias, em diagnósticos e terapias nas áreas da saúde.

Propomos a seguir algumas atividades experimentais que possibilitam verificar algumas das propriedades básicas dos fenômenos de luminescência.

#### **Atividade experimental 1:**

**Calcita, extrato de carqueja, água tônica, pólen de *Hemerocallis fulva* e pedipalpos da aranha *Cosmophasis umbratica*. Algo em comum?**

Sim, todos eles contêm moléculas que sob estímulo de uma radiação eletromagnética de comprimento de onda adequado liberam energia também sob a forma de radiação eletromagnética que pode ser visível ou não.

Ocuparemos-nos apenas de dois fenômenos semelhantes e comumente confundidos que dependem da absorção de fótons para serem desencadeados: a fluorescência e a fosforescência.

A fluorescência é um fenômeno que tipicamente se manifesta em substâncias orgânicas que geralmente são compostos aromáticos, alifáticos ou alicíclicos contendo carbonila ou ligações duplas altamente conjugadas. A fosforescência, ao contrário, é mais comum em substâncias de origem mineral (inorgânica).

A distinção entre fluorescência e fosforescência, sob o aspecto visual, basicamente se dá pelo critério do tempo de permanência da luminescência após cessar o estímulo (radiação excitadora): a primeira cessa no mesmo instante em que o estímulo é interrompido enquanto que a segunda ainda permanece luminescente por certo tempo. Entretanto nem sempre tais comportamentos são verificados. A ocorrência de fluorescências não tão instantâneas e fosforescências breves levaram a adoção de certos intervalos de tempo (não perceptíveis pela visão humana) para a

distinção dos dois fenômenos: tempos da ordem de  $10^{-8}$  s para a fluorescência e de um microsegundo ( $10^{-6}$  s) até vários minutos para a fosforescência.

Propomos a seguir três diferentes “aparatos” bem úteis para estudar os fenômenos de fluorescência e fosforescência.

### *LANTERNA UV*

É interessante fazer uma exploração do ambiente que nos cerca e verificar que existem muitos elementos fluorescentes e fosforescentes. Um meio simples e econômico de viabilizar isso é montar uma “lanterna UV portátil” (como a descrita no capítulo 3). À noite pode-se inspecionar diversos lugares e objetos da casa (observar armários, geladeira, banheiro, etc), do pátio (se houver cães ou gatos é bastante provável localizar manchas de urina, por exemplo) e talvez algumas surpresas se revelem.

De particular interesse na investigação de campo (como ocorre nas investigações forenses difundidas nos seriados televisivos do tipo CSI - *Crime Scene Investigation – Investigação da Cena do Crime*) é a localização de manchas de sangue, sêmen ou urina, as quais naturalmente fluorescem sob luz ultravioleta. Dependendo da concentração dessas amostras, produtos de afinidade bioquímica são usados a fim de facilitar a localização dos vestígios.

Também sob iluminação UV ficam evidentes: traços de filamentos em cédulas de dinheiro (você tem agora um detector de cédulas falsas!); emblemas na carteira de identidade e de motorista; símbolos e figuras em cartões de crédito. O mesmo fenômeno é visto em alguns papéis brancos (por exemplo, os papéis atuais contêm cola que fluoresce e os de livros antigos, não).

Vale lembrar que sempre deve-se evitar olhar diretamente para o LED ou qualquer outra fonte de iluminação emissora de RUV e que o uso de óculos protetores é aconselhável.

### *VITRINE DE LEDs FOTOINDUTORES*

Para melhor visualização do conjunto e proporcionar uma observação comparativa da ação de diferentes comprimentos de onda pode-se construir uma espécie de vitrine com nichos individualmente iluminados por LEDs de diferentes cores. O aparato apresentado a seguir é uma sugestão e outras configurações similares podem ser produzidas servindo ao mesmo propósito.

**Materiais:**

- Porta-retrato de 19 x 24 cm com vidro, para servir de porta para a caixa.
- Caixa de madeira ou papelão (do tamanho do porta-retrato) com repartições.

Pode ser confeccionada a partir de restos de madeira ou compensado.

- LEDs de alto brilho (5 mm) de diferentes cores: branco, vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, violeta.

- Fios para conexões elétricas.

- Resistor de 27  $\Omega$  e 1/8 de W.

- Fonte de corrente contínua entre 12 e 18 V e saída de 500 mA. Pode ser um adaptador universal em que se pode comutar a voltagem. Geralmente só fornecem até 12 V, mas na prática a saída é em torno de 18 V (isso deve ser confirmado medindo-se com o multímetro).

- Tinta preta.

- Folha de EVA de cor preta (borracha de Etil Vinil Acetato) com 2 mm de espessura (encontrada em papelarias, lojas de artesanato e variedades).

- Frascos transparentes pequenos.

- Solventes: água, álcool, benzeno, etc.

A montagem segue a configuração da Figura 4.1. São feitos furos laterais em cada nicho para encaixar os LEDs. Estes são interligados em série, de modo que o cátodo de um se conecte ao ânodo do outro. Não há uma seqüência de cores a ser seguida. No projeto colocamos o LED branco no topo e distribuimos os outros seis nos demais nichos. O fundo da caixa é feito com a folha de EVA.

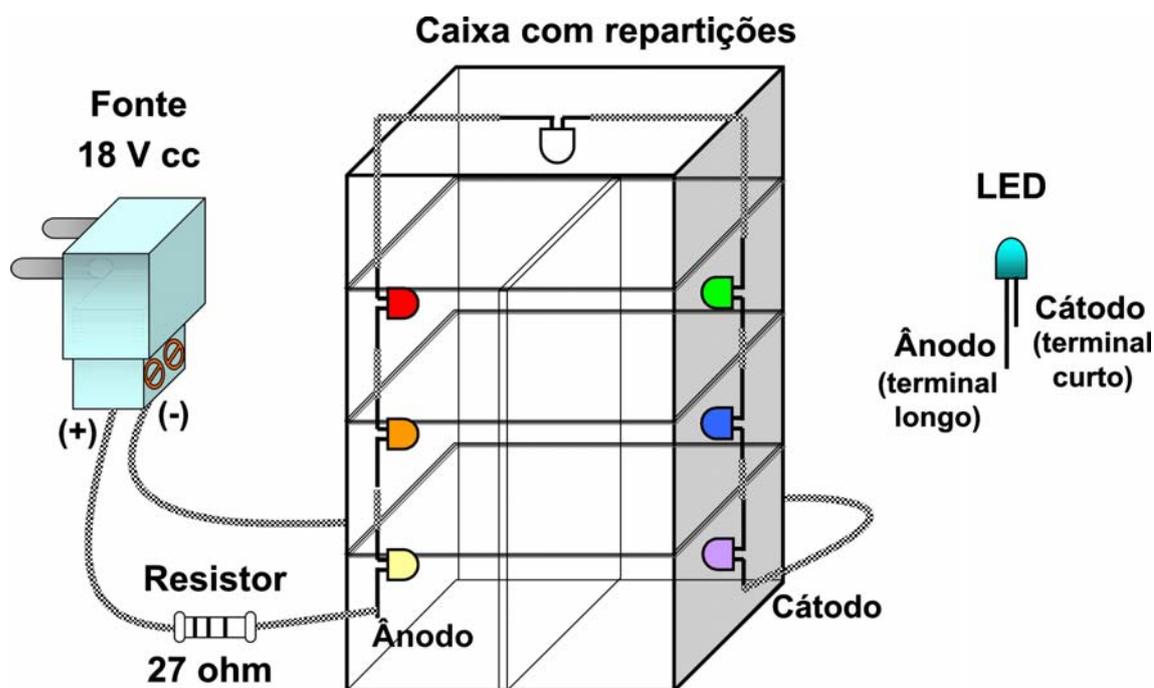


Figura 4.1 - Esquema da montagem e do circuito elétrico da vitrine de LEDs.

#### FOTOINDUTOR UV

Consiste de uma câmara para exposição direta de RUV A sobre as amostras de forma segura. Os efeitos da incidência são visualizados através de uma janela transparente. Esse aparato é útil na comparação da ação da RUV sobre diferentes amostras e objetos, semelhante ao que foi sugerido no uso da “lanterna UV”.

Materiais:

- Pote plástico (tipo pote de sorvete, capacidade de 2 litros).
- Reator eletrônico para lâmpada de 4 a 8 W (nos anexos é descrito como podemos utilizar o reator de uma lâmpada fluorescente compacta “queimada”).
- Lâmpada fluorescente “luz negra” (UV A) de 4 W. Evitar olhar diretamente para a lâmpada durante seu funcionamento. Sempre usar uma barreira de proteção.
- Fios para conexões elétricas.
- Conectores para lâmpada 4 W ou conectores “de sucata” (ver anexo).
- Folha de EVA de cor preta (borracha de Etil Vinil Acetato) com 2 mm de espessura (encontrada em papelarias, lojas de artesanato e variedades).
- Placa de acrílico ou vidro grosso (0,5 x 5 x 10 cm).
- Frascos transparentes pequenos.

Montagem:

Recortar uma janela de 5 x 10 cm no pote plástico e prender a placa de acrílico pela parte interna com fita isolante. Seccionar aberturas para encaixar os conectores nas laterais do pote (ver Figura 4.2). Recortar a folha de EVA de modo a cobrir internamente as laterais e o fundo do pote, conforme mostra a Figura 4.3.



**Figura 4.2** - Disposição dos componentes da caixa de exposição. Os conectores servem como soquete para a lâmpada fluorescente.



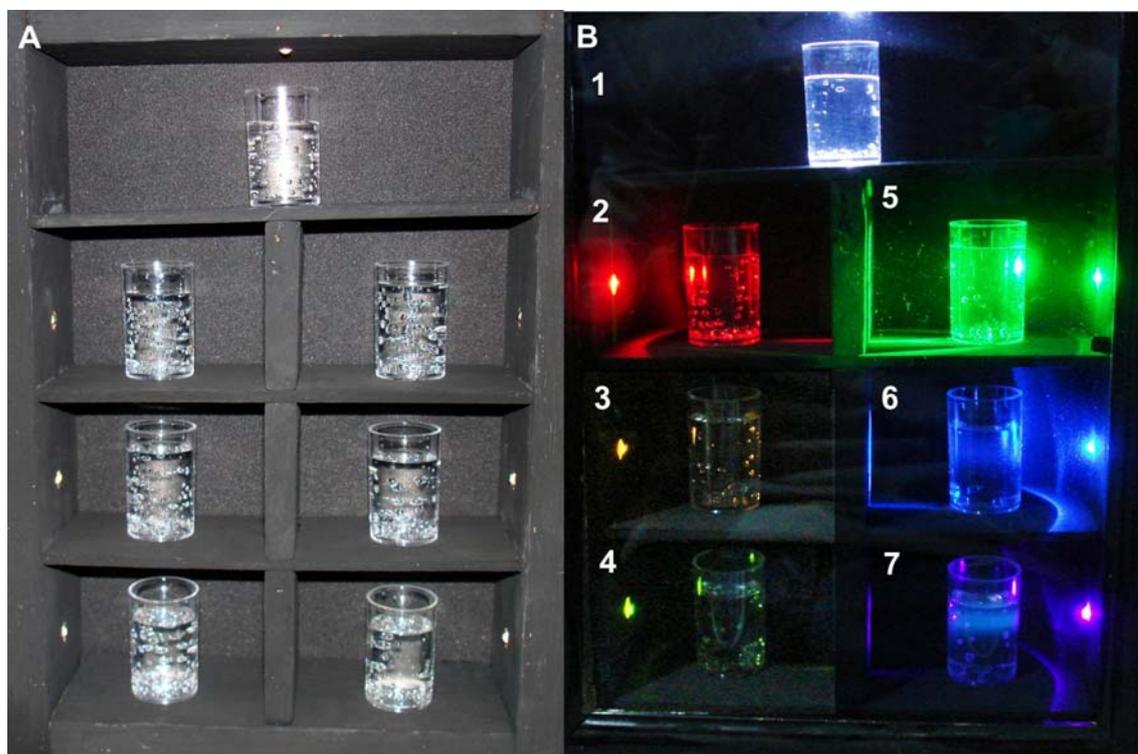
**Figura 4.3** - Montagem da câmara de exposição revestida com EVA e com janela de acrílico.

### Investigando a Fotoluminescência.

O propósito é investigar a luminescência explorando diversas faixas de comprimentos de onda que irão incidir sobre as amostras.

Colocar amostras de algumas substâncias conforme mostram as Figuras 4.4, 4.6 e 4.7. Observar e anotar. Pode-se usar o produto puro, diluído ou dissolvido em solventes (em alguns casos isto será necessário).

Para ilustrar (ver Figura 4.4) usamos água tônica que contém moléculas de quinino (sulfato de quinina) que sabidamente manifestam fluorescência esverdeada sob luz violeta ou UV A. Tal substância também está presente em medicamentos para tratar pacientes com malária.



**Figura 4.4** - Aparência da vitrine de LEDs. A seqüência de cores é: 1) branco, 2) vermelho, 3) laranja, 4) amarelo, 5) verde, 6) azul e 7) violeta. A) Frascos contendo água tônica sob iluminação ambiente. B) Sob iluminação dos LEDs.

Modelo sugerido para coleta de dados das atividades propostas:

Amostra: _____	Cor: _____
Tempo de exposição: _____	Temperatura ambiente: _____

Fonte de Irradiação	Luminesce	
	Sim	Não

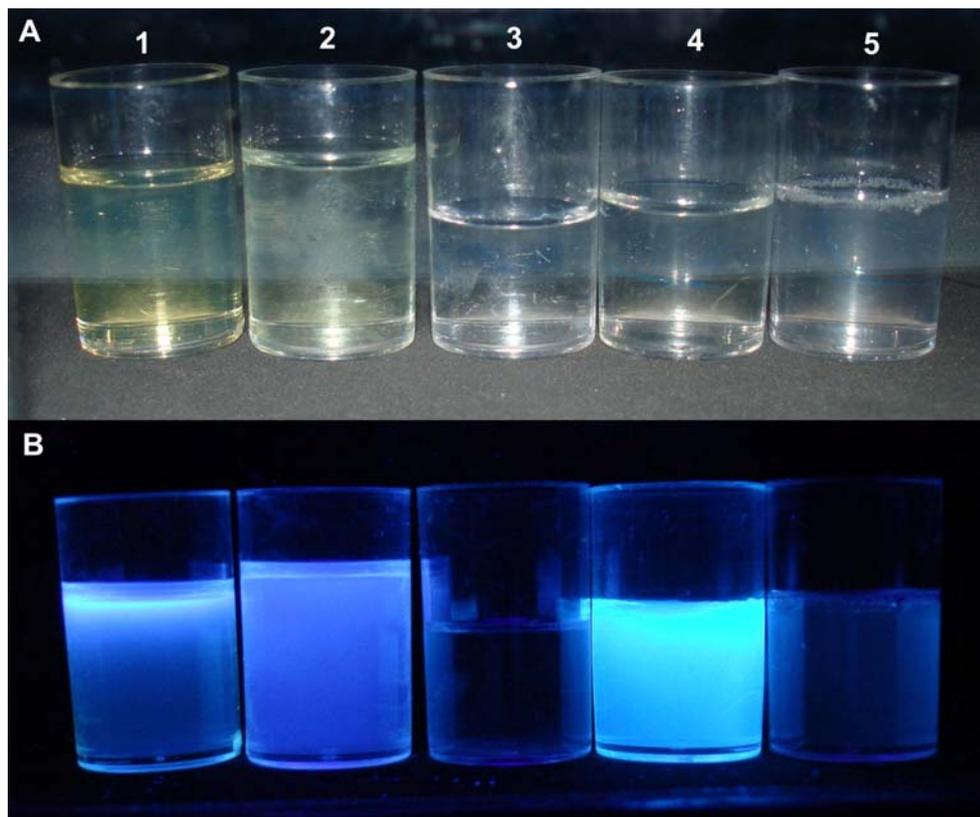
		Cor	Permanece?		
			Sim	Não	
LV	Vermelho				
	Laranja				
	Amarelo				
	Verde				
	Azul				
	Violeta				
UV	A				

**Figura 4.5** - Modelo para acompanhamento das atividades envolvendo luminescência.

Algumas substâncias que podem ser analisadas: gelatina (incolor), eosina, fluoresceína, sulfetos de cálcio, de bário, de zinco (este último encontra-se facilmente em lojas de artigos para artesanato sob forma de pó ou tinta spray), adoçante ciclamato, azeite de oliva, champanhe, vitaminas A e B<sub>12</sub>, óleo mineral, detergente. Vários tipos de rochas, pedras e minerais (calcita, fluorita, apatita) podem ser investigados. Da mesma forma, vários insetos, aracnídeos (como a aranha saltadora *Cosmophasis umbratica*) e partes de plantas (como o pólen de *Mirabilis jalapa* ou de *Hemerocallis fulva* (lírio laranja) ou flores de *Euphorbia phosphorea*). Porém, cabe ressaltar que a fotoluminescência natural não se trata de um fenômeno corriqueiro e conforme a fauna e flora locais a probabilidade de ocorrência é bastante variável. Mas quem sabe se encontrem exemplares que manifestem esta propriedade ainda desconhecidos.

A avaliação dos dados obtidos e a combinação das diferentes substâncias e solventes permitirá aos alunos, entre outros aspectos:

- a) uma distinção gradativa entre as luminescências que se extinguem no mesmo instante que a iluminação (ao que passará a chamar fluorescência) e as que permanecem mesmo após cessada a exposição (ao que se denominará fosforescência);
- b) verificar que alguns comprimentos de ondas (cores) promovem os fenômenos e outros não, ou seja, apenas certos comprimentos de onda são capazes de excitar determinadas moléculas;
- c) verificar o efeito dos diferentes solventes usados nas amostras;
- d) avaliar o efeito da intensidade luminosa sobre as amostras.



**Figura 4.6** - Amostras de substâncias colocadas na câmara de exposição UV: 1) Óleo mineral lubrificante. 2) Vitamina A (usada em tratamento capilar). 3) Adoçante ciclamato. 4) Água tônica. 5) Detergente líquido. A) Sob iluminação ambiente. B) Sob radiação UV A.

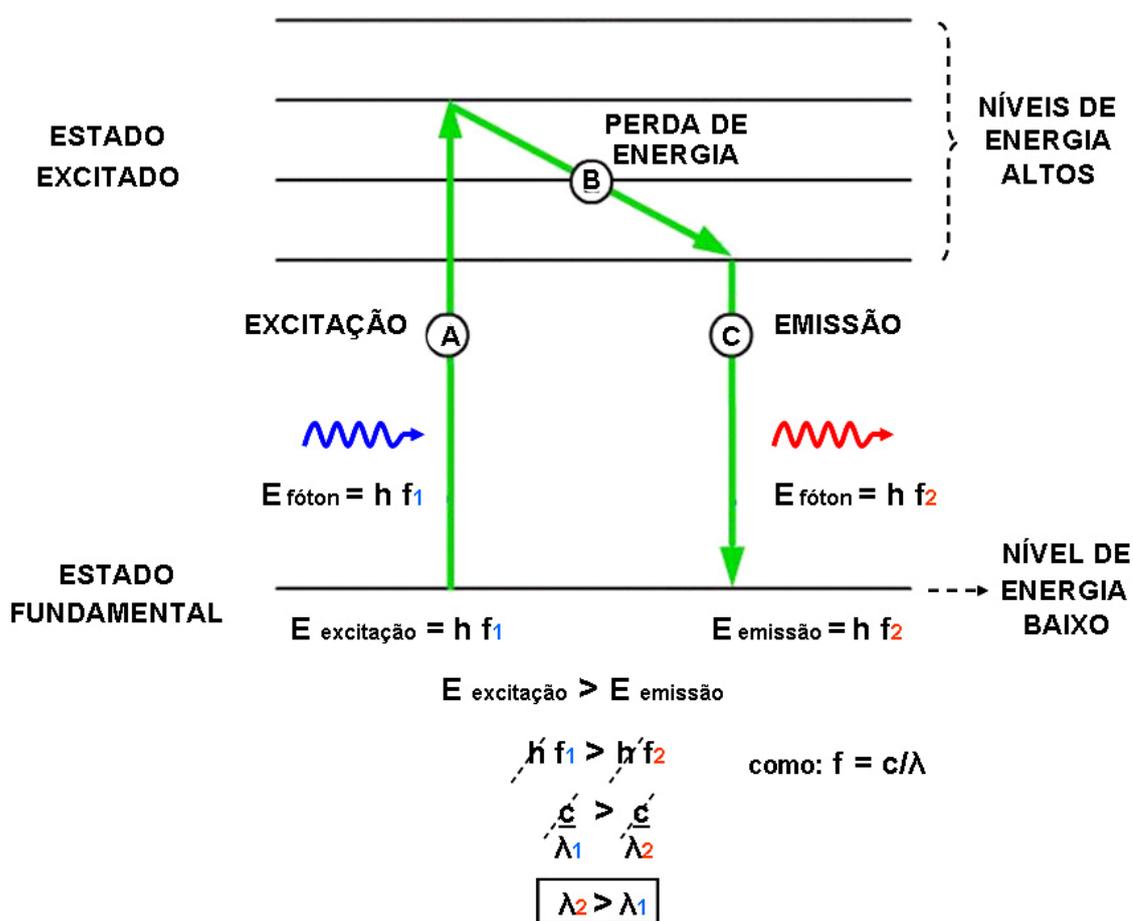


**Figura 4.7** - Amostras de minerais colocadas na câmara UV: 1 e 4) Variedades de calcita. 2 e 5) Variedades de fluorita. 3 e 6) Variedades de apatita. 7) Variedade de ágata. A) Sob iluminação de fluorescente branca. B) Sob radiação UV A.

## DISCUSSÃO

Existem muitas substâncias que contêm moléculas, conhecidas como fluoróforos, que ao serem estimuladas por radiação atingem um estado excitado e re-emitem parte da energia absorvida (durante a desexcitação) também sob a forma de radiação. Em geral isto ocorre com decréscimo de energia o que provoca um intervalo entre o espectro de excitação e de emissão da molécula.

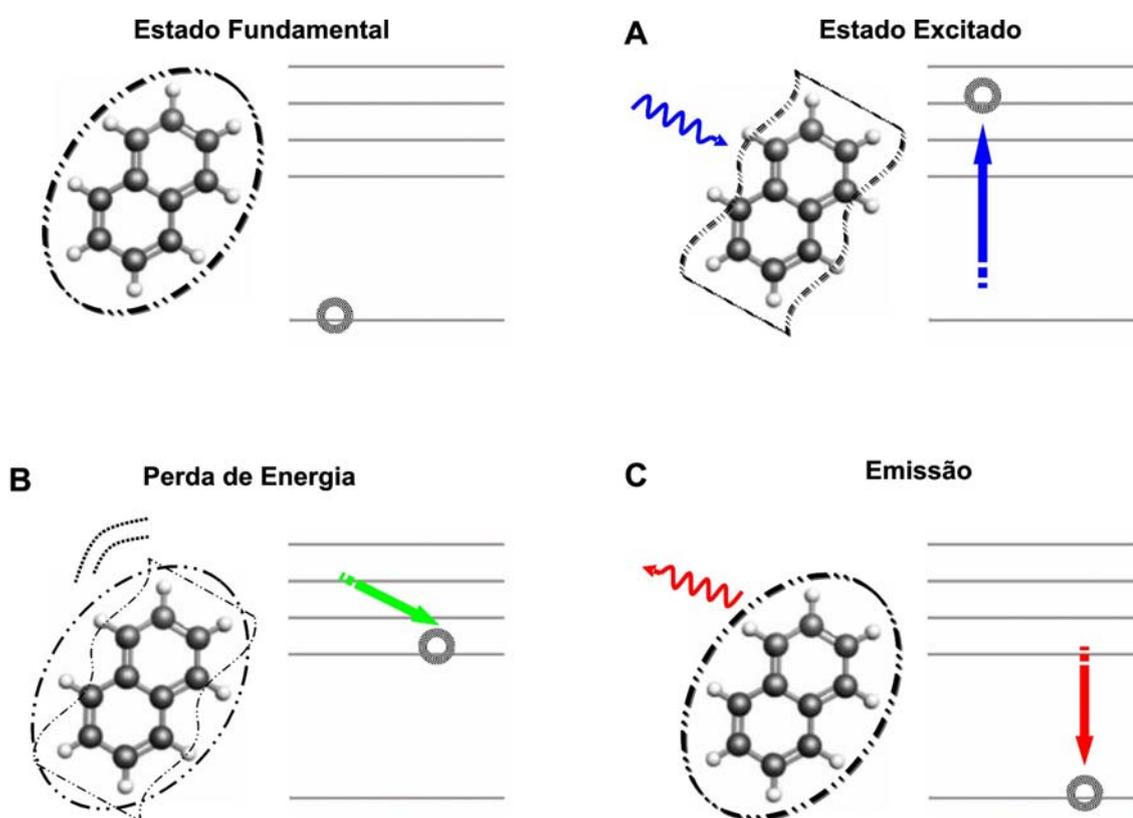
Por este motivo uma molécula que é estimulada na faixa do ultravioleta, fluoresce geralmente na faixa visível do espectro eletromagnético. A seqüência das próximas três figuras mostra três estágios básicos que ocorrem durante a fluorescência de uma molécula. Os estágios **A**, **B** e **C** de cada figura são correspondentes entre si.



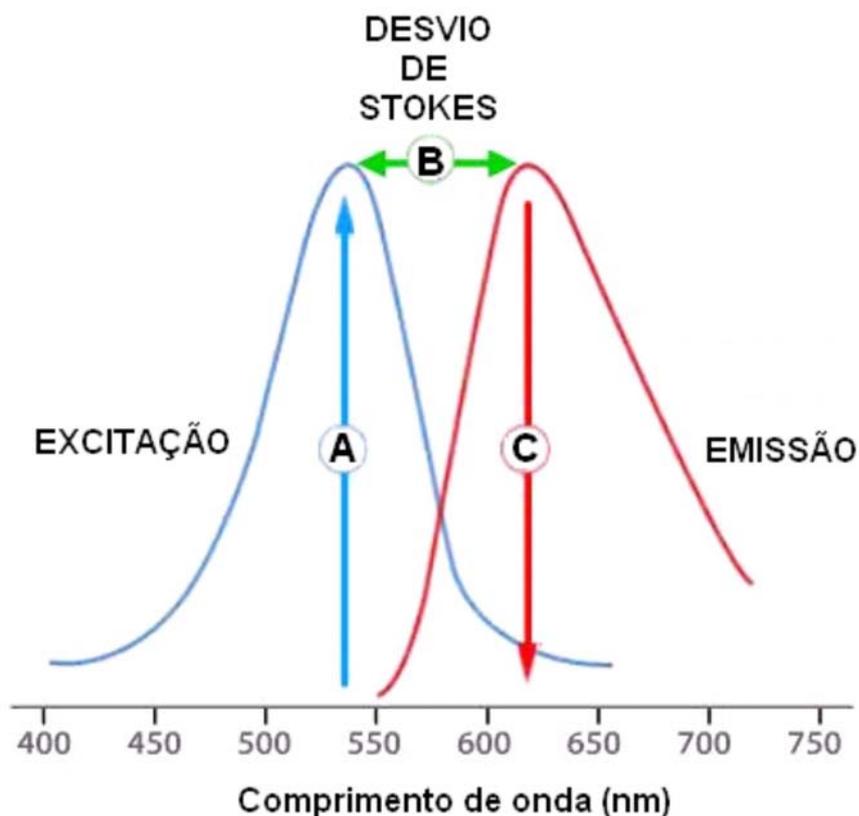
**Figura 4.8** - Esquema de níveis de energia de um fluoróforo e seus estágios. Demonstração de que o comprimento de onda do fóton emitido é maior que o comprimento de onda do fóton excitante.

Uma molécula que tem o nível de energia no seu estado fundamental (“normal”) e recebe o estímulo suficiente (absorção de energia), passa para níveis

energéticos superiores (**A**). Rapidamente decai (**B**) para um estado metaestável (a permanência no estado excitado é de  $10^{-15}$  s (um femtosegundo) a  $10^{-9}$  s (um nanosegundo ou um bilionésimo de segundo)), liberando energia sob forma não-radioativa (energia que pode ser usada em reações químicas ou liberada sob a forma de calor). Este estágio de relaxação conhecido como desvio de Stokes, ocorre porque a molécula fica instável em configurações de elevada energia e acaba indo para o menos energético estado excitado. Ao retornar ao estado fundamental (**C**) a perda de energia se dá pela emissão de um fóton (fluorescência em si) que terá menor energia que o fóton de excitação. Como a frequência é diretamente proporcional à energia, também será menor a frequência da radiação emitida. Já o comprimento de onda da radiação emitida será maior que o da radiação de excitação, pois é inversamente proporcional à energia do fóton.



**Figura 4.9** - Seqüência do processo de fluorescência de um fluoróforo e os respectivos diagramas dos níveis de energia em cada estágio.



**Figura 4.10** - Gráfico para exemplificar o espectro de excitação (A) e de emissão (C) de fluoróforos de uma determinada substância. O intervalo (B) entre os dois espectros corresponde à perda de energia (desvio de Stokes).

Observe que existe uma faixa de excitação (primeira curva da Figura 4.10), pois à medida que se ilumina a substância com diferentes comprimentos de onda, algumas moléculas são excitadas já a partir de 450 nm (curva ascendente). Em 540 nm ocorre o máximo de moléculas excitadas (por isso atinge o “pico” no gráfico). Acima deste valor a excitação também ocorre, mas um número menor de moléculas é excitado (curva descendente). A emissão também se dará distribuída numa faixa de comprimentos de onda (segunda curva da Figura 4.10). As cores emitidas não serão homogêneas, mas no conjunto, a população de moléculas fluoresce mais intensamente a 620 nm.

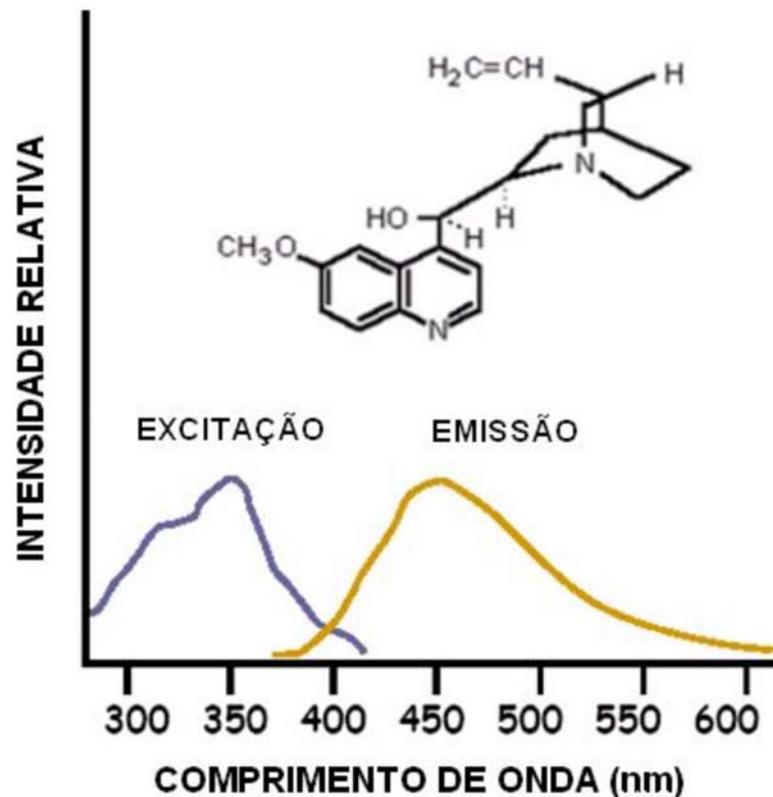


Figura 4.11 - Espectros de excitação e emissão da molécula de quinina.

O processo de fosforescência é muito semelhante. O retorno ao estado fundamental porém, é mais lento, pois neste caso, elétrons ficam retidos numa espécie de armadilha (presença de impurezas ou defeitos na estrutura cristalina) entre os níveis de energia.

Existem tintas e pós que iluminados com infravermelho fluorescem na faixa visível, o que “contraria a regra” de emitir num comprimento de onda maior. Tais processos anti-Stokes são raros.

### Atividade experimental 2:

#### Clorofila fica luminescente?

Se sim, que processo fotoluminescente realiza? Ela fluoresce ou fosforece? Que importância isto tem para a atividade fotossintética das plantas?

Propomos aqui uma atividade simples que permite verificar a capacidade fluorescente da clorofila e discutiremos como esta propriedade está muito

relacionada com a função fisiológica da clorofila que é captar energia luminosa para a fotossíntese.

Materiais:

- Almofariz e pistilo (ou colher e pires ou pratinho de sobremesa e frasco de desodorante com tampa arredondada ou “kit de caipirinha”).
- Água.
- Álcool comercial.
- Detergente.
- Folhas de espinafre ou outra planta.
- Pipeta Pasteur ou conta-gotas.
- LED UV com fonte de corrente contínua ou vitrine de LEDs (Figura 4.4).

Procedimento:

1) Macerar duas ou três folhas de espinafre (ou outra folha verde) em um pouco de água (aproximadamente 3 mL). Transferir o líquido verde para um tubo de ensaio pequeno ou outro vidro pequeno. Posteriormente, macerar duas ou três folhas com 3 mL de álcool comercial e também transferir para outro tubo de ensaio (ou vidro pequeno).

2) Visualizar o material sob a luz de um LED UV. Observar que a solução macerada com álcool fluoresce em vermelho, já na solução macerada com água não há fluorescência. Por quê?

3) Para responder a pergunta acima, podemos continuar o experimento. Acrescente uma gota de detergente na solução macerada com água e inverta o tubo algumas vezes. Visualizar novamente com o LED UV. Agora podemos ver a fluorescência da clorofila.

Por que após a adição do detergente à solução homogeneizada com água torna-se fluorescente? Por que não havia fluorescência previamente?

Para entender este fenômeno devemos lembrar que nas células, a clorofila está imersa nas membranas dos tilacóides, nos cloroplastos. Nesta organela, quando um fóton de luz excita a molécula de clorofila, o elétron excitado é capturado pelos fotossistemas. Estes elétrons fluirão pela cadeia transportadora de elétrons levando à fotofosforilação oxidativa, ou fase clara da fotossíntese. Portanto, com os cloroplastos intactos, a clorofila “excitada” alimentará a fotossíntese. Quando o detergente é adicionado à solução, ocorrerá a lise das membranas do cloroplasto. Neste caso a clorofila ficará livre na solução. Uma vez excitada, um elétron da

molécula da clorofila receberá a energia do fóton e mudará seu orbital. Como este elétron não poderá ser “capturado” pelo fotossistema, já que o cloroplasto foi destruído, este elétron terá de voltar ao seu orbital e para isto terá de liberar a energia recebida na forma de luz, fluorescendo. O mesmo acontece com o macerado de álcool, uma vez que este solvente retira a clorofila da membrana dos tilacóides deixando-a livre na solução.

### **Usando a Vitrine de LEDs**

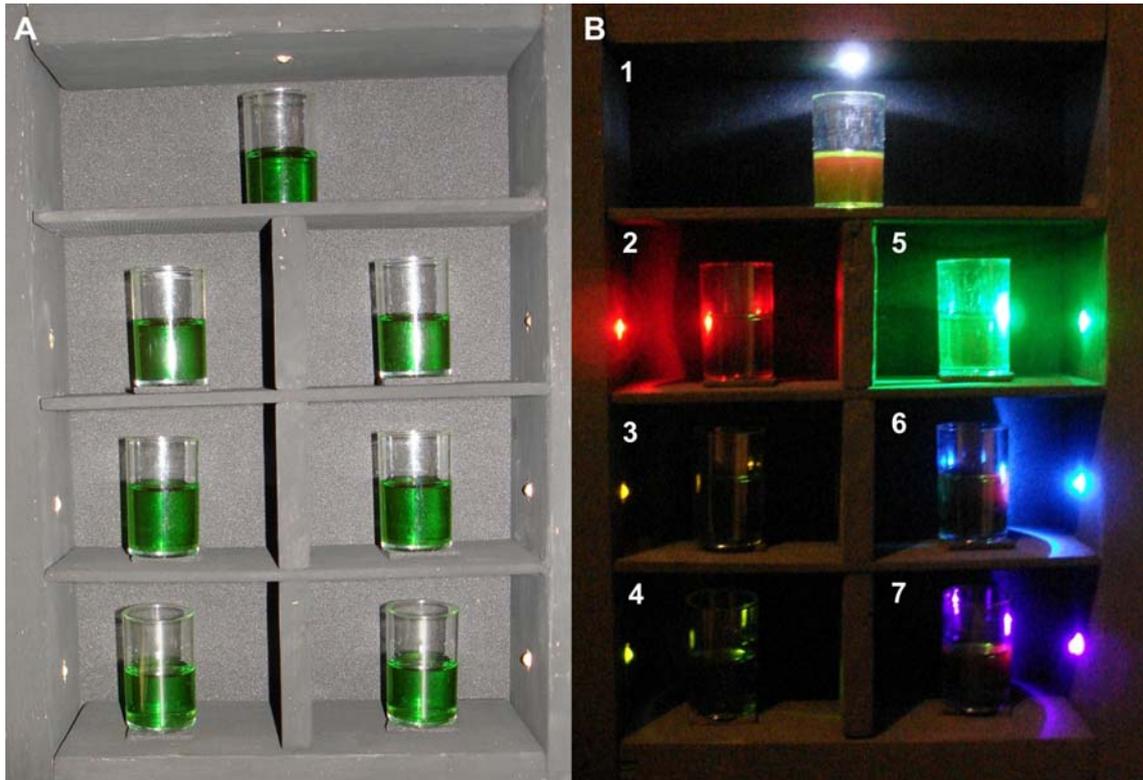
Uma segunda atividade experimental envolvendo a fluorescência da clorofila refere-se a quais comprimentos de onda são capazes de promover a fluorescência desta molécula. Uma boa forma de se responder esta pergunta é empregando a Vitrine de LEDs.

#### **Material:**

- Folhas verdes (de preferência de espinafre).
- Vitrine de LEDs Fotoindutores (descrito no experimento 4.1).
- Almofariz e pistilo (ou colher e pires ou pratinho de sobremesa e frasco de desodorante com tampa arredondada ou “kit de caipirinha”).
- Papel filtro (pode ser filtro de papel para café).
- Álcool comercial.
- Frascos pequenos transparentes.

#### **Procedimento:**

Macerar as folhas verdes em um pouco de álcool (uma ou duas tampinhas). Acrescentar um pouco mais de álcool e filtrar. Distribuir a solução em pequenos frascos e colocar nos nichos da vitrine. Acompanhar a atividade usando o modelo da Figura 4.5.



**Figura 4.12** - Distribuição de frascos contendo clorofila na vitrine de LEDs. A) Com os LEDs desligados. B) Com os LEDs ligados.

Comentário:

Percebe-se pela Figura 4.12 que a luz branca intensa (B1), luz azul (B6) e luz violeta (B7) produziram luminescência. Elas são chamadas de luzes actínicas justamente pela capacidade de promover a fluorescência. Denota-se que dois fatores são relevantes: intensidade da luz e comprimento de onda.

### Atividade experimental 3:

#### Podemos usar a fotoluminescência como instrumento de análise?

Através da fluorescência da clorofila podemos realizar inúmeros estudos referentes à atividade fotossintética. Desta forma transforma-se numa valiosa ferramenta que permite indiretamente avaliar o comportamento e a adaptação das plantas às condições ambientais que as cercam. É possível investigar, por exemplo, os efeitos de fatores ambientais que podem ou não estar favoráveis: temperatura, nutrientes, hidratação, poluentes e o modo como o aparato fotossintético reage às flutuações dos mesmos. Também se obtém dados para o estudo da dinâmica de diferentes níveis funcionais e regulatórios da fotossíntese, tais como: processos ao

nível de pigmento, reações primárias de luz, transporte de elétrons e reações enzimáticas. Tais estudos têm profundas implicações nas questões agrícolas.

### **Intensidade da Fluorescência x Intensidade da Radiação incidente**

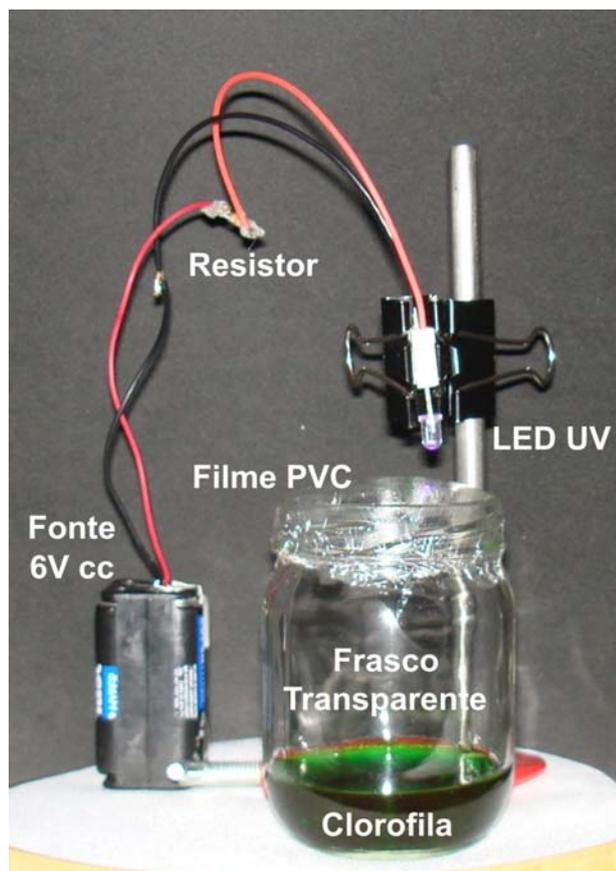
Propomos um meio simplificado do uso da intensidade da fluorescência como indicador da ação bloqueadora da radiação ultravioleta promovida por protetores solares, numa variação do experimento 3.2, onde o “sensor” será a própria solução fluorescente. Tal verificação pode ser feita até visualmente (desde que realizada em ambiente escuro), para caracterizar qualitativamente o fenômeno.

Materiais:

- LED UV com fonte de corrente contínua (Figura 3.15).
- Frasco de vidro transparente de boca larga.
- Extrato alcoólico contendo clorofila (ver extração no experimento 4.2).
- Filme de PVC (usado para proteger alimentos).
- Protetores solares.
- Secador de cabelos.
- Prendedores, grampos e hastes.

Procedimento:

Esticar um pedaço de filme de PVC sobre a boca do frasco. Se necessário firmar com um atilho. Espalhar em metade da superfície do filme uma camada de protetor solar e secar com o secador de cabelo para acelerar a transparência do produto. Submeter cada metade sob a iluminação do LED UV para comparar a intensidade da luminescência. A montagem fica conforme a Figura a seguir.



**Figura 4.13** - Montagem de um sistema simples para comparação da intensidade de fluorescência.

### **Fluorescência x Concentração**

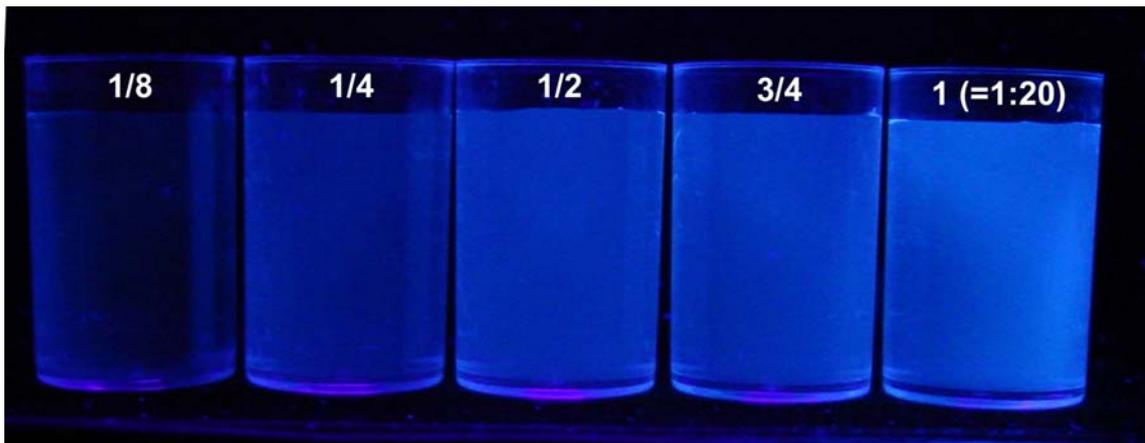
A relação entre a concentração de uma solução fluorescente e a sua fluorescência pode ser percebida pela intensidade desta.

Materiais:

- Água tônica.
- Água destilada (ou de torneira desde que tenha baixo índice de sais dissolvidos).
- Frascos graduados.
- Frascos transparentes pequenos.
- Fotoindutor UV (Figura 4.3).

Procedimento:

Prepara-se uma “solução padrão” colocando 20 mL de água tônica e diluir até 200 mL com água destilada. A partir dessa solução faz-se novas diluições com diferentes proporções (por exemplo, uma parte de solução padrão para oito partes de água = 1/8, uma parte de solução padrão e quatro partes de água = 1/4, etc). Distribuir nos frascos e colocar na câmara de exposição UV.



**Figura 4.14** - Seqüência de diluições sob radiação UV A. As frações indicam a proporção de solução padrão em relação à água.

### **A dissipação da fluorescência (efeito “quenching”)**

Denominamos efeito “quenching” quando algum elemento na solução (o dissipador) interage com moléculas em estado excitado diminuindo a intensidade da fluorescência. Tal fenômeno desempenha importante papel na eficiência fotossintética.

Em geral, consiste num processo não radiativo de transferência de energia. A energia do estado excitado será transferida para outras moléculas ou redistribuída dentro da molécula. Como nem toda energia é “desviada” para este processo, uma parte irá fluorescer. Daí surge um parâmetro muito importante: é a eficiência (ou rendimento) quântica da fluorescência; uma taxa do número de fótons de luz que fluorescem dividido pelo número de fótons absorvidos. Este parâmetro depende muito da interação da molécula em estado excitado e as condições de suas cercanias (pH, temperatura, viscosidade, etc).

Alguns herbicidas atuam alterando o fluxo regular de elétrons na cadeia fotossintética, ou seja, funcionam como “quenchers” que alteram o rendimento fotossintético.

A apreciação visual do efeito “quenching”, realiza-se numa maneira simples e direta de análise qualitativa do fenômeno.

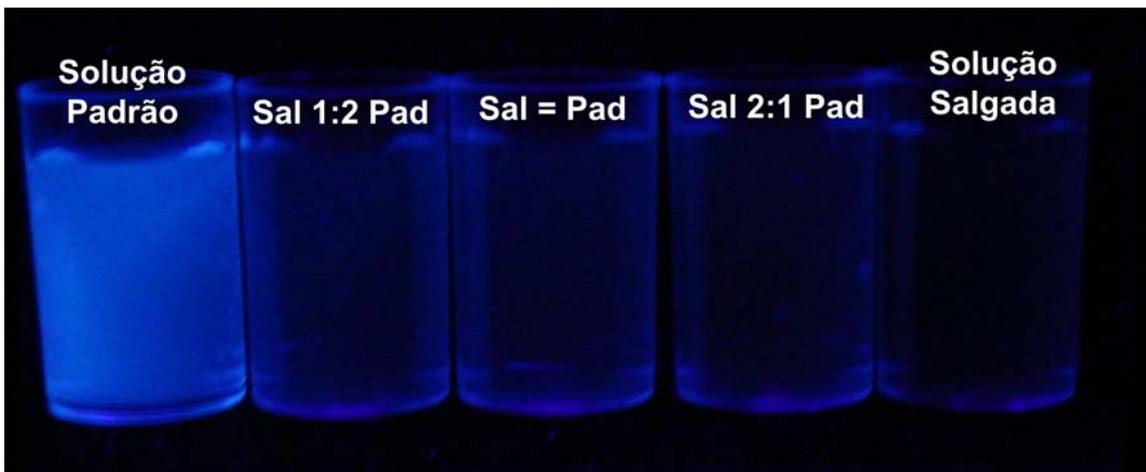
**Materiais:**

- Água tônica (uma garrafinha ou latinha é suficiente).
- Água destilada (ou de torneira desde que tenha baixo índice de sais dissolvidos).

- Sal de cozinha.
- Frascos graduados.
- Frascos transparentes pequenos.
- Fotoindutor UV (Figura 4.3).

Procedimento:

A partir da solução padrão descrita no experimento anterior, separar em duas porções de 100 mL e em uma delas dissolver uma colherinha rasa de sal. Teremos então a solução padrão (de quinina) e a solução salgada (com a mesma concentração de quinina). Prepara-se proporções iguais de cada uma (Sal = Pad); uma parte de solução salgada para duas partes de solução padrão (Sal 1:2 Pad) e duas partes de solução salgada para uma solução padrão (Sal 2:1 Pad). Submete-se as amostras à câmara do fotoindutor UV.



**Figura 4.15** - Visualização do efeito dissipativo da fluorescência.

## ANEXO

### Algumas definições e informações de como obter alguns materiais

**CD (Compact Disc).** Disco compacto.

**LDR (Light Dependence Resistor).** Resistor cuja resistência varia com a intensidade luminosa. Quanto mais luz o atingir, menos resistência à passagem da corrente elétrica ele oferece.

**LED (Light Emission Diode).** Diodo emissor de luz.

**MULTÍMETRO.** Instrumento para medidas de grandezas elétricas, que reúne num só aparelho as funções de voltímetro (medidor da voltagem ou diferença de potencial elétrico), amperímetro (medidor de corrente elétrica) e ohmímetro (medidor de resistência elétrica). Pode ser encontrado no modelo digital (com display ou mostrador de dígitos) ou analógico (com ponteiro sobre uma escala graduada).

**POTENCIÔMETRO.** Dispositivo que permite regular a resistência elétrica e conseqüentemente a intensidade de corrente elétrica que permite passar.

### ABREVIATURAS

**IV.** Infravermelho.

**LV.** Luz Visível.

**RIV.** Radiação Infravermelha.

**RUV.** Radiação Ultravioleta.

**UV.** Ultravioleta.

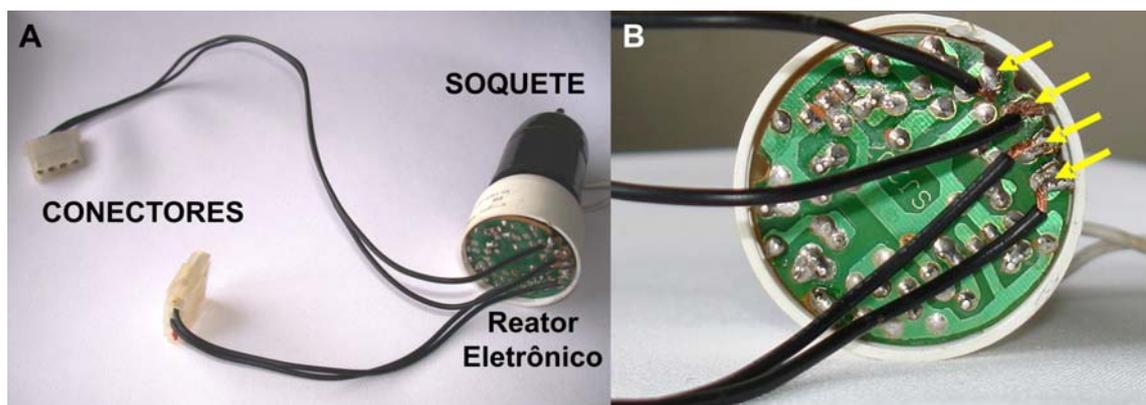
Os componentes eletrônicos podem ser encontrados em lojas do ramo (eletrônicos). Porém é altamente instrutivo e mais barato retirar alguns desses de aparelhos eletro-eletrônicos estragados ou sucateados. Hoje em dia uma boa parte do “lixo” é composta de aparelhos “fora de uso”, quebrados e até mesmo é possível encontrar alguns (rádios, drives de computador, mouses, estabilizadores, CD players, telefones, caixas de som, etc) que apenas estão “ultrapassados” e foram descartados. Tais produtos contêm diversos componentes nos seus circuitos que podem ser aproveitados, bem como peças e partes metálicas e plásticas. Aliás, esta prática é um dos objetivos da nossa proposta: estimular o reaproveitamento de

material que é desperdiçado. A maioria das pessoas não imagina o custo (ou o valor) das inúmeras peças que são jogadas fora. Além de economia, pode-se criar o hábito de reciclar. Uma consequência direta desta prática é o incentivo à criatividade durante as diversas etapas de execução e montagem dos projetos, pois pode-se discutir a adequação de cada parte em termos do tipo de material, forma, cor, tamanho, etc, ou seja, são ponderados aspectos relativos à arquitetura, ao design e à engenharia os quais geralmente são ignorados quando se recebe ou trabalha com tudo pronto e acabado.

### **Aproveitamento do reator eletrônico de uma lâmpada fluorescente compacta “queimada”.**

Na base de uma lâmpada fluorescente compacta existe um reator eletrônico incorporado. Desacoplando cuidadosamente a parte que contém os bulbos de vidro da base da lâmpada (são firmemente encaixadas) ficará exposto o circuito e os componentes eletrônicos do reator.

Para aproveitar este dispositivo para ligar pequenas lâmpadas fluorescentes tubulares (como a utilizada no fotoindutor UV construído no capítulo 4) soldam-se fios de conectores na placa do circuito nos pontos onde os tubos da fluorescente estavam conectados como indica a Figura 1. Não esquecer de tapar e isolar o circuito.



**Figura 1** - A) Conectores ligados ao reator eletrônico de uma lâmpada fluorescente compacta. B) As setas indicam os pontos de soldagem dos fios dos conectores no circuito do reator.

Os conectores sugeridos são os utilizados para conectar o disco rígido (HD) de computadores e podem ser encontrados em lojas de artigos para informática, papelarias ou até em sucatas.

## BIBLIOGRAFIA

AHLBOM, A. *et al.* Epidemiology of Health Effects of Radiofrequency Exposure. **Environmental Medicine**, n. 112, p. 1741-1754, 2004.

BARBOZA, A. C. R. N. *et al.* Aquecimento em Forno de Microondas: Desenvolvimento de Alguns Conceitos Fundamentais. **Química Nova**, v. 24, n. 6, p. 901-904, 2001.

BRAGA, N. C. **Curso Prático de Eletrônica**. São Paulo: Saber, 1995.

CARVALHO, R. P. **Microondas**. São Paulo: Livraria da Física - Sociedade Brasileira de Física, 2005.

CATELLI, F.; PEZZINI, S. Laboratório Caseiro: Observando Espectros Luminosos - Espectroscópio Portátil. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. 2, p. 264-269, 2002.

CATUNDA, M. G.; FREITAS, S. P.; OLIVEIRA, J. G.; SILVA, C. M. M. Efeitos de Herbicidas na Atividade Fotossintética e no Crescimento de Abacaxi. **Planta Daninha**. Viçosa-MG, v. 23, n. 1, p. 115-121, 2005.

COELHO, F. A. S. Fármacos e Quiralidade. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**, n. 3, 2001.

DEMTRÖDER, W. **Atoms, Molecules and Photons**. Berlin: Springer, 2006.

FILGUEIRAS, C. A.L. A Espectroscopia e a Química - da Descoberta de Novos Elementos ao Limiar da Teoria Quântica. **Química Nova na Escola**, n. 3, 1996.

JABLONSKI, N. G.; CHAPLIN, G. Todas as Cores da Pele. **Scientific American Brasil**. São Paulo, a. 1, n. 6, p. 64-71, 2002.

LANE, N. Uma Nova Luz na Medicina. **Scientific American Brasil**. São Paulo, a. 1, n. 9, p. 42-49, 2003.

LEMA, M. A.; ALJINOVIC, E. M.; LOZANO, M. E. Using a Homemade Spectrophotometer in Teaching Biosciences. **Biochemistry and Molecular Biology Education**, v. 30, n. 2, p. 106-110, 2002.

LORETO, E. L. S.; SEPEL, L. M. N. **Atividades Experimentais e Didáticas de Biologia Molecular e Celular**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Genética, 2003.

MAGNO, W. C.; MONTARROYOS, E. Decodificando o Controle Remoto com a Placa de Som do PC. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, n. 4, 2002.

MOSELEY, H. **Non-ionising Radiation: Microwaves, Ultraviolet and Laser Radiation**. Bristol: Adam Hilger, 1988.

NEUMANN, M. G.; QUINA, F. H. A Fotoquímica no Brasil. **Química Nova**, v. 25, supl. 1, p. 34-38, 2002.

OKUNO, E.; CALDAS, L. I.; CHOW, C. **Física para Ciências Biológicas e Biomédicas**. São Paulo: Harbra, 1986.

OKUNO, E.; VILELA, M. A. C. **Radiação Ultravioleta: Características e Efeitos**. São Paulo: Livraria da Física - Sociedade Brasileira de Física, 2005.

PARKER, E. N. Um Escudo Contra Raios Cósmicos. **Scientific American Brasil**. São Paulo, a. 4, n. 47, p. 74-81, 2006.

PHILLIPS, R. **Sources and Applications of Ultraviolet Radiation**. Londres: Academic Press, 1983.

PILLI, R. A. Catálise Assimétrica e o Prêmio Nobel 2001. **Química Nova na Escola**, n. 14, 2001.

RIVAL, M. **Os Grandes Experimentos Científicos**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1997.

ROSINI, F.; NASCENTES, C. C.; NÓBREGA, J. A. Experimentos Didáticos Envolvendo Radiação Microondas. **Química Nova**, v. 27, n. 6, p. 1012-1015, 2004.

ROYER, C. A. Approaches to Teaching Fluorescence Spectroscopy. **Biophysical Journal** - Teaching Biophysics, v. 68, p.1191-1195, 1995.

SANSEVERINO, A. M. Microondas em Síntese Orgânica. **Química Nova**, v. 25, n. 4, p. 660-667, 2002.

SCHULTZ, A. R. **Estudo Prático da Botânica Geral**. Porto Alegre: Globo, 1968.

SERWAY, R. A. **Física Moderna, Relatividade, Física Atômica e Nuclear**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, v.4, 1996.

TAVOLARO, C. R. C.; CAVALCANTE, M. A. **Física Moderna Experimental**. São Paulo: Manole, 2003.

VIEIRA, C. O. F.; VIEIRA, N. B. P.; SILVA, W. M. V. **Iniciação à Ciência**. Cadernos MEC. Rio de Janeiro: FENAME, 1968.

ZARE, R. N.; SPENCER, B. H.; SPRINGER, D. S.; JACOBSON, M. P. **Laser - Experiments for Beginners**. Califórnia: University Science Books, 1995.

Eletrosmog: Será assim tão perigoso? **Revista Elektor eletrônica & microinformática**. Barueri, a. 4, n. 49, p. 18-23, 2006.

Internet:

ACOT, P. A **Dupla Revolução da Dupla Hélice**. Disponível em: URL: [http://coralx.ufsm.br/reciam/downloads/pascal\\_acot\\_\\_traducao.doc](http://coralx.ufsm.br/reciam/downloads/pascal_acot__traducao.doc); acessado em 24/05/2007.

ADUR, J. F. **Radiaciones no Ionizantes: Microondas**. Disponível em: URL: [www.bioingenieria.edu.ar/academica/catedras/radiaciones/tema4.pdf](http://www.bioingenieria.edu.ar/academica/catedras/radiaciones/tema4.pdf); acessado em 22/09/2006.

ADUR, J. F. **Radiaciones no Ionizantes: Radiacion Infrarroja**. Disponível em: URL: [www.bioingenieria.edu.ar/academica/catedras/radiaciones/tema5.pdf](http://www.bioingenieria.edu.ar/academica/catedras/radiaciones/tema5.pdf); acessado em 09/03/2007.

Agência USP de Notícias. **USP de São Carlos cria dispositivo para tratamento de câncer de pele**. Disponível em: URL: <http://www.usp.br/agen/bols/extras/2003/extra0034.htm>; acessado em 30/05/2006.

ALMEIDA, D. F. **Estrutura do DNA: 50 Anos de uma Revolução**. Ciência Hoje Online, n. 192, 2003. Disponível em: URL: <http://cienciahoje.uol.com.br/811>; acessado em 23/05/2007.

BOSCHETTI, C. **Detectores de Infravermelho: Princípios e Caracterização**. Disponível em: URL: <http://www.las.inpe.br/~cesar/Infrared/detectores.htm>; acessado em 22/06/2006.

BROCKINGTON, G.; SOUSA, W. B.; UETA, N. **Física Moderna e Contemporânea**. Disponível em: URL: [www.scite.pro.br/tudo/pdf.php?\\_modulo6](http://www.scite.pro.br/tudo/pdf.php?_modulo6); acessado em 13/04/2007.

CAMPOSTRINI, E. **Fluorescência da Clorofila a: considerações teóricas e aplicações práticas**. Disponível em: URL: [www.uenf.br/Uenf/Downloads/CENTRO\\_CCTA\\_1629\\_1112121492.pdf](http://www.uenf.br/Uenf/Downloads/CENTRO_CCTA_1629_1112121492.pdf); acessado em 19/08/2006.

CARVALHO, P.; SÉRGIO, P.; ROSA F<sup>o</sup>. B. J. **Radiação Infravermelha**. Disponível em: URL: [http://www.wgate.com.br/fisioweb/bases\\_eletro.asp](http://www.wgate.com.br/fisioweb/bases_eletro.asp); acessado em 20/11/2006.

CoolCosmos - NASA. **Herschel Infrared Experiment**. Disponível em: URL: [http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic\\_classroom/classroom\\_activities/herschel\\_experiment2.html](http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic_classroom/classroom_activities/herschel_experiment2.html); acessado em 13/09/2006.

ChemSource - Instructional Resources for Preservice and Inservice Chemistry Teachers. **Photochemistry**. Disponível em: URL: [http://dwb4.unl.edu/chem\\_source\\_pdf/ChemSource.html](http://dwb4.unl.edu/chem_source_pdf/ChemSource.html); acessado em 20/02/2007.

Department of Geology and Geophysics - University of Wisconsin-Madison. **Fluorescent Rocks**. Disponível em: URL: <http://www.geology.wisc.edu/~museum/old/fluorocks.html>; acessado em 06/10/2006.

Departamento de Bioquímica, USP. **Bioquímica da Beleza**: curso de verão 2005. São Paulo, 2005. Disponível em: URL: [www.sbbq.org.br/revista/mtdidaticos/bioq\\_beleza.pdf](http://www.sbbq.org.br/revista/mtdidaticos/bioq_beleza.pdf); acessado em 04/08/2006.

ELBERN, A. **Radiações Não-Ionizantes: Conceitos, Riscos e Normas**. Curso de Engenharia de Segurança do Trabalho. Disponível em: URL: [www.prorad.com.br/pro/rni.pdf](http://www.prorad.com.br/pro/rni.pdf); acessado em 09/03/2007.

Enciclopédia de Salud y Seguridad en el Trabajo. **Radiaciones no ionizantes**. Disponível em: URL: [www.mtas.es/insht/EncOIT/pdf/tomo2/49.pdf](http://www.mtas.es/insht/EncOIT/pdf/tomo2/49.pdf); acessado em 09/03/2007.

**Enxergando Infravermelho com uma câmera digital**. Disponível em: URL: <http://www.gluon.com.br/blog/2006/08/23/control-remoto-camera-digital/>

Escola Paulista de Medicina – UFSP. **Interações das Radiações Ionizantes**. Disponível em: URL: [cfhr.epm.br/download/aulas/posgrad/interacoes\\_radiacao.pdf](http://cfhr.epm.br/download/aulas/posgrad/interacoes_radiacao.pdf); acessado em 05/04/2007.

Escola Superior de Educação de Viseu. **LED - Diodo Emissor de Luz**. Disponível em: URL:

www.esev.ipv.pt/tear/Recursos/Hits.ASP?URL=28%2FLED+%96+D%EDodo+Emissor+de+Luz.ppt%26CodRecurso%3D174; acessado em 20/08/2006.

Exploratorium - Science Snacks: **Rotating Light**. Disponível em: URL: [www.exploratorium.edu/snacks/rotating\\_light.html](http://www.exploratorium.edu/snacks/rotating_light.html); acessado em 20/12/2006.

FRACHEBOUD, Y. **Using Chlorophyll Fluorescence to Study Photosynthesis**. Disponível em: URL: <http://www.ab.ipw.agrl.ethz.ch/~yfracheb/flex.htm>; acessado em 19/08/2006.

GARCIA, A, R.; CAVACO, I. **Métodos Instrumentais de Análise**. Disponível em: URL: [w3.ualg.pt/~argarcia/MIA/ProtocolosMI0405.doc](http://w3.ualg.pt/~argarcia/MIA/ProtocolosMI0405.doc); acessado em 27/02/2007.

Grupo de Ensino de Física. Universidade Federal de Santa Maria. **Discos Compactos**. Disponível em: URL: <http://www.ufsm.br/gef/Cd.htm>; acessado em 07/09/2006.

HELMENSTINE, A. M. **What Materials Glow Under a Black or Ultraviolet Light?** Disponível em: URL: <http://chemistry.about.com/cs/howthingswork/f/blblacklight.htm>; acessado em 06/10/2006.

HERNÁNDEZ, A. Página pessoal sobre iniciação à Astronomia criada em agosto de 2002. Taller de Astronomia: Actividad nº 4: **Analiza la luz con tu espectroscopio casero**. Disponível em: URL: <http://eureka.ya.com/astronomia76/ta4.html>; acessado em 21/08/2006.

INMETRO. **Óculos de Sol**. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/oculos2.asp>; acessado em 23/11/2006.

INMETRO. **Protetor Solar**. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/protetorsolar.asp>; acessado em 23/11/2006.

Instituto de Química – USP. **Fluorescência Molecular**. Disponível em: URL: [www.iq.usp.br/disciplinas/qfl/qfl0238/aula-luminescencia.pdf](http://www.iq.usp.br/disciplinas/qfl/qfl0238/aula-luminescencia.pdf); acessado em 28/08/2006.

Instituto de Química – USP. **Química Orgânica: Técnicas e Experimentos Selecionados**. 2007. Disponível em: URL: [www.iq.usp.br/wwwdocentes/jvcomass/qfl0314/apostila.pdf](http://www.iq.usp.br/wwwdocentes/jvcomass/qfl0314/apostila.pdf); acessado em 06/04/2007.

Invitrogen™. **Fluorescence Tutorials**. Disponível em: URL: <http://probes.invitrogen.com/resources/education/>; acessado em 10/10/2006.

IPEN - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. **Interação da Radiação com a Matéria**. Disponível em: URL: [http://ipen.br/ensino/graduacao/IPN020/interacao\\_da\\_radiacao\\_com\\_a\\_materia.ppt](http://ipen.br/ensino/graduacao/IPN020/interacao_da_radiacao_com_a_materia.ppt); acessado em 02/04/2006.

LENZ, G. **Métodos Fotométricos**. Disponível em: URL: [www.ufrgs.br/biofis/Bio10003/Metfoto.pdf](http://www.ufrgs.br/biofis/Bio10003/Metfoto.pdf); acessado em 28/02/2006.

Leybold Didactic - Physics Leaflets. **Rotation of the plane of polarization with sugar solutions**. Disponível em: URL: [http://www.leybold-didactic.de/literatur/hb/e/p5/p5432\\_e.pdf](http://www.leybold-didactic.de/literatur/hb/e/p5/p5432_e.pdf); acessado em 20/01/2007.

MARKOV, M. **Thermal versus Nonthermal Mechanisms of Interactions Between Electromagnetic Fields and Biological Systems**. Disponível em: URL: <http://www.springerlink.com/content/p5287w5252465280/fulltext.pdf>; acessado em 03/04/2007.

MELO, J. S. S.. **Moléculas com história foto(química)**. Disponível em: URL: [www.spq.pt/boletim/docs/boletimSPQ\\_100\\_057\\_28.pdf](http://www.spq.pt/boletim/docs/boletimSPQ_100_057_28.pdf); acessado em 27/02/2007.

MELO, J. S. S. de; MELO M. J.; CLARO, A. **As Moléculas da cor na Arte e na Natureza.** Disponível em: URL: [www.spq.pt/boletim/docs/boletimSPQ\\_101\\_044\\_09.pdf](http://www.spq.pt/boletim/docs/boletimSPQ_101_044_09.pdf); acessado em 05/02/2007.

**Minerales Fluorescentes.** Disponível em: URL: [http://usuarios.lycos.es/mineral/tablas/m\\_fluorescentes.php](http://usuarios.lycos.es/mineral/tablas/m_fluorescentes.php); acessado em 23/10/2006.

Natural Sunscreens: **How do plants and animals protect themselves from sunburn?** Disponível em: URL: <http://www.science-projects.com/Sunscreen.htm>; acessado em 13/12/2006.

NETTO, L. F. **Entendendo a Radiação Invisível.** Disponível em: URL: [http://www.feiradeciencias.com.br/sala08/ET\\_01.asp](http://www.feiradeciencias.com.br/sala08/ET_01.asp); acessado em 26/10/2006.

NETTO, L. F. **Fotoluminescência.** Disponível em: URL: <http://www.feiradeciencias.com.br/sala19/texto75.asp>; acessado em 27/09/2006.

Newton's Apple - Twin Cities Public Television. Teacher Guide: **Infrared Light.** Disponível em: URL: <http://www.newtonsapple.tv/TeacherGuide.php?id=1165#overview>; acessado em 11/09/2006.

Notebook 'E': **Optics Lecture Demonstrations.** Disponível em: URL: [www.mip.berkeley.edu/physics/pdfs/'E'handout.pdf](http://www.mip.berkeley.edu/physics/pdfs/'E'handout.pdf); acessado em 20/01/2007.

NOUAILHETAS, Y.; ALMEIDA, C. E. B.; PESTANA, S. **Radiações Ionizantes e a Vida.** Apostila Educativa da Comissão Nacional de Energia Nuclear. Disponível em: URL: [www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/rad\\_ion.pdf](http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/rad_ion.pdf); acessado em 13/04/2007.

NUARA, M.; McLENDON-KENT, R. **Fluorescence of Chlorophyll.** Disponível em: URL: [http://qsad.bu.edu/curriculum/labs/Chloro3\\_1.html](http://qsad.bu.edu/curriculum/labs/Chloro3_1.html); acessado em 22/08/2006.

**Optical Activity Laboratory.** Disponível em: URL: [jade6.truman.edu/~patter/organic/procedures/optical-activity.pdf](http://jade6.truman.edu/~patter/organic/procedures/optical-activity.pdf); acessado em 01/01/2007.

Pesquisa FAPESP Especial. **Dupla Hélice 50 Anos.** Disponível em: URL: [www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=112&bd=999&pg=1&lg=](http://www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=112&bd=999&pg=1&lg=); acessado em 23/05/2007.

**Polarizadores em la Vida Cotidiana.** Disponível em: URL: [http://www.jpimentel.com/ciencias\\_experimentales/pagwebciencias/pagweb/Los\\_talles\\_de\\_ciencias/optica/Exp\\_optica\\_polarizadores.htm](http://www.jpimentel.com/ciencias_experimentales/pagwebciencias/pagweb/Los_talles_de_ciencias/optica/Exp_optica_polarizadores.htm); acessado em 23/10/2006.

PRAHL, S. **Optical Absorption of Hemoglobin.** Disponível em: URL: <http://omlc.ogi.edu/spectra/hemoglobin/index.html>; acessado em 26/11/2006.

PRAHL, Scott. Structure of Heme. Disponível em: URL: <http://omlc.ogi.edu/spectra/hemoglobin/hemestruct/index.html>; acessado em 26/11/2006.

REINACH, F. **Por que a Vida é de Esquerda?** Artigo publicado em O Estado de São Paulo em 19/07/2006. Disponível em: URL: <http://www.reinach.com/Estado/index-estado.htm>; acessado em 25/02/2007.

SANSOSTI, Tanya M. **LED's as Light Detectors.** Disponível em: URL: <http://laser.physics.sunysb.edu/~tanya/report2/>; acessado em 22/09/2006.

**Separaciones quirales y enantiomerismo.** Disponível em: URL: [www.tesisenxarxa.net/TESIS\\_UAB/AVAILABLE/TDX-0406103-215825//ivm05de14.pdf](http://www.tesisenxarxa.net/TESIS_UAB/AVAILABLE/TDX-0406103-215825//ivm05de14.pdf); acessado em 09/03/2007.

SOUSA, A. S.; CARVALHO, P. S. **Utilização de Sensores no Ensino das Ciências.** Disponível em: URL: [www.ciencias-exp-no-sec.org/documentos/acompanhamento\\_porto\\_utilizacao\\_sensores.pdf](http://www.ciencias-exp-no-sec.org/documentos/acompanhamento_porto_utilizacao_sensores.pdf); acessado em 15/05/2006.

SOUZA, U. L.; PEREIRA, T. R. **Fotodiodos e Fototransistores**. Disponível em:  
URL: [www.eletrica.ufpr.br/piazza/materiais/Uilian&Thiago.pdf](http://www.eletrica.ufpr.br/piazza/materiais/Uilian&Thiago.pdf); acessado em  
18/08/2006.

STAPLETON, A. E.; WALBOT, V. **Anthocyanins protect DNA from UV damage**.  
Disponível em: URL: <http://www.agron.missouri.edu/mnl/66/169stapleton.html>;  
acessado em 13/12/2006.

Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy: **Classroom Activities for Learning About Infrared Light**. Disponível em: URL:  
<http://www.sofia.usra.edu/Edu/materials/activeAstronomy/activeAstronomy.html>;  
acessado em 11/09/2006.

**Sugar Syrups**. Disponível em: URL:  
[www.fas.harvard.edu/~scidemos/LightOptics/SugarSyrups/SugarSyrups.html](http://www.fas.harvard.edu/~scidemos/LightOptics/SugarSyrups/SugarSyrups.html);  
acessado em 20/12/2006.

**Superled**. Disponível em: URL: <http://www.superled.com.br/>

The Science of Spectroscopy. **Sunscreen Chemistry**. Disponível em: URL:  
[http://www.scienceofspectroscopy.info/edit/index.php?title=Sunscreen Chemistry](http://www.scienceofspectroscopy.info/edit/index.php?title=Sunscreen_Chemistry);  
acessado em 11/09/2006.

THOMPSON, K.; STEWART, M.; RODRIGUEZ, J. **Light Absorption and Color in Biomolecules**. Disponível em: URL:  
[biophysics.centenary.edu/Biophysics%20course/Topic6-Light\\_Absorption\\_and\\_Color\\_of\\_Biomolecules.pdf](http://biophysics.centenary.edu/Biophysics%20course/Topic6-Light_Absorption_and_Color_of_Biomolecules.pdf); acessado em 19/01/2006.

THOMPSON, K.; STEWART, M.; RODRIGUEZ, J. **Photophysics: The Behavior of Photo-Excited Molecules**. Disponível em: URL:  
[biophysics.centenary.edu/Biophysics%20course/Topic7-Photophysics.pdf](http://biophysics.centenary.edu/Biophysics%20course/Topic7-Photophysics.pdf); acessado em 19/01/2006.

**UV Rays.** Disponível em: URL: [http://www.wv-hsta.org/TeacherInfo/NIH\\_Modules/uv/uvrays.htm](http://www.wv-hsta.org/TeacherInfo/NIH_Modules/uv/uvrays.htm); acessado em 31/07/2006.

**Wave Optics.** Disponível em: URL: [physics.ucsc.edu/lecturedemonstrations/optics/wave.html](http://physics.ucsc.edu/lecturedemonstrations/optics/wave.html); acessado em 18/12/2006.

World Health Organization. **Ultraviolet radiation and the INTERSUN Programme.** Disponível em: URL: <http://www.who.int/uv/en/>; acessado em 24/08/2006.

**Yeast Experiments.** Disponível em: URL: <http://www.phys.ksu.edu/gene/chapters.html>; acessado em 13/06/2006.

#### **4. Artigo submetido para publicação**

Enviado para o Caderno Brasileiro de Ensino de Física (periódico quadrimestral, nacional, qualidade A), está no aguardo do julgamento dos pareceristas.

### **Simulação da Visão das Cores: Decodificando a Transdução Quântica-elétrica.**

Paulo H S Sartori<sup>1</sup>, Élgion L S Loreto<sup>1-2</sup>

<sup>1</sup>PPG Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.

<sup>2</sup>Departamento de Biologia, Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil.

#### **Resumo**

Propomos uma simulação experimental, utilizando materiais acessíveis e de baixo custo, sobre o mecanismo biofísico da visão das cores em conformidade com a teoria tricromática de Young-Helmholtz, abordando principalmente o processo de codificação e decodificação de sinais elétricos que chegam ao córtex cerebral. O estímulo que desencadeia este processo é dado via transformação da energia quantizada de um fóton de luz que ocorre nas fotocélulas da retina do olho humano. A construção de um sistema de coleta e análise de dados simples, utilizando basicamente um multímetro, filtros, LDR e LEDs, permite estabelecer conexões entre o sistema visual e o modelo de simulação.

Palavras-chave: visão das cores; simulação experimental; material de baixo custo, codificação.

## **Simulation of the Color vision: Decoding Quantum-electric Transduction.**

### **Abstract**

We propose an experimental simulation, using accessible and low cost materials, on the biophysical mechanism of the color vision in accordance with the trichromatic theory of Young-Helmholtz, approaching mainly the coding and decoding process of electric signs that arrive to the cerebral cortex. The stimulus that unchains this process is given through transformation of the quantized energy of a light photon that takes place in the photocells of the retina of the human eye. The construction of a simple system of collection and analysis of data, using a multimeter, filters, LDR and LEDs allows us to establish connections between the visual system and the simulation model.

Keywords: color vision; experimental simulation; low cost material; coding.

### **Introdução**

A visão consiste numa espécie de interface entre um organismo e o meio exterior, capaz de distinguir entre as radiações eletromagnéticas existentes aquelas que são sensíveis. Apenas três filos do reino animal possuem tal capacidade (WALD, 1969). É um processo tão complexo que, no caso dos seres humanos, envolve cerca de quarenta por cento (40%) do cérebro; a maior proporção entre os cinco sentidos (WERNER; PINNA; SPILLMANN, 2007).

Enxergar cores é tido por alguns como um privilégio desnecessário. Certamente inúmeras sensações e emoções seriam dramaticamente afetadas, mas afora conseqüências subjetivas, nada seria significativamente prejudicado em nível de sobrevivência sem o “plus” da visão colorida. Hoje talvez isso faça algum sentido, porém há milhões de anos foi justamente em função da sobrevivência dos mais aptos que nossos ancestrais se beneficiaram de mutações genéticas que permitiram distinguir no ambiente as cores de frutos em meio à folhagem (GOLDSMITH, 2006). Este luxo nosso e de poucos primatas, compartilhado apenas com aves, lagartos, tartarugas e alguns peixes, teria, entretanto, funções mais relevantes que enfeitar a vida. Estudos recentes indicam uma grande dependência entre as cores e outros

atributos dos objetos tais como a forma e a profundidade (WERNER; PINNA; SPILLMANN, 2007).

Uma das primeiras tentativas de explicar o processamento visual colorido foi proposta no início do século XIX pelo físico inglês Thomas Young (*On the theory of light and colours* - 1802) e aprimorada pelo médico e físico alemão Hermann von Helmholtz (*Physiological Optics* - 1866) e compõe os primórdios do que hoje conhecemos por teoria tricrômica. Obteve respaldo quando em 1964 foram efetivadas medidas de absorção da luz em um único cone (fotocélula da retina) por intermédio de um microespectrofotômetro. Por não conseguir explicar certos aspectos da visão (como a inexistência de certas cores como, por exemplo, verdes avermelhados) outra teoria foi desenvolvida pelo fisiologista alemão Karl Ewald Hering propondo um sistema visual baseado na oponência de cores. Não há ainda um consenso ou uma teoria capaz de abranger a enorme variedade de questões em aberto (BARTHEM, 2005; NASCIMENTO, 2004).

A visão das cores vai muito além da simples absorção e reflexão de determinados comprimentos de onda da luz. É um fenômeno que requer uma abordagem bem mais ampla e multidisciplinar do conhecimento (PESA; BRAVO; COLOMBO, 2003; WERNER; PINNA; SPILLMANN, 2007). Para ilustrar este aspecto, o quadro a seguir aponta alguns tópicos das principais áreas envolvidas.

Tabela 1 - Relação dos principais conhecimentos e seus respectivos elementos e propriedades relacionados à visão das cores (PESA; BRAVO; COLOMBO, 2003; WERNER; PINNA; SPILLMANN, 2007).

Conhecimento	Físico		Biológico	Psicológico
Elemento(s)	Fonte de Iluminação	Características da Matéria	Sistema Visual	Ilusão
Propriedade ou Fenômeno	Faixas de Radiação (comprimentos de onda ou frequências)	Absorção, Reflexão, Transmissão	Sensibilidade dos Cones (diferentes respostas às diferentes frequências)	Engano na Interpretação em nível Cerebral (processamento)

De fato, a diversidade de institutos de pesquisa e profissionais envolvidos corresponde a esta demanda: neurocientistas, psicofísicos, bioquímicos, físicos e

biólogos, colaboram com esforços interdisciplinares para uma melhor compreensão dessa complexa interação entre matéria e energia.

### Sintonizando... de 428 a 750 terahertz.

De todo o espectro eletromagnético apenas uma estreita faixa é “captada” pelos olhos humanos.

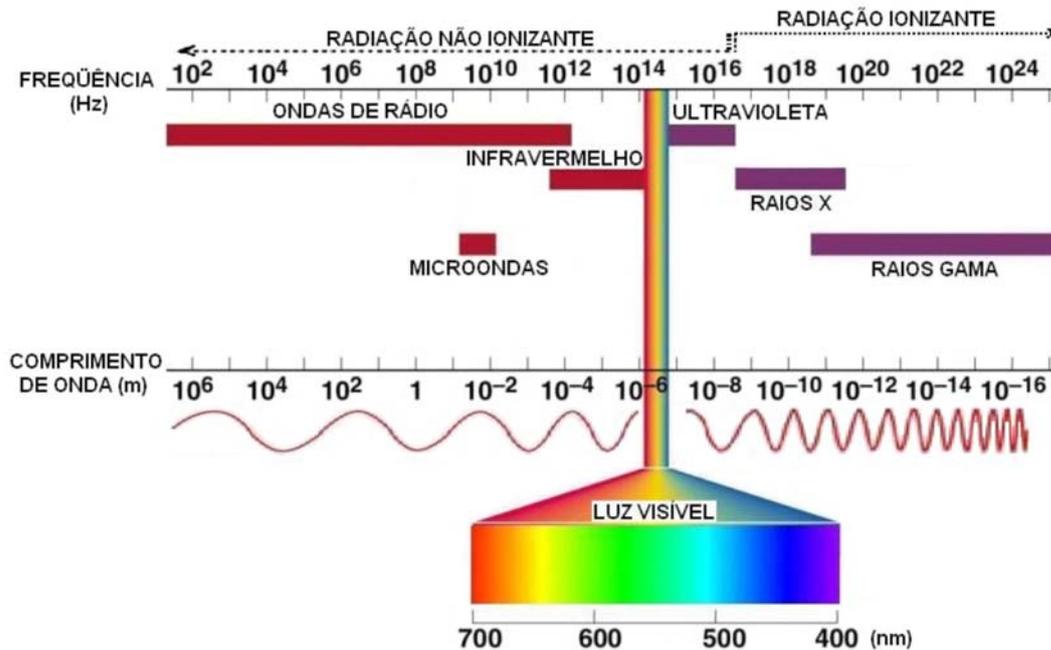


Fig. 1 - Espectro eletromagnético distribuído em função da frequência e do comprimento de onda. A luz visível decomposta apresenta, na faixa entre 700 nm e 400 nm, a seqüência de cores: vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta.

A mínima quantidade de energia capaz de desencadear o processo fotoquímico da visão é a de um fóton de luz da radiação eletromagnética cujo comprimento de onda é de 700 nm (entre o infravermelho e o vermelho).

Para toda onda, a velocidade é o produto de seu comprimento de onda pela sua frequência ( $v = \lambda \cdot f$ ), e no caso de ondas eletromagnéticas  $v = c =$  velocidade da luz no vácuo/ar ( $\sim 3,0 \times 10^8$  m/s), então,

$$f = \frac{3,0 \times 10^8 \text{ m/s}}{700 \times 10^{-9} \text{ m}} = 4,28 \times 10^{14} \text{ /s} = 4,28 \times 10^{14} \text{ Hz} = 428 \times 10^{12} \text{ Hz ou } 428 \text{ THz}$$

$$f = 428 \text{ terahertz}$$

A energia deste fóton pode ser determinada multiplicando a frequência (f) pela constante de Planck (h):

$$E = h \cdot f = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s} \cdot 4,28 \times 10^{14} \text{ /s} \approx 2,84 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Convertendo em termos de elétron-volt ( $1\text{eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$ ) a energia deste fóton de luz será aproximadamente 1,77 eV. Energias inferiores a este valor (infravermelho, ondas de rádio, microondas) não promovem reação nos fotorreceptores da retina sendo, portanto, invisíveis.

Quando a frequência da radiação eletromagnética atinge 750 terahertz (o que corresponde a um comprimento de onda de 400 nm – limite do violeta com o ultravioleta) a energia do fóton é mais do que suficiente (cerca de 3,11 eV) para sensibilizar uma fotocélula da retina, porém não a atinge. O fóton da luz ultravioleta é absorvido antes de chegar à retina pelo cristalino e humores do olho, sendo também invisível.

Logo, os limiares da visão humana situam-se entre 400 nm e 700 nm. Tais valores são usados apenas como parâmetros de referência, pois podem variar consideravelmente para cada pessoa. Alguns estudos apontam estes limites entre 380 nm (ultravioleta próximo ou UV A) e 760 nm (infravermelho próximo ou IV A). Outros, baseados em níveis de intensidade luminosa, demonstram em investigações específicas, valores entre 312 nm (ultravioleta médio ou UV B) e 1.050 nm (infravermelho próximo ou IV A) (WALD, 1969).

Existem dois tipos de fotorreceptores celulares na retina: os bastonetes e os cones – que são de três tipos. A função dos bastonetes está relacionada com a visão sob pouca iluminação, cabendo aos cones a visão das cores.

Certos animais (pássaros, alguns répteis e peixes) foram evolutivamente privilegiados com um tipo de cone a mais (totalizando quatro tipos de cones contra apenas dois da maioria dos mamíferos) e desenvolveram um sistema visual tetracromático que possibilita a visão ultravioleta (GOLDSMITH, 2006). Esta, aliás, motivo de controvérsia, pois dados da literatura científica indicam que pessoas cujos cristalinos foram removidos devido à cirurgia da catarata, passaram a ter ótima visão na faixa do ultravioleta (WALD, 1969). Porém tal visão seria inviável sem os cones com sensibilidade apropriada. Alguns insetos e artrópodes também são capazes de perceber a radiação ultravioleta, mas possuem um sistema visual colorido diferenciado em relação ao homem (ROBINSON, 2007; GOLDSMITH, 2006). A maioria dos insetos, por exemplo, não distingue a cor vermelha (OKUNO; CALDAS; CHOW, 1986)

## Visão Colorida

O mecanismo da visão humana é um dos exemplos mais fantásticos da capacidade de transdução que pode ser apresentado por uma estrutura biológica. Ondas luminosas (uma determinada gama de freqüências da radiação eletromagnética) atingem células fotossensíveis da retina (considerada uma espécie de prolongamento ou extensão do cérebro até os olhos) a todo instante. A energia transportada por estas ondas sob a forma de “pacotes” denominados fótons, é transformada em sinais elétricos codificados para serem decodificados pelo cérebro. Uma série de eventos físicos, biológicos e químicos ocorre. Resumidamente, a energia do fóton de luz (estímulo físico) provocará alteração na estrutura química da molécula de retinal (semelhante à vitamina A) presente nas fotocélulas da retina, o que acarretará variação no potencial elétrico de repouso de suas membranas celulares, gerando um potencial de ação. Este “pulso” elétrico se propagará, através de sinais eletroquímicos mediados por neurotransmissores, como um código elétrico conduzido ao cérebro que o decodificará na forma de imagem (OKUNO; CALDAS; CHOW, 1986; GOLDSMITH, 2006).

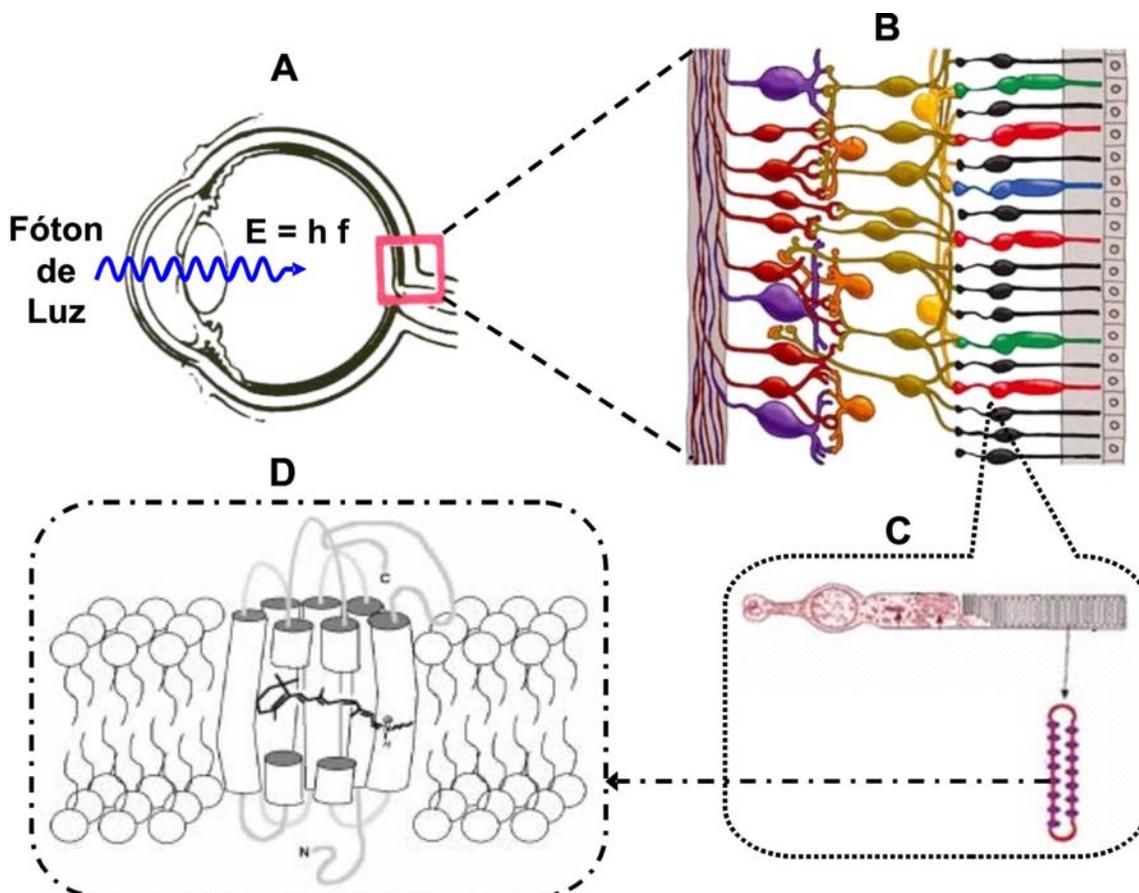


Fig. 2 - Esquema das estruturas envolvidas no sistema visual. (A) Olho humano recebendo energia luminosa de um fóton de luz. A retina é uma fina camada com cerca de 0,5 mm de espessura que reveste internamente o olho. (B) Retina ampliada: camadas de células nervosas e células fotossensíveis. (C) Uma célula fotossensível ampliada: um cone. No segmento externo existem diversos discos empilhados, cada um deles (em destaque) tem sua membrana crivada com milhares de complexos de rodopsina. (D) Cada complexo consiste de uma proteína atravessada na membrana em cujo ângulo um nicho contém uma molécula de retinal (adaptado de KOLB, 2003; TERSTEGE; KOLSTER; FALZEWSKI; BUSS, 2001; HARGRAVE, 2001).

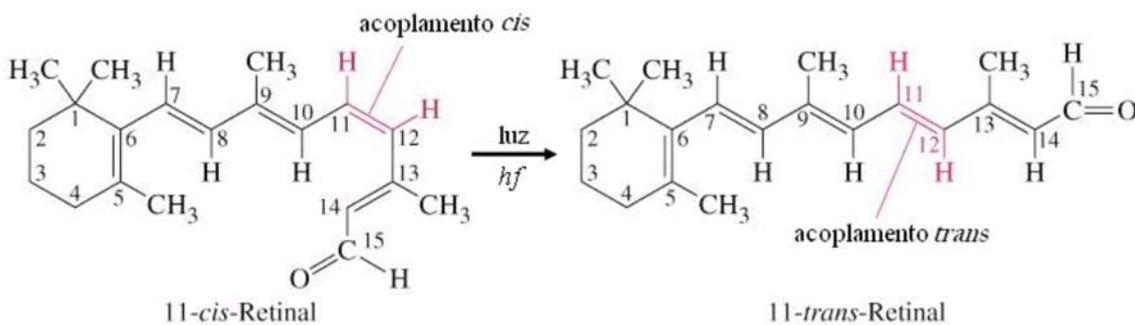


Fig. 3 - Molécula de retinal que ao receber energia ( $hf$ ) de um fóton de luz sofre uma isomerização cis-trans, mudando de forma.

## Simulação

A fim de promover uma melhor compreensão destes mecanismos e das funções de alguns dos principais elementos envolvidos, propomos uma simulação com investigações que permitam uma maior interação do aluno com um conteúdo interdisciplinar, fazendo as correspondências pertinentes.

Nosso interesse é justamente simular a ação das fotocélulas do olho humano responsáveis pela visão das cores – os cones. Ao combinarem diferentes graus de sensibilização à energia radiante, traduzem em sinais elétricos cores específicas para serem interpretadas. Foge do escopo deste trabalho detalhar toda a anátomo-fisiologia e a cascata de reações, mudanças e interações que ocorrem neste intrincado processo. Então focalizaremos apenas o ponto em questão.

Os cones são geralmente denominados por cores, mas isso não significa que tenham as cores que os nomeiam; representa uma afinidade com o comprimento de onda associado as suas regiões de absorção. Modernamente costuma-se identificar cada tipo de cone pelo comprimento de onda específico associado a sua máxima absorção.

Tabela 2 - Distribuição qualitativa e quantitativa dos tipos de cones (adaptado de BARTHEM, 2005).

Cones	Fotopigmento	Faixa Espectral de Sensibilidade	Quantidade aproximada	
			Valores Absolutos	Percentual do Total
Azuis	Cianolabe	400 – 550 nm	140.000	2%
Verdes	Clorolabe	435 – 635 nm	2.380.000	34%
Vermelhos	Eritrolabe	480 – 700 nm	4.480.000	64%
TOTAL	---	400 – 700 nm	7.000.000	100%

Ao observar o gráfico a seguir é possível verificar a combinação de diferentes “graus” de “sensibilização” (absorção relativa de luz) de cada cone em resposta a diferentes estímulos visuais (cores).

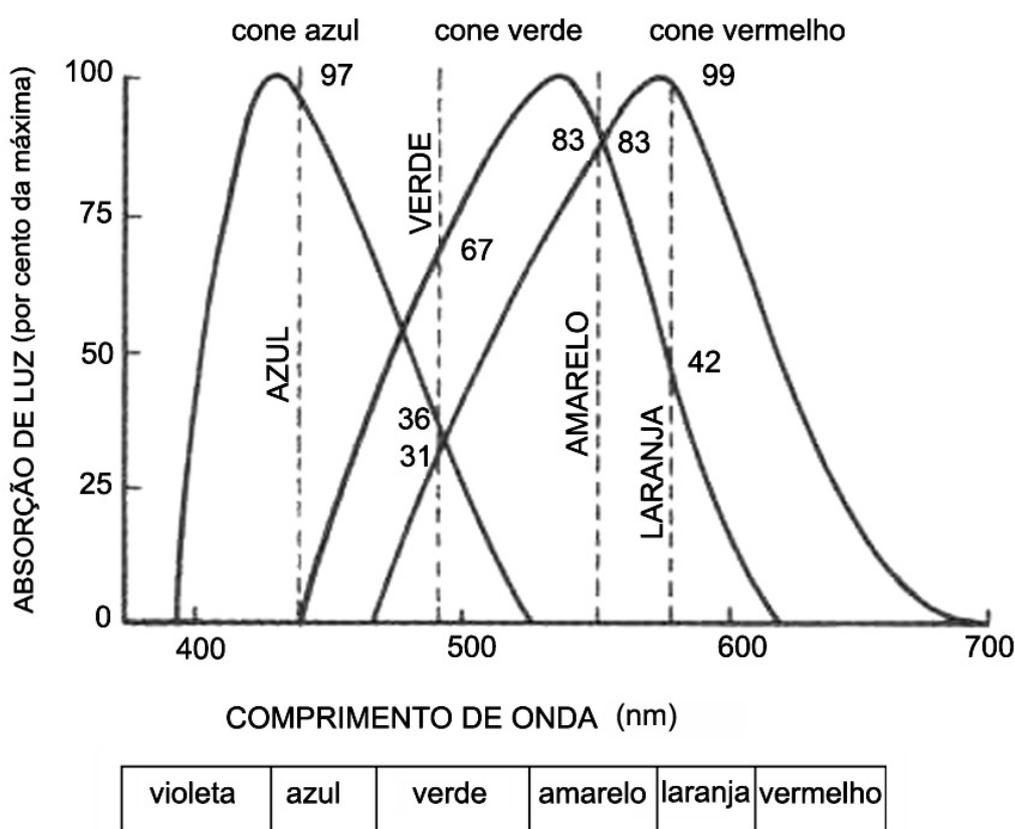


Fig. 4 - Gráfico da absorção relativa de luz para cada tipo de cone em função do comprimento de onda incidente (adaptado de GUYTON; HALL, 1988. p. 370).

Para entender como funciona a interpretação, observe onde as linhas verticais tracejadas (exemplos de algumas cores) “cortam” as curvas de absorção relativa de cada cone: os pontos de cruzamento correspondem aos valores de absorção relativa daquele cone para aquela cor. Por exemplo: a linha vertical tracejada que indica a cor verde corta a curva do cone vermelho em 31%, do cone azul em 36% e do cone verde em 67%, ou seja, a combinação destes três

percentuais de estimulação perfaz o código: '31 36 67' o qual será interpretado pelo cérebro como (uma das muitas gamas da) cor verde.

Tabela 3 - Interpretação codificada de algumas cores pelas diferentes sensibilizações dos três tipos de cones.

Propriedade	Tipo de Fotocélula			Cor Interpretada (combinação dos três)
	Cone Azul ou Pigmento 424	Cone Verde ou Pigmento 530	Cone Vermelho ou Pigmento 560	
Absorção de Luz (% da máxima)	97	00	00	Azul
	36	67	31	Verde
	00	83	83	Amarelo
	00	42	97	Laranja

Material:

- Metade de uma bola oca de isopor com cerca de 20 cm de diâmetro (existem embalagens em forma de esfera que podem servir muito bem);
- Uma tampa de plástico com 7,0 cm de diâmetro e 2,0 cm de altura;
- Três caixas de fósforos;
- Filtros coloridos nas cores vermelho, verde e azul (a opção por filtros plásticos conhecidos como “gelatinas”, encontradas em lojas de som e luz ou de luminotécnica, apesar de um pouco mais cara, torna-se vantajosa na medida em que estes materiais mantêm a coloração por mais tempo mesmo sob forte iluminação e com propriedades filtrantes muito semelhantes às dos filtros de laboratório);
- LDR (Light Dependence Resistor ou resistor dependente de luz) de 1,0 cm de diâmetro;
- Resistor de 1/8 W e resistência elétrica entre 180 e 270  $\Omega$ ;
- Fios para conexões elétricas;
- LEDs de alto brilho de 5 mm nas cores violeta, azul, verde, laranja (âmbar), amarelo e vermelho;
- Fonte de alimentação de 6,0 V corrente contínua: 4 pilhas pequenas tipo AA de 1,5 V colocadas em série ou um carregador de celular 5,9 V c.c. (opcional: com garras do tipo “jacaré”);

- Conector para LED ou porta-LED (conector para drive de disquete que pode ser retirado de sucatas de aparelhos estragados).

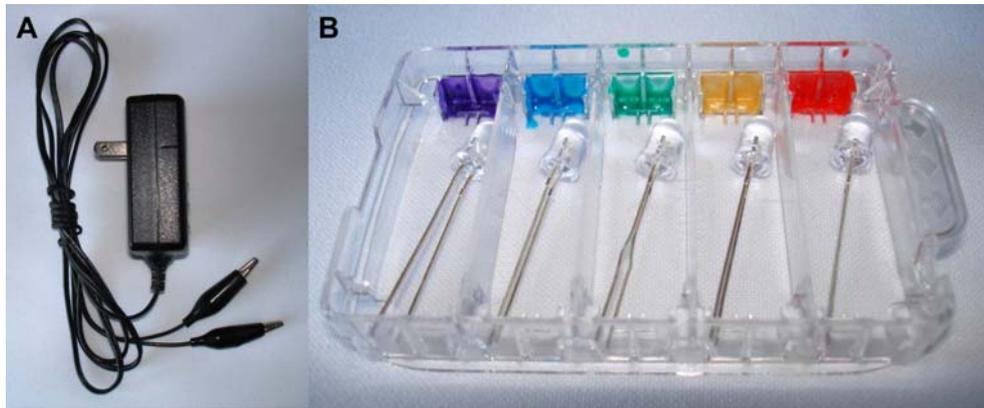


Fig. 5 – (A) Carregador de aparelho celular com garras tipo “jacaré”. (B) LEDs de alto brilho nas cores violeta, azul, verde, laranja e vermelho.

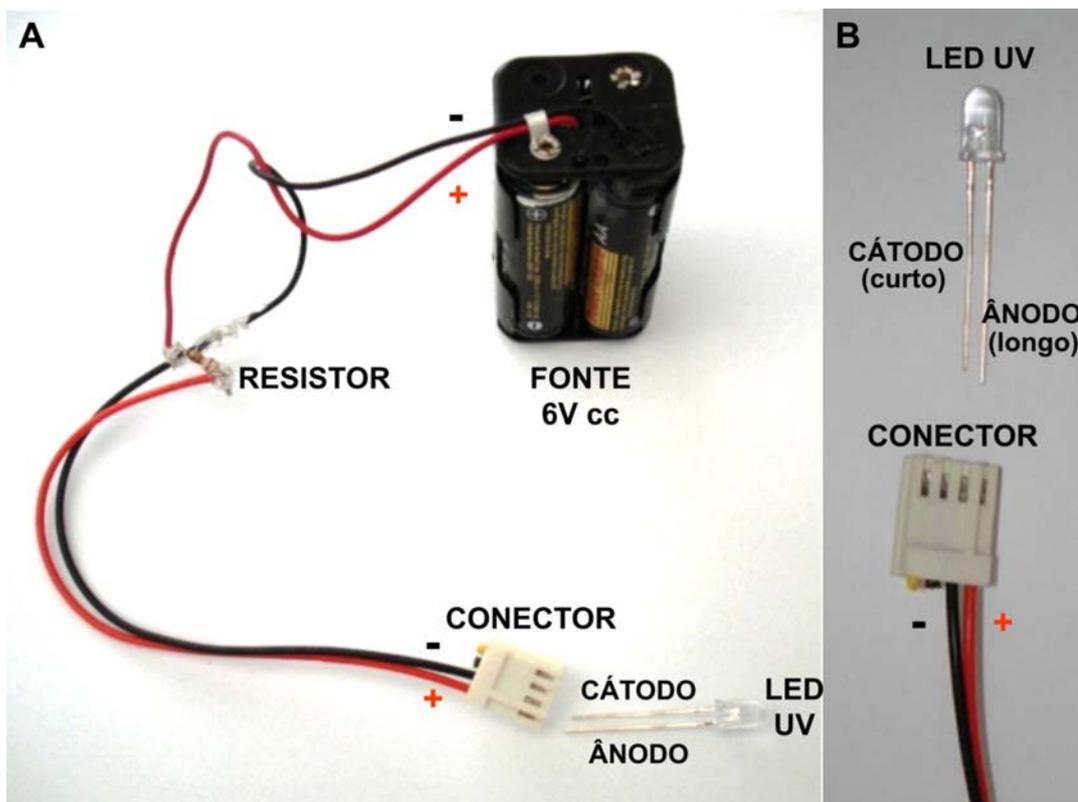


Fig. 6 – (A) Esquema das conexões elétricas entre a fonte de alimentação e o conector para LED. (B) Detalhe de identificação dos terminais do LED para conexão.

Montagem:

a) Sensor: Fazer uma janela (2,5 cm x 2,0 cm) no centro de uma das laterais maiores de uma caixa de fósforos. Na lateral oposta fazer dois pequenos furos (com

uma agulha ou alfinete) para passar os terminais do LDR deixando-o voltado para o interior da caixa, prendendo-o firmemente com cola.



Fig. 7 - Caixa de fósforos com janela e LDR.

b) Filtros: As “gavetas” das caixas são recortadas fazendo-se janelas do mesmo tamanho da janela do sensor. Recortar as “gelatinas” (2,8 cm x 2,3 cm) prendendo-as, com auxílio de fita adesiva, na parte interna das gavetas. Na borda de cada gaveta faz-se um recorte (rebaixo de 1,2 cm x 0,3 cm) para poder passar sobre o LDR quando as gavetas forem encaixadas no sensor.

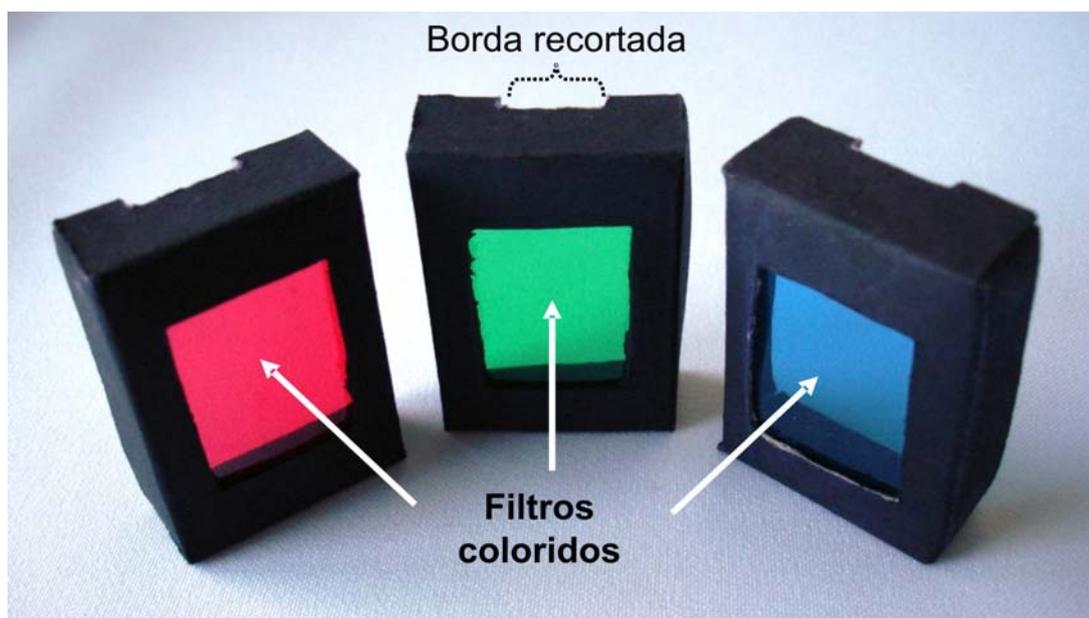
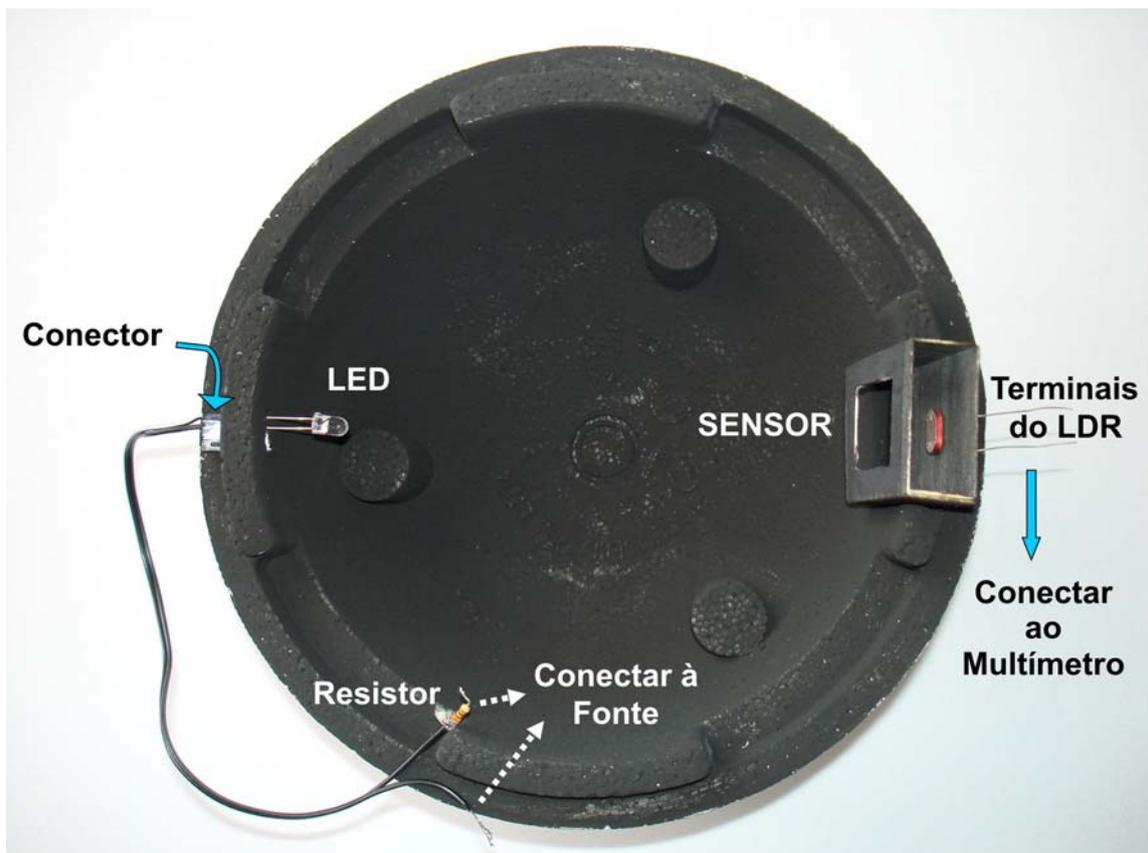


Fig. 8 - Caixinhas de fósforos cortadas e com filtros coloridos nas cores vermelho, verde e azul.

c) Olho: Recortar, em pontos diametralmente opostos da metade da bola de isopor, um encaixe para o conector para LED (ou similar) e outro para o sensor (do tamanho da caixa de fósforos). As abas de encaixe da bola podem servir para este fim. A caixa do sensor e o conector devem ficar bem firmes (para isso use cola ou adesivo que não reaja com o isopor). Para manter esta semi-esfera em equilíbrio, prender a tampa de plástico (na parte externa do “fundo” da bola) com fita adesiva fazendo uma base de sustentação (apoio).



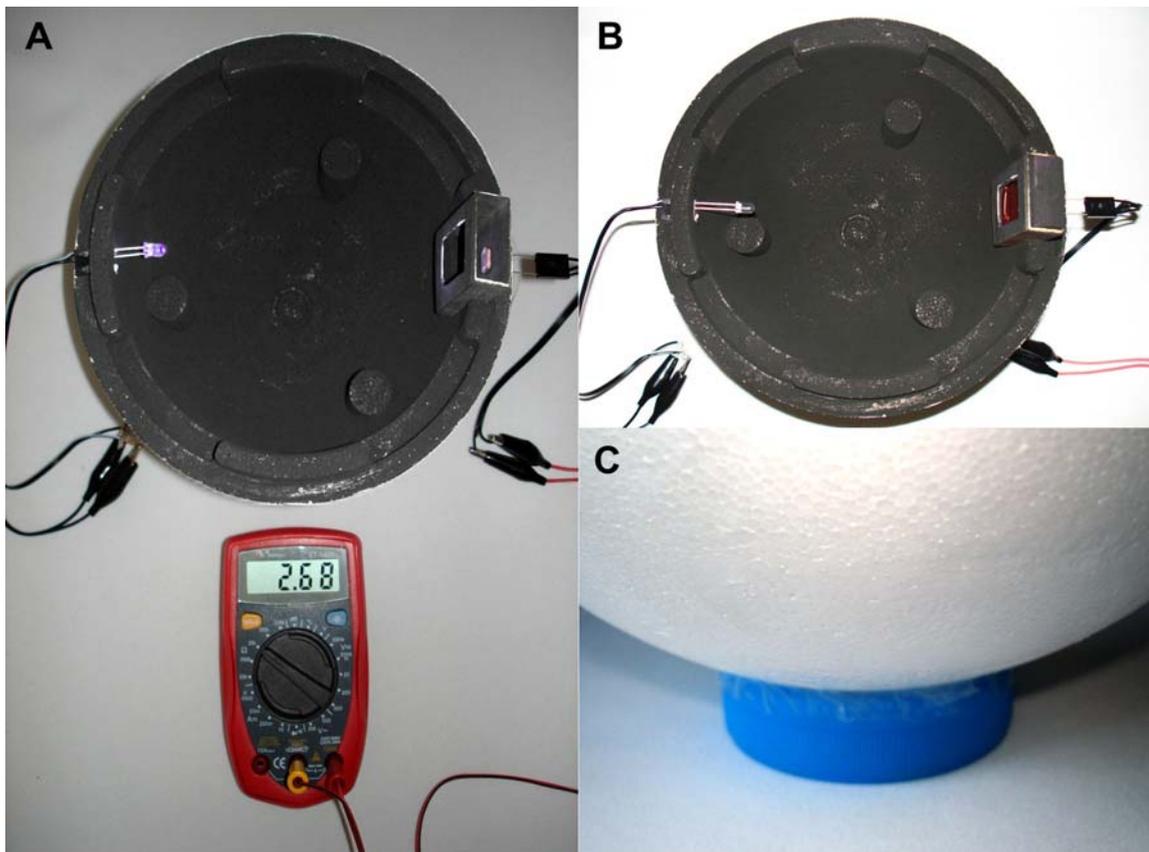
*Fig. 9 - Olho de isopor com sensor e conector para LED encaixados.*

d) Conexões elétricas entre:

- LDR e multímetro: Um dos terminais do LDR deve ser ligado na saída + e o outro na saída COM (-) do multímetro (não há preocupação com a ordem). Sugere-se adaptar na extremidade de cada fio de conexão uma garra do tipo “jacaré” (para agarrar o terminal do LDR) e na outra, conectores tipo “banana” (para “plugar” no multímetro).

- Conector para LED e fonte de alimentação: Do conector para LED partem dois fios de ligação: em um deles soldar o resistor e o outro ligar diretamente no pólo negativo da fonte. O pólo positivo deve ser ligado (soldado) no resistor.

- LED e conector para LED: o ânodo do LED (terminal longo) deve ser encaixado na saída + do conector e o cátodo do LED (terminal curto) na saída – do conector, preferencialmente de forma simultânea.



*Fig. 10 - (A) Olho de isopor com sensor sem filtro conectado ao multímetro, LED ligado à fonte de alimentação e terminais do LDR conectados ao multímetro. (B) Olho de isopor com filtro encaixado no sensor. (C) Detalhe da base do olho de isopor.*

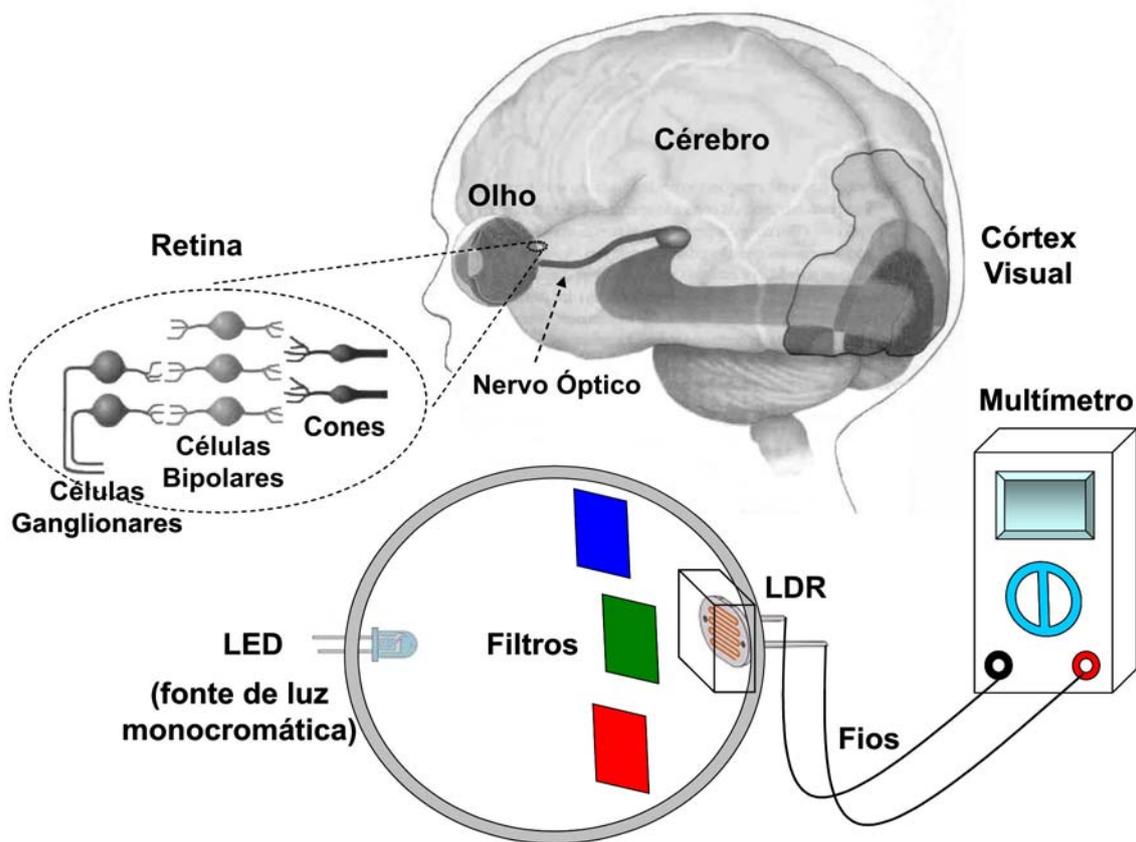


Fig. 11 - Esquema comparativo entre o sistema visual e o conjunto simulador (adaptado de WERNER; PINNA; SPILLMANN, 2007. p. 86).

Tabela 4 - Relações (paralelo comparativo) entre o sistema visual e o simulador referente aos seus elementos e suas respectivas funções.

Sistema Visual		Simulador	
Elemento(s)	Função(ões)	Elemento(s)	Função(ões)
Cones	Absorver luz de certos comprimentos de onda e transmitir sinais elétricos codificados	Filtros coloridos	Absorver e transmitir luz de certos comprimentos de onda (selecionar)
Células Bipolares e Ganglionares	Pré-processamento	LDR	Sensor / Transdutor
Nervo Óptico	Conduzir sinais elétricos	Fios	Conduzir a corrente elétrica
Córtex Visual	Decodificar os sinais elétricos e formar a imagem	Multímetro	Converter a corrente elétrica em registro digital

Procedimento:

A lógica de funcionamento do LDR segue o seguinte princípio: quanto mais luz incidir sobre sua superfície menor o valor da resistência elétrica. Como este valor será registrado pelo multímetro, espera-se que os menores valores correspondam às medidas sem o uso dos filtros. Como os filtros absorverão boa parte da intensidade luminosa de determinado comprimento de onda, os valores de resistência elétrica serão comparativamente maiores.

Primeiramente ajusta-se a “mira” do LED, manipulando o conector ou porta-LED de tal maneira que a luz do LED incida diretamente sobre o LDR. A medida da resistência pode auxiliar nesta tarefa: feitas as conexões elétricas necessárias e ligando-se o multímetro (com o seletor na faixa 200 k $\Omega$  ou 100 k $\Omega$  conforme o modelo), quando indicar o menor valor, será o ponto ótimo de ajuste. Cada LED tem uma potência luminosa diferente que poderia ser corrigida variando-se a distância do LED ao LDR. Outra alternativa seria o uso de um potenciômetro para regular incidência de luz inicial. Porém optamos por simplificar o sistema e contornar esta dificuldade tomando o valor inicial de cada medida dos LEDs sem o filtro como uma referência inicial de passagem de 100% (ou 0% de bloqueio) daquela cor.

Então, efetuam-se as medidas de cada LED sem nenhum filtro e com cada um dos três filtros. Recomenda-se cobrir o conjunto com uma caixa para minimizar a incidência de luz ambiente que possa vir refletida de roupas e objetos ao redor produzindo oscilações durante as medições.

A tabela a seguir mostra algumas medidas de resistência elétrica feitas com o multímetro com o seletor na faixa 200 k $\Omega$  (ou 100 k $\Omega$ , conforme o modelo).

Tabela 5 - Dados de resistência elétrica, em k $\Omega$ , coletados durante a simulação.

LED = COR	FILTRO = CONE									
	SEM	AZUL			VERDE			VERMELHO		
		A	B	C(%)	A	B	C(%)	A	B	C(%)
VIOLETA	4,6	6,4	1,8	39	32,7	28,1	611	16,1	11,5	250
AZUL	2,5	2,9	0,4	16	7,2	4,7	188	28,7	26,2	1048
VERDE	3,0	4,9	1,9	63	4,0	1,0	33	42,0	39,0	1300
LARANJA	3,8	13,8	10,0	263	11,6	7,8	205	6,8	3,0	79
VERMELHO	1,5	6,5	5,0	333	6,3	4,8	320	1,8	0,3	20

A coluna 'A' relaciona os dados lidos diretamente no multímetro quando o filtro correspondente é interposto entre cada LED e o LDR. A coluna 'B' mostra a diferença entre o valor com filtro e sem filtro, ou seja, os valores da coluna 'A' menos os da coluna 'SEM'. Na prática corresponde à diferença de resistência elétrica observada com e sem o filtro. Na coluna 'C' temos os valores obtidos na coluna 'B' expressos em percentuais tendo como valores de referência os da coluna 'SEM'. Para exemplificar: LED violeta: o valor registrado sem filtro foi de 4,6 kΩ e com filtro (coluna 'A') 6,4 kΩ. Na coluna 'B' teremos a diferença 6,4 kΩ – 4,6 kΩ = 1,8 kΩ. Na coluna 'C' 1,8 kΩ representa 39% sobre 4,6 kΩ , ou seja,  $1,8 \text{ k}\Omega \div 4,6 \text{ k}\Omega \times 100 \approx 39\%$ .

A passagem de luz através do filtro depende da sua capacidade de absorção. Portanto quanto menos luz passar pelo filtro (menor transmissão), representa uma absorção maior. Logo, os percentuais obtidos representam um “bloqueio” da luz em relação ao valor inicial. Poderíamos interpretar este “bloqueio” como sendo o quanto de luz seria aproveitada pelo cone, ou seja, o quanto ele foi “sensibilizado”. Porém, para que os resultados da simulação se aproximem ainda mais do sistema visual real, nos interessa o estímulo, a luz que é transmitida (e não a bloqueada) manipulando os dados da seguinte forma:

Tabela 6 - Critérios para interpretação dos dados obtidos.

Filtro (simulador)	Interpretação Proposta
Absorção de Luz (bloqueio)	Se bloquear tudo ( $\geq 100\%$ ) → cone não é sensibilizado; não há propagação do estímulo (sinal codificado)
Transmissão de Luz (passagem)	Se transmitir ( $< 100\%$ ) → cone é sensibilizado; há propagação de um estímulo (sinal codificado)

A partir dos dados da coluna 'C' da Tabela 5 adotamos a convenção: igual ou superior a 100% (sombreado cinza) = 00 (cone não sensibilizado) e menor que 100% (valores em negrito) = a diferença para 100% (cone sensibilizado no percentual resultante).

Tabela 7 - Aplicação dos critérios de interpretação dos dados.

LED = COR	FILTRO = CONE					
	AZUL		VERDE		VERMELHO	
	C(%)	Convenção	C(%)	Convenção	C(%)	Convenção
VIOLETA	<b>39</b>	100-39 = 61	611	≥ 100 = 00	250	≥ 100 = 00
AZUL	<b>16</b>	100-16 = 84	188	≥ 100 = 00	1048	≥ 100 = 00
VERDE	<b>63</b>	100-63 = 37	<b>33</b>	100-33 = 67	1300	≥ 100 = 00
LARANJA	263	≥ 100 = 00	205	≥ 100 = 00	<b>79</b>	100-79 = 21
VERMELHO	333	≥ 100 = 00	320	≥ 100 = 00	<b>20</b>	100-20 = 80

Tabela 8 - Comparação entre os valores reais do sistema visual e os resultados da simulação.

LED = COR	FILTRO = CONE					
	AZUL		VERDE		VERMELHO	
	Sistema Visual	Simulação	Sistema Visual	Simulação	Sistema Visual	Simulação
VIOLETA	40	61	00	00	00	00
AZUL	97	84	00	00	00	00
VERDE	36	37	67	67	31	00
LARANJA	00	00	42	00	97	21
VERMELHO	00	00	00	00	50	80

### Considerações:

Ao comparar os valores da Tabela 8 é possível verificar uma correspondência de 60% dos resultados: nove em quinze são fidedignos com as medidas reais. Em 2/3 dos resultados (dez em quinze) a diferença com o real é menor que 13%. Em apenas 13% dos resultados não houve concordância “bruta”, ou seja, o filtro “bloqueou mais que 100%” quando deveria bloquear menos que este valor. O LED laranja, que apresentou a maior discrepância, na verdade corresponde à cor âmbar sendo bastante diferente da cor laranja típica. Os LEDs azul e verde apresentaram concordâncias muito boas, mostrando-se adequados para esta simulação. Já para os LEDs violeta e vermelho as discordâncias ocorreram apenas nos filtros com percentuais diferentes de ‘00’.

A estratégia utilizada nas transformações dos dados apesar de simples produziu resultados correspondentes. Outras interpretações e critérios para ajustes dos dados podem e devem ser incentivados.

Obviamente as divergências numéricas encontradas são justificáveis por inúmeros fatores. Fazer os alunos encontrar e avaliar em que medida estes fatores

influenciam nos resultados é altamente recomendável e enriquecedor. Desde a seleção e adequação dos materiais, montagem e execução da simulação, inúmeras habilidades são promovidas e desenvolvidas.

Cabe ressaltar, para fundamentar uma discussão mais profícua, que é possível encontrar na literatura científica gráficos de absorções bastante distintos daquele da Figura 4, o qual serviu de referência para este trabalho. Portanto, dependendo da fonte adotada, haverá maior ou menor aproximação dos resultados. Outro ponto a salientar é que se tomarmos como referência a faixa de cor, os valores obtidos terão maior concordância pois afinal não sabemos exatamente, dentro desta faixa, o comprimento de onda exato do LED, até porque ele também emite numa faixa (com um certo comprimento de onda com máximo de intensidade) e não num comprimento de onda específico. Deve ser observado que os resultados numéricos obtidos refletem a peculiaridade dos ajustes feitos e materiais utilizados; diferentes valores dos resistores ou nuances de cor das “gelatinas” utilizadas, por exemplo, podem produzir resultados cujos valores absolutos são relativamente distintos dos que foram apresentados, mas acreditamos que em termos percentuais sejam próximos.

Apesar de todo o esforço de interpretação numérica para obter resultados mais coerentes e das flutuações decorrentes das inúmeras variáveis envolvidas, não devemos esquecer o principal objetivo desta simulação: verificar como funciona o mecanismo de codificação e decodificação das cores. Da mesma forma que tivemos que interpretar os resultados numéricos, (estabelecendo, inclusive, critérios para tal) o cérebro o faz para os sinais elétricos codificados que chegam até ele. As cores são interpretações dos três códigos de sensibilização combinados.

### **Bibliografia:**

BARTHEM, R. **A Luz**. São Paulo: Livraria da Física - Sociedade Brasileira de Física, 2005. 114 p.

GOLDSMITH, T. H. Olhos de Águia. **Scientific American Brasil**. São Paulo, a. 5, n. 51, p. 70-77, ago. 2006.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Fisiologia Humana e Mecanismo das Doenças**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988. 639 p.

HARGRAVE, P. A. Rhodopsin Structure, Function, and Topography. **Investigative Ophthalmology and Visual Science**, Rockville, v. 42, n. 1, p. 3-9, jan. 2001. Disponível em: <[www.iovs.org/cgi/reprint/42/1/3.pdf](http://www.iovs.org/cgi/reprint/42/1/3.pdf)>. Acesso em: 24 jan. 2006.

KOLB, H. How the Retina Works. **American Scientist Online**, v. 91, n. 1, p. 28 jan./feb. 2003. Disponível em: <[www.americanscientist.org/template/AssetDetail/assetid/16218](http://www.americanscientist.org/template/AssetDetail/assetid/16218)>. Acesso em: 21 ago. 2006.

NASCIMENTO, S. **Visão das Cores**. Disponível em: <[www.arauto.uminho.pt/pessoas/smcn/visão\\_cores/Cap%201%20História%20da%20visão%20das%20cores.pdf](http://www.arauto.uminho.pt/pessoas/smcn/visão_cores/Cap%201%20História%20da%20visão%20das%20cores.pdf)>. Acesso em: 26 jul. 2007.

OKUNO, E.; CALDAS, L. I.; CHOW, C. **Física para Ciências Biológicas e Biomédicas**. São Paulo: Harbra, 1986. 490 p.

PESA, M. A.; BRAVO, S. V.; COLOMBO; E. M. **Investigando la Luz y la Visión**. Tucumán: Asoc. Coop. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologia - Universidad Nacional de Tucumán, 2003. 101 p.

ROBINSON, K. UV light reveals mating secrets of jumping spiders. **Biophotonics International**. Pittsfield, v. 14, n. 3, p. 22-23, mar. 2007.

TERSTEGEN, F.; KOLSTER, K.; FALZEWSKI, S.; BUSS, V. Rhodopsin - Structure, Spectroscopy and Dynamics of a Chromophore in a Truly Heterogeneous Environment. **World Scientific**, oct. 2001. Disponível em: <[www.thp.uni-duisburg.de/Paper/GK\\_pub/buss.pdf](http://www.thp.uni-duisburg.de/Paper/GK_pub/buss.pdf)>. Acesso em: 5 fev. 2007.

WALD, G. Life and Light. (Chemical and Biological Effects of Light). In: **Lasers and Light Readings from Scientific American**. San Francisco: W. H. Freeman and Company, 1969. cap. 10, p. 101-113.

WERNER, J. S.; PINNA, B.; SPILLMANN, L. Cores Ilusórias e o Cérebro. **Scientific American Brasil**. São Paulo, a. 5, n. 59, p. 84-89, abr. 2007.

## 5. Considerações Finais

O trabalho experimental concebido como uma atividade de natureza investigativa, permeada por um processo cooperativo de resolução de problemas, pode desempenhar um papel fulcral na criação de contextos favoráveis de ensino-aprendizagem. Ao proporcionar situações de debate e de confronto de idéias e saberes, conceituais e processuais, em diversos níveis (compreensão do problema de partida, concepção do plano experimental, da execução do plano e avaliação do processo), o trabalho experimental assim estruturado se amplia, envolvendo a verbalização e discussão de idéias, a conjeturação, a reflexão e avaliação crítica do que é desenvolvido; desde a seleção dos materiais, o que fazer, a planificação de estratégias (como fazer), até os conhecimentos relacionados. A abertura proporcionada por atividades experimentais que permitam o confronto dos resultados obtidos, das interpretações que fizeram, bem como das avaliações dos processos desenvolvidos, não constrange o aluno a ter que chegar à resposta certa, pelo contrário, encoraja-o a (re)pensar acerca das idéias e dos processos. Deste modo, pode contribuir para a criação de situações de aprendizagem significativa, adaptáveis aos diversos níveis etários, fazendo o aluno explorar o alcance e as limitações de certos modelos e teorias, testar experimentalmente idéias alternativas e ganhar confiança na sua aplicação e/ou investigar as aplicações práticas de conteúdos científicos previamente adquiridos, sendo estes utilizados na sugestão e interpretação de soluções mais perceptivas (Almeida, 1998).

Neste contexto, o trabalho experimental poderá desempenhar um papel fundamental na educação em Ciências quer como um fim em si mesmo ao desenvolver capacidades de resolução de problemas e de investigação, quer como uma estratégia de ensino e de aprendizagem favorecendo a construção de significado dos conceitos teóricos e a compreensão da natureza do trabalho científico e, ainda, como uma estratégia formativa de desenvolvimento de capacidades e talentos diversos (na maioria das vezes imensuráveis), de ordem cognitiva, afetiva e social (Almeida, 1998).

Uma das aprendizagens mais relevantes para uma educação comprometida com o desenvolvimento total da pessoa, apontadas nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (2000), é aprender a ser. Tal aprendizagem, relacionada a aprender a conhecer (criticidade) e a aprender a fazer

(experimentação), “supõe a preparação do indivíduo para elaborar pensamentos autônomos e críticos e para formular os seus próprios juízos de valor, de modo a poder decidir por si mesmo, frente às diferentes circunstâncias da vida. Supõe ainda exercitar a liberdade de pensamento, discernimento, sentimento e imaginação, para desenvolver os seus talentos e permanecer, tanto quanto possível, dono do seu próprio destino” (MEC, 2000). Tais ações devem ser permanentes na formação do educando como pessoa e cidadão.

É desejável, com toda a certeza, um ensino de Ciências que seja útil na formação de um cidadão capacitado a enfrentar os desafios tecnológicos e sociais contemporâneos. Porém a função de um educador científico deve ir além. Não devemos nos limitar a apenas preparar o aluno para tais coisas, mas também promover uma visão da Ciência como uma prazerosa atividade de investigação. Um enfoque apenas utilitarista do ensino de Ciências levaria somente a constituição de cidadãos “bem ajustados”. A utilidade não é um fim em Ciência é uma consequência, muito mais ligada, portanto, à tecnologia; sendo que a própria técnica muitas vezes precede o conhecimento científico que é subjacente a ela ou que a explica. Prover o aluno de um senso crítico que o permita avaliar informações veiculadas e despertar seu potencial criador são responsabilidades que não podemos abrir mão.

Para que o experimento seja valorizado como processo, obviamente fazer por fazer não adianta nada, mas fazer absorvendo o que há de melhor em cada etapa, que normalmente passa despercebida ou desvalorizada percebendo o significado de cada ação. Nesse aspecto, como alertam Arnoni, Koike e Borges (2003), “as atividades experimentais despertam interesse no aluno, entretanto, se não forem trabalhadas segundo um pressuposto teórico-metodológico, caem num “ativismo improdutivo”, ou seja, o experimento pelo experimento, sem vinculação com o processo de ensino-aprendizagem”. Em certa medida, impregnamos neste trabalho o resgate de uma “visão romântica” de Ciência, da chamada “Ciência desinteressada”, praticada por cientistas e pesquisadores do passado. Trata-se de renovar este espírito, alimentando o prazer em realizar e ver concretizar. Numa alusão a uma possível fusão entre experimentar e vivenciar, imprimimos ao processo o sentido mesmo de ‘experenciarmos’.

Nossos esforços foram justamente no sentido de superar algumas dificuldades materiais e técnicas, sugerindo a montagem e operação de instrumentos e de protocolos experimentais realizáveis nas escolas, de modo a

favorecer a curiosidade, a criatividade e autoconfiança dos alunos.

Uma das principais preocupações que tivemos ao longo do trabalho foi o de promover o uso de materiais disponíveis em lojas de utilidades, supermercados ou encontrados na sucata doméstica. A execução e montagem constituem-se em sugestões havendo amplo espaço para adaptações. São, por assim dizer, experimentos que podem ser realizados na “cozinha”. Na medida do possível evitou-se o uso de materiais tipicamente de laboratório para justamente procurar alternativas para quem não tem acesso aos reagentes e equipamentos de laboratório. Vivenciar este ambiente caseiro de possibilidades, na maior parte das vezes, é encarnar a realidade da maioria dos professores. Certamente quem tem acesso a um laboratório razoavelmente equipado pode potencializar ainda mais as propostas. Embora não tenha sido objetivo deste trabalho, a avaliação dos resultados das oficinas e da aplicação em sala de aula nos permite acreditar no potencial didático dos mesmos. Esperamos que inspire colegas professores e alunos a desenvolverem seus próprios projetos.

É muito importante despertar a consciência da reflexão crítica. O estudante deve compreender que a curiosidade é mola mestra da Ciência. Sobretudo, entenda que cultivar e aguçar esta curiosidade e a vontade de compreender os processos e as transformações da Natureza acaba por constituir-se em um amplo processo que transforma o próprio Homem e a conquista da cidadania. É preciso ensinar aos jovens a humildade frente ao *não-saber*, diariamente confrontado pelos cientistas (Caruso, 1996).

Como afirmado por Albert Einstein: “A experiência mais bela que podemos viver é o mistério; ele é a fonte de toda a verdadeira Arte e de toda a verdadeira Ciência. Quem não conhece esta emoção, quem já não possui o dom de se maravilhar, mais valia que estivesse morto, pois os seus olhos estão fechados”.

## 6. Referências Bibliográficas

ALMEIDA, A. M. O Papel do Trabalho Experimental na Educação em Ciências. **Comunicar Ciência**. Portugal: Ministério da Educação, Departamento de Ensino Secundário, a. 1, n. 1, 1998.

ALVES, R. F.; BRASILEIRO, M. C. E.; BRITO, S. M. O. Interdisciplinaridade: um Conceito em Construção. **Episteme**. Porto Alegre, n. 19, p. 139-148, 2004.

AMADOR, F. O “ciclo geológico” de James Hutton. **Cadernos Didáticos de Ciências**. Portugal: Ministério da Educação, Departamento de Ensino Secundário, v. 1, p. 19-25. 2001.

ARAUJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. São Paulo, v. 25, n. 2, p. 176-194, 2003.

ARNONI, M. E. B.; KOIKE, L. T.; BORGES, M. A. Hora da Ciência: um estudo sobre Atividades Experimentais no ensino do Saber Científico. Disponível em: URL: <http://www.unesp.br/prograd/PDFNE2003/Hora%20da%20ciencia.pdf>; acessado em 26/07/2007.

AXT, R.; MOREIRA, M. A. O Ensino Experimental e a Questão do Equipamento de Baixo Custo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. São Paulo, v. 13, p. 97-103, 1991.

BARRETO, M. O. O Papel da Criatividade no Ensino Superior. **Diálogos e Ciência**. Feira de Santana, a. 5, n. 12, p. 01-13, 2007.

CAZELLI, S.; FRANCO, C. Alfabetismo Científico: novos desafios no contexto da globalização. **Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências**. Belo Horizonte, v. 3, n. 1, p. 01-18, 2001.

COELHO, L. F. S. Uniformidade e Diversidade no Ensino da Física Básica: os Cursos de Física para Biologia, Desenho Industrial e Farmácia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. São Paulo, v. 24, n. 1, p. 47-60, 2002.

ERTHAL, J. P. C.; LINHARES, M. P. A Física das Radiações Eletromagnéticas e o Cotidiano dos Alunos do Ensino Médio: Construção de uma Proposta de Ensino. **Atas do V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, n. 5, 2005.

ERTHAL, J. P. C.; GASPAR, A. Atividades Experimentais de Demonstração para o Ensino da Corrente Alternada ao Nível do Ensino Médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. Florianópolis, v. 23, n. 3, p. 345-359, 2006.

GALIAZZI, M. C. *et al.* Objetivos das Atividades Experimentais no Ensino Médio: a pesquisa coletiva como modo de formação de professores de Ciências. **Ciência e Educação**. Bauru, v. 7, n. 2, p. 249-263, 2001.

GALIAZZI, M. C.; MARTINS, B. B. **Atividades Experimentais no Ensino de Química em uma abordagem Sociocultural**. 29<sup>a</sup> Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. 2006.

JAPIASSU, H.; MARCONDES, D. **Dicionário Básico de Filosofia**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1989. 300 p.

LÓPEZ, J.; ALMEIDA, R. L.; ARAUJO-MOREIRA, F. M. TRIZ: Criatividade como uma Ciência Exata? **Revista Brasileira de Ensino de Física**. São Paulo, v. 27, n. 2, p. 205-209, 2005.

MEC, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio**. Brasília: MEC, SEMTEC, 2000. 109 p.

MEC, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares**

**Nacionais.** Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC, SEMTEC, 2002. 144 p.

MEC, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio:** Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC, SEMTEC, 2004. 58 p.

MEC, Secretaria de Educação Básica. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio:** Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC, SEB, 2006a. 135 p.

MEC, Secretaria de Educação Básica. **Coleção Explorando o Ensino – Biologia** (Ensino Médio). Brasília: MEC, SEB, v. 6, 2006b. 125 p.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem.** São Paulo: EPU, 1999. 195 p.

OSTROWER, F. **Criatividade e Processos de Criação.** Petrópolis: Vozes, 2001. 187 p.

RICARDO, E. C. Implementação dos PCN em Sala de Aula: Dificuldades e Possibilidades. **Física na Escola.** São Paulo, v. 4, n. 1, p. 08-11, 2003.

RITLA. Avaliação do Programa CTC – **Ciência e Tecnologia com Criatividade no Município de Belo Horizonte** - Minas Gerais. Brasília, 2007. 59 p.

SABBATINI, R. M. E.; CARDOSO, S. H. Interdisciplinaridade e o estudo da Mente. Disponível em: URL: <http://serprofessoruniversitario.pro.br/ler.php?modulo=21&texto=1247>; acessado em 19/10/2007.

SANTOS, J. M. T. *et al.* Condensador de Liebig para Experimentação Alternativa e de Baixo Custo. **Revista Ciências Exatas e Naturais.** Garapuava, v. 7, n. 2, p. 221-228, 2005.

SARAIVA-NEVES, M.; CABALLERO, C.; MOREIRA, M. A. Repensando o Papel do Trabalho Experimental, na aprendizagem da Física, em sala de aula – um estudo exploratório. **Investigações em Ensino de Ciências**. Porto Alegre, v. 11, n. 3, 2007.

SIQUEIRA, H. S. G. **Formação interdisciplinar: exigência sócio-política para um mundo em rede**. Disponível em: URL: <http://www.angelfire.com/sk/holgonsi/mundorede.html>; acessado em 19/10/2007.

UNESCO. **Ciência e Tecnologia com Criatividade: Análises de Resultados**. Brasília, 2004. 120 p.

VELASCO, M. Experimentacion y Descubrimiento: algunas reflexiones desde La Epistemologia de la Experimentacion. **Episteme**. Porto Alegre, v. 3, n. 6, p. 137-143, 1998.

ZAMBONI, S. **A pesquisa em Arte: um paralelo entre Arte e Ciência**. Campinas: Autores Associados, 1998.

## ANEXO I

### Protocolo de Submissão de Manuscritos para SBG

#### 1) Informações gerais

**Autores:** Élgion Loreto; Paulo Sartori; Lenira Sepel

**Autor correspondente:** Élgion Loreto

**Email:** elgion@base.ufsm.br

**Endereço:** Departamento de Biologia- CCNE

Universidade Federal de Santa Maria

97105-900 Santa Maria - RS

**Nome do livro:**

RADIAÇÕES, MOLÉCULAS E GENES.

Atividades didático-experimentais

**Índice analítico:**

#### **Capítulo 1: Entendendo as radiações**

Definições básicas; classificação das radiações (tipos e características); radiações eletromagnéticas e corpusculares; radiações ionizantes e não-ionizantes; radiações naturais e artificiais; natureza dual: onda-partícula; interação com a matéria; transdutores biológicos e artificiais; espectroscopia; laser.

Atividades experimentais propostas para esse capítulo:

1) Radiação Infravermelha:

- a) Qual o efeito da radiação quase visível?
- b) Testando o poder de penetração de diferentes fontes IV.
- c) “Janelas” do Efeito Estufa: estamos abrindo ou fechando?

2) Radiação Visível:

- a) Decodificando a transdução quântica-elétrica das cores.
- b) Ferramentas de investigação: construindo Espectroscópios e Espectrômetros caseiros.

## **Capítulo 2: Onde a Física e a Biologia se encontram: as radiações e o funcionamento das moléculas biológicas**

Moléculas informacionais, fluxo da informação genética e as radiações ionizantes.

Atividades experimentais propostas para esse capítulo:

- 1) Herbicidas ladrões de energia.
- 2) A carteira de identidade da clorofila.
- 3) Mensurando moléculas.
- 4) Por que a vida prefere moléculas canhotas?
- 5) Efeito das radiações de microondas sobre lipídeos e açúcares.

## **Capítulo 3: Os sistemas biológicos submetidos às radiações**

Importância evolutiva das radiações; efeitos mutagênicos; radiações como agentes seletivos; genes para visão a cores em humanos; a variação clinal na pigmentação da pele nas populações humanas.

Atividades experimentais propostas para esse capítulo:

- 1) Flavonóides: protetores do DNA das plantas.

2) Sobrevivendo à exposição UV: experimentos com leveduras e batatas mostrando a ação biológica do UV nestes organismos.

## **Capítulo 4: Os sistemas biológicos produzindo radiações**

Fotoluminescência e o comportamento de moléculas foto-excitadas (fosforescência, fluorescência).

Atividades experimentais propostas para esse capítulo:

- 1) Clorofila fica luminescente?
- 2) Podemos usar a fotoluminescência como instrumento de análise?
- 3) Calcita, extrato de carqueja, água tônica e flores de *Dictamnus eufórbia*. Algo em comum?

## **Capítulo 5: Mitos e verdades sobre as radiações**

Efeitos das radiações solares, de microondas, telefones celulares, torres de transmissão e antenas.

Atividades experimentais propostas para esse capítulo:

- 1) Testando a eficácia dos protetores solares: agentes físicos e químicos.
  - a) Medida do poder refrativo de protetores solares.
  - b) Comparando o poder de absorção UV A e UV B solar: óculos e filtros
- 2) Investigação forense de biomoléculas: uma aplicação CSI (*Crime Scene Investigation*).
- 3) Alimentos processados no microondas fica contaminado? Radioativo?
- 4) Sobrevivendo a radiação de microondas.
- 5) Eletrosmog? Perigo Real?

## **2) Resumo do livro.**

O livro aborda de forma multidisciplinar a importância das radiações para os seres vivos.

Primeiramente, os conceitos básicos são apresentados, contextualizando onde e quando, nos seres vivos, as radiações são importantes. Além disso, busca apresentar os principais conceitos Físicos e Biológicos em uma linguagem acessível e integrando a Física e a Biologia.

Em todos os capítulos do livro, apresentamos atividades didático-experimentais, na forma de protocolos simples que empregam materiais de fácil obtenção.

As atividades experimentais se referem às radiações ultravioleta, infravermelha, visível e microondas. Todas podem ser realizadas em sala de aula e são comentadas, possibilitando o emprego dessas práticas como ferramentas de discussão de vários aspectos do cotidiano, como por exemplo: o uso de filtro solar e óculos de sol; radiações e mutações; os gases poluentes e a camada de ozônio; fluorescência e fosforescência; efeito de microondas nos alimentos, entre outros.

### **3) Responda todas as seguintes perguntas:**

**a) Qual é o objetivo do livro? Trata-se de um texto didático, de divulgação, de atualização ou de cunho técnico?**

Trata-se de um livro didático e pretende-se que tenha uso direto em sala de aula. Pensamos que as atividades experimentais são um componente essencial do ensino de Ciências e, por isso, o principal objetivo desse livro é apresentar atividades realizáveis em sala de aula, tanto para o ensino médio, como para os primeiros anos da graduação. Acreditamos que assim estaremos reduzindo um pouco a distância entre alguns conceitos originados da Física e alguns conceitos fundamentais para a Biologia, auxiliando no entendimento interdisciplinar de fenômenos biológicos envolvendo radiações e os seres vivos.

**b) Qual o público alvo?**

Professores de Biologia do ensino médio; professores e alunos de Genética, Biofísica e disciplinas afins de cursos de graduação das áreas biológicas.

**c) Porque, em sua opinião, a SBG deveria publicar este livro?**

Porque uma apresentação interdisciplinar, associando os conceitos de Física e Genética facilita o entendimento de fenômenos básicos e permitem uma melhor compreensão da evolução dos sistemas biológicos. Também porque, de modo geral, há uma carência de propostas que integrem conhecimentos teóricos, situações do cotidiano e atividades práticas. Acreditamos que esse texto, embora seja uma contribuição pontual, abordando especificamente as questões associadas ao tema radiações, pode ser um auxílio efetivo para a divulgação de conhecimentos de genética e do ensino nessa área.

Tivemos uma proposta anterior apoiada pela SBG intitulada “Atividades Experimentais e Didáticas de Biologia Molecular e Celular”. A nossa avaliação é que este trabalho teve uma boa acolhida pela comunidade e tivemos “relatos de casos” de que o trabalho contribuiu para a melhoria de atividades didáticas. Pensamos que esta proposta guarda muitas semelhanças com o anterior e que também possa contribuir da mesma maneira.

**d) Qual a experiência original e direta dos autores com o tema? Favor enviar a lista de publicações dos autores no tema específico.**

- Experiência didática em graduação: os autores ministram, a vários anos, disciplinas de Genética e Biologia Celular e Molecular (E.L; L.S); Biofísica (P.S).
- Pós-graduação na área: membro do curso Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde/UFRGS. Neste curso, estamos desenvolvendo pesquisas e propostas didáticas. Parte delas resultou neste livro que estamos propondo.

**Publicações:**

**Livro editado pela SBG:**

LORETO, E. L. S. ; SEPEL, L. M. N. . Atividades Experimentais e Didáticas de Biologia Molecular e Celular. 2a. ed. São Paulo: Editora da Sociedade Brasileira de Genética, 2003. v. 1. 82 p.

**Artigos publicados (na área de ensino):**

SEPEL, L. M. N. ; LORETO, E. L. S. . RELAÇÃO ENTRE MEMBRANA PLASMÁTICA E CITOESQUELETO NA FORMA CELULAR: UM ESTUDO COM MODELOS. Revista Brasileira de Ensino de Bioquímica e Biologia Molecular, v. 1, p. 1-6, 2003.

DEPRA, M. ; SEPEL, L. M. N. ; LORETO, E. L. S. . A low-cost apparatus for transforming Drosophila and detecting Green Fluorescent Protein (GFP) genetic markers. Genetics and Molecular Biology, v. 27, n. 1, p. 70-73, 2004.

LORETO, E. L. S. ; SEPEL, L. M. N. . A escola na era do DNA e da Genética. Ciência e Ambiente, Santa Maria-RS, v. 26, p. 148-156, 2003.

SEPEL, L. M. N. ; LORETO, E. L. S. . Isolation and visualization of nucleic acid with homemade apparatus: practical activities to Secondary School. Biochemistry And Molecular Biology Education, Philadelphia, PA, v. 30, n. -, p. 306--308, 2002.

LORETO, E. L. S. ; SEPEL, L. M. N. . SENSO COMUM E O ENSINO DE CIENCIAS. Revista de Educação, CE/UFSM/ Santa Maria-RS, v. 14, n. 1, p. 111-122, 1989.

**e) A sua previsão seria da venda de quantos exemplares no primeiro ano?**

Entre 1000-1500 exemplares.

**f) Há alguma outra sociedade ou entidade que poderia participar dos custos?**

Não estabelecemos nenhum contato, porém isto poderia ser feito. Talvez a Sociedade Brasileira de Física (SBF).

## ANEXO II

# ANÁLISE DO TEOR DA CLOROFILA ACERCA DA VARIACÃO DE LUZ NA PLANTA DO GÊNERO PHALARIS

**PALAORO, Alexandre V., BRASIL, Ariel Ferreira, DA SILVA, Cauã Ferreira, MARIANO, Douglas Oscar Ceolin, DE AZAMBUJA, Natasha Rodrigues**

### RESUMO

Intrigados com os fenômenos que cercam a morfologia vegetal, desenvolvemos um experimento com uma planta do gênero Phalaris conhecida popularmente por alpiste, a fim de atravessarmos a fronteira do positivismo rumo ao conhecimento empírico. Desta maneira buscamos dados quantitativos da clorofila em relação à presença de luz, pois sabemos que esta está relacionada com a sobrevivência em longo prazo da planta.

Observamos também a influência desses dados com relação à germinação e o crescimento das nossas amostras.

Esse nosso importante trabalho seria um ponto de partida importantíssimo para uma série de experimentos, com vegetais de diversos gêneros, com o intuito de se obter com melhor precisão dados sobre o comportamento vegetal em relação à variação de luz.

## INTRODUÇÃO

Nosso trabalho tem como objetivo observar as características apresentadas pelas plantas – no nosso caso os alpistes – plantadas em meios iguais, mas em condições de luminosidade diferentes.

Ele consiste em plantar sementes de alpiste em três locais onde os níveis de luz são diferentes, e observar em qual destas houve um melhor resultado na taxa de germinação, no tamanho médio alcançado pelas plantas e principalmente na quantidade de clorofila presente nas folhas das amostras plantadas.

Para esse fim, utilizamos um espectrofotômetro caseiro com o objetivo de conseguir resultados que revelam a quantidade de clorofila existente nas folhas do alpiste. Nos outros quesitos utilizamos apenas observações entre as amostras para chegarmos a uma conclusão.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Na sexta-feira, do dia vinte de julho de 2007, foram realizados testes a fim de se obter resultados sobre a quantidade de clorofila presente nas folhas de alpiste.

As plantas foram cultivadas durante duas semanas, sendo mantidas isoladas em três situações distintas: em contato direto com a luz solar, na sombra e a última mantida em completa escuridão.

O método utilizado para se obter as amostras de clorofila das plantas, consiste em macerar 700 mg de folhas de alpistes com um pistilo em uma cúbica acrescida de 1ml de álcool. Após este processo, retiram-se as folhas e coloca-se a solução em um tubo para amostras contendo 8ml de álcool. No final, as soluções apresentaram um volume de 10,5 ml.

O dispositivo utilizado para a medição da quantidade de clorofila nas

folhas foi um espectrofotômetro caseiro. Este aparelho é composto por um LED azul, um resistor, uma fonte de energia de 12 volts, um LDR (Light Dependence Resistor ou Resistor Variável de luz), um tubo para por a amostra e um multímetro.

Para montá-lo, necessita-se ligar o LED num resistor e em uma fonte de energia. O LDR é associado a um multímetro, que está ligado na chave seletora da resistência no valor de 2000 K. O espectrofotômetro consiste em posicionar o LED na frente da amostra, e atrás, posiciona-se o LDR. Assim, ao ligar o LED na fonte de luz, o LDR irá indicar, através do multímetro, a quantidade de luz que passa pela amostra.

O experimento foi realizado em uma caixa escura, com o intuito de se eliminar fatores externos.

## **RESULTADOS**

Realizado os testes, três vezes para cada amostra, com o

espectrofotômetro caseiro, observou-se que os menores índices de clorofila encontrados ficaram a cargo das plantas localizadas em plena escuridão. Estas apresentavam um alto crescimento de suas folhas, tiveram um índice médio alto para a germinação de suas sementes, além de terem suas folhas completamente amareladas devido a pouca quantidade de clorofila produzida pelos cloroplastos.

As plantas do sol apresentavam as maiores concentrações de clorofila. Suas folhas continham uma coloração verde escura, tendo uma quantidade de germinação das sementes média e baixo índice de crescimento das folhas.

Tendo como resultado intermediário de clorofila, as folhas das plantas da sombra eram verde clara. Porém, foram as que mais germinaram e cresceram, desenvolvendo-se muito bem.

Interpretam-se os resultados da tabela abaixo da seguinte maneira: O LDR é um sensor que capta a quantidade

de luz. Ao indicar um, significa que 100% da quantidade de luz está sendo captado por seu sensor.

Assim, quanto maior for o valor registrado, menor será a quantidade que luz que está chegando no LDR e maior

será a concentração de clorofila presente nas folhas.

*Tabela I: apresenta os valores obtidos com a medição*

AMBIENTE	RESULTADOS DA MEDIÇÃO ( RESISTÊNCIA 2000K )
Na caixa	50
Na caixa, mas com o LED ligado	1
Na caixa com o LED ligado e a amostra do sol	Entre 30 e 33
Na caixa com o LED ligado e a amostra da sombra	Entre 24 e 26
Na caixa com o LED ligado e a amostra do escuro	Entre 16 e 18

## **DISCUSSÕES**

A clorofila consegue absorver comprimentos de onda azul, violeta, vermelho, mas acaba refletindo o verde. Diante dos resultados obtidos com o comprimento de onda azul e o espectrofotômetro, nota-se que quanto mais as folhas de alpistes entrarem em contato com a luz solar, maiores serão as taxas de clorofila nas membranas dos tilacóides.

Porém, como foram constatadas, as plantas que mais cresceram foram as localizadas na sombra e no escuro. No entanto, não podemos afirmar o motivo que levou a isso, pois existem fatores que poderiam ter interferido, tais como as diferenças de temperaturas, chuvas, tipo de planta, que podem ou não ter retardado o crescimento dos alpistes da outra amostra.

Uma outra observação a ser relatada, mas importante, é o fato destes resultados não representarem fielmente a realidade para todas as espécies de planta. Cada espécie apresenta suas próprias características de desenvolvimento e, além do mais, como já foi citado, os fatores ambientais também podem ajudar a interferir no experimento. No entanto, alguns artigos que foram publicados evidenciando o estudo com outras espécies de plantas - artigos encontrados nas referências -, apresentaram alguns resultados próximos aos que foram encontrados com o nosso simples experimento.

Por isso seria interessante serem realizados outros testes, mas utilizando-se plantas de gêneros diferentes, porém em condições climáticas iguais. Desta forma poder-se-iam obter resultados mais confiáveis e precisos.

Há uma questão curiosa a ser relatado que ocorreu. O fato das amostras

reagirem com a iluminação do LED no escuro, tornando a solução avermelhada. Entretanto, isto pode ser explicado, pois os elétrons da clorofila que absorveram a luz apresentavam-se impulsionados temporariamente a um nível de energia elevado, chamado ESTADO ATIVADO. Ao voltar para o seu estado normal, os elétrons liberam energia e neste caso, é liberada na forma de calor ou calor combinado com uma luz de comprimento de onda mais longo. Este fenômeno chama-se FLUORESCÊNCIA.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Apostilas das aulas de Biologia Celular e polígrafo cedido pelo Professor Élgion Loreto;
- LIMA JUNIOR, Érico de Castro, ALVARENGA, Amauri Alves de, CASTRO, Evaristo Mauro de *et al.* Gas exchange and initial growth of young leaves of *Cupania vernalis* camb. submitted to different shading levels.

*Cienc. Rural*, Sept./Oct. 2005, vol.35,  
no.5, p.1092-1097.

- NAKAZONO, Érika Matsuno, DA  
COSTA, Maria Clara, FUTATSUGI,  
Kaori, PAULILO, Maria Terezinha  
Silveira. Crescimento inicial de *Euterpe*  
*edulis* Mart. em diferentes regimes de luz.  
Rev. bras. Bot. v.24 n.2 São  
Paulo jun. 2001.

- FERRI, Mário Guimarães.  
FISIOLOGIA VEGETAL 1. editora  
E.P.U., 2ª ed.,1983.