



**THIAGO MIRANDA DE OLIVEIRA**

**SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA A ABORDAGEM DO EFEITO FOTOELÉTRICO NO  
ENSINO FUNDAMENTAL**

Produto do mestrado profissional apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática.

Linha de Pesquisa: Ensino e Aprendizagem em Ciências e Matemática

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Kojoy Takahashi

Uberlândia/MG  
2019

## **APÊNDICE A - O Produto Educacional**

O convívio diário com estudantes no ambiente escolar e com suas periódicas queixas para compreender a Física foram motivações para escrever este trabalho simples e dinâmico que ajudasse a superar algumas dessas dificuldades.

Com base nas discussões foi possível redefinir a proposta da Sequência Didática. A SD tem como foco principal a tentativa de promover o engajamento dos estudantes em atividades propostas pelo professor a fim de compreender a natureza da luz como partícula a partir do fenômeno do Efeito Fotoelétrico. Este fenômeno foi crucial para o reaparecimento do modelo corpuscular proposto para a luz a partir da explicação dada por Albert Einstein.

Esta sequência didática, preparada para ser desenvolvida em 10 (dez) aulas de 50 (cinquenta) minutos cada, tendo por objetivo apresentar conteúdos de Física Moderna e Contemporânea numa linguagem simples e que auxilia a compreensão das tecnologias atuais que modificam nossa interação com o mundo.

Nesse empreendimento, pautou-se no uso de Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC) como recursos didáticos e em técnicas de ensino da área educacional que intencionam colocar o estudante em uma posição ativa durante seu processo de aprendizagem.

Todas as atividades descritas nessa SD servirão como referencial para que os professores tenham uma breve orientação para se orientarem ao longo da aplicação, portanto elas servirão como modelos, podendo ser substituídas por outras atividades de acordo com as suas realidades.

Abaixo seguirão determinadas descrições das aulas da SD.

Bom trabalho!

O autor

## SUMÁRIO

|  |     |
|--|-----|
| Aula 1 – Problematização Inicial.....  | 122 |
| Aula 2 – Construção de um Mapa Conceitual com os Alunos .....                                    | 127 |
| Aula 3 – A Radiação Eletromagnética como Pacotes de Energia .....                                | 131 |
| Aula 4 – Interpretação de Planck do Espectro Eletromagnético.....                                | 134 |
| Aula 5 – Apresentação do Modelo Corpuscular de Einstein.....                                     | 137 |
| Aulas 6 e 7 – Interpretação do Efeito Fotoelétrico a partir de uma Simulação ....                | 140 |
| Aulas 8 e 9 – Avaliação da Aprendizagem: Discussão das Atividades sobre Efeito Fotoelétrico..... | 145 |
| Aula 10 – Avaliação da Aprendizagem: Apresentação dos Mapas Conceituais ..                       | 147 |

## Aula 1 – Problematização Inicial

Esta aula poderá ser desenvolvida na sala de aula e serão necessários recursos digitais, mais especificamente, projetor multimídia equipado com áudio.

Durante esta aula pretende-se fazer a apresentação da proposta didática e coleta dos dados de contato dos alunos; realizar a problematização da sequência didática; fazer o levantamento dos conhecimentos prévios dos estudantes.

No início da aula sugere-se organizar as cadeiras na forma de um círculo, no qual cada aluno deverá ocupar o seu lugar e o professor fará a apresentação da proposta didática.

Na sequência, apresentasse a problematização inicial. Como problematização, sugere-se inicialmente apresentar manchetes de notícias veiculadas na internet que envolvam fenômenos de interação da radiação com a matéria. No Quadro 1 estão as notícias selecionadas que envolvem o uso do protetor solar.

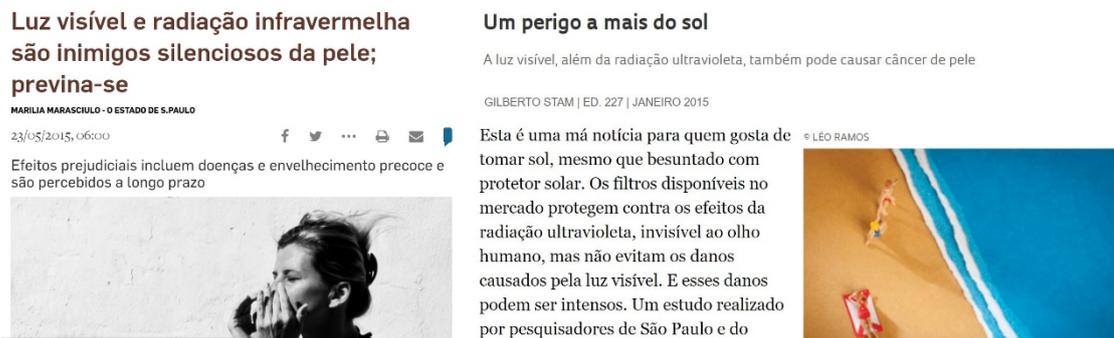
Quadro 1 - Manchetes que destacam o uso do protetor solar.

| <b>Contexto</b>  | <b>Notícia</b>  |
|--|---|
| O cuidado da exposição ao Sol e o uso do protetor solar. | Luz visível e radiação infravermelha são inimigos silenciosos da pele; previna-se.                        |
|  | Um perigo a mais do sol: A luz visível, além da radiação ultravioleta, também pode causar câncer de pele. |

Fonte: Elaborado pelo autor.

As duas manchetes servirão para mostrar a preocupação das mídias com os riscos de exposição ao Sol. Mostraremos as reportagens na forma de uma imagem (figura 1) destacando as manchetes dessas notícias, funcionando como uma prévia da notícia principal que selecionamos.

Figura 1 - Manchetes sobre a interação da luz solar com a pele



Fonte: Estadão e Revista Pesquisa.

Dessa forma, a intenção não fazer leitura dessas notícias, elas servirão de introdução ao tema para apresentar às notícias que irão ser discutidas com os alunos. Aconselha-se fazer uma leitura dos títulos e apontar a data de publicação das reportagens.

Posteriormente, assistir-se-á com os alunos a um vídeo que mostra a notícia principal. O vídeo junta duas reportagens, uma exibida pelo programa Bem Estar e um recorte de outra reportagem exibida pelo Fantástico. A reportagem exibida pelo programa Bem Estar em fevereiro de 2014, explica como o protetor solar age sobre a pele. No mesmo intuito, a reportagem exibida pelo Fantástico em janeiro de 2015, um cineasta utiliza uma câmera especial mostrando ação do protetor solar na pele humana num dia ensolarado.

Ambas as reportagens mostram o efeito do protetor solar sobre a pele, mas não explicitam como a radiação interage com a pele podendo causar danos nas células epiteliais e nem como os protetores funcionam do ponto de vista da interação com a radiação.

A partir de então, fez-se recortes das cenas, para colocar em evidência a radiação interagindo com a pele e com protetor solar. Na sequência, após assistir o vídeo questionou-se os estudantes: “Nessas cenas o que chamou a sua atenção?” “O que você percebeu de diferente?” “O que você sabe me dizer sobre?” “O que é radiação?” “O que é luz?” “A luz é uma radiação?”.

A observação da interação da radiação solar com a pele servirá de ligação com o tema interação entre a radiação e matéria (metal) que será largamente discutido no transcorrer da sequência didática. Nesse sentido, após a discussão das cenas fez-se

a seguinte pergunta: “Será que a radiação interage apenas com a pele, você conhece exemplos de interação da radiação com outros materiais? ”.

Na sequência, recomenda-se mostrar a imagem de duas manchetes que envolvem o uso de painéis solares para captação de energia solar (figura 2). Seguindo a proposta anterior quando, as manchetes serão apresentadas com a intenção de direcionar a atenção dos estudantes para interação entre a radiação e outros materiais, por exemplo, metais.

Figura 2 - Manchetes sobre coletores de energia solar.



Fonte: G1 e UOL Economia.

No Quadro 2 estão as notícias selecionadas que envolvem o uso de coletores solares para obtenção de energia elétrica ou energia térmica.

Quadro 2 - Manchetes ressaltando o uso dos painéis solares.

| Contexto                                | Notícia  |
|---|--|
| Painéis para captação de energia solar. | Estudante da UFPB desenvolve filtro que refrigera água usando energia solar. |
|   | Energia que vem do céu.  |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para enfatizar a discussão, levaremos para a sala de aula uma pequena placa coletora de energia solar, um led e uma luminária, representando uma fonte de luz, para mostrar na prática um pequeno coletor solar em funcionamento. Os equipamentos estão representados na figura 3.

Figura 3 - Kit placa solar.



Fonte: Própria.

Sugere-se inicialmente, conectar o led na placa solar e, sem a presença da luz da luminária, pedir aos alunos para que verifiquem se o led está aceso. Num momento subsequente, colocar a luz na luminária e ligar, aproximar a placa solar com o led de modo que a placa fique na região de luz emitida pela luminária, pedir aos alunos que verifiquem se o led irá acender.

Para dar sequência na problematização, propõe-se a seguinte questão: “O que você acha que acontece para o led acender quando a placa está na presença da luz da luminária?”.

Entende-se que falta uma pergunta geral que leve os estudantes a perceberem a necessidade de aprender algo novo para responde-la. Uma pergunta de tal tipo seria respondida apenas ao final da SD, depois de trabalhar o conceito de efeito fotoelétrico. Então sugere-se a seguinte pergunta: “Vocês conseguem me explicar por que e/ou como todos os fenômenos que viram até agora ocorrem na natureza?”.

Nesse momento, indica-se a provocação de uma discussão em torno da interação da radiação a matéria na tentativa de identificar os conhecimentos prévios dos alunos relacionados aos conceitos ligados a luz transportar energia; como essa energia pode ser representada; conhecimento do espectro eletromagnético; a relação da energia transportada pela radiação com a frequência; como a energia é transferida para o material; ideias relacionadas ao princípio da conservação da energia.

Para direcionar a discussão recomenda-se fazer recortes de trechos das reportagens para assistir novamente e/ou usar a própria placa coletora e fazer perguntas como:

- Você consegue me explicar de que é feita a luz da luminária e/ou a luz

que vêm do Sol?

- A luz do Sol queima e danifica a pele, certo! Então a luz tem energia? Você consegue me explicar como é essa energia? O que ela é?
- Você sabe me dizer de que maneira a energia presente na luz se relaciona (interage) com a pele? E com a placa coletora?
- Você acha que a interação da luz com a pele é semelhante a interação da luz como placa do coletor. Tente explicar.
- Me parece que a nossa pele e o coletor recebem essa energia da luz, você consegue me explicar como isso acontece?

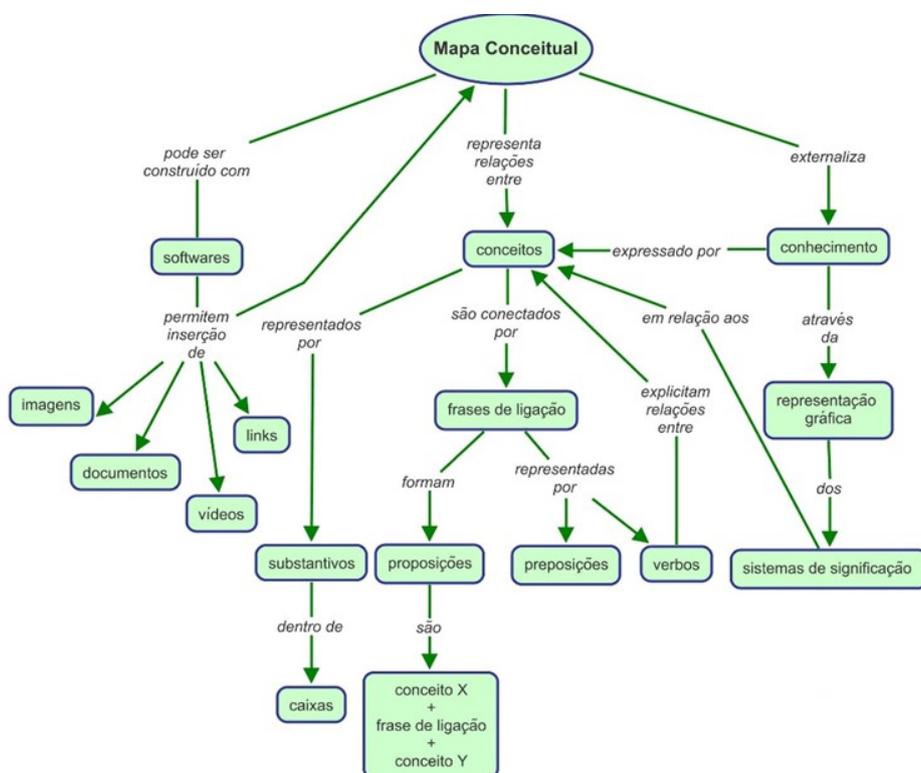
Desse modo, tenta-se conhecer quais os conhecimentos prévios presentes na estrutura cognitiva dos estudantes, esses conhecimentos foram chamados por Ausubel de subçunçores.

## Aula 2 – Construção de um Mapa Conceitual com os Alunos

O mapa conceitual é uma organização esquemática para representar um conjunto de conceitos imersos numa rede de proposições. Ele é considerado como um estruturador do conhecimento, na medida em que permite mostrar como o conhecimento sobre determinado assunto está organizado na estrutura cognitiva de seu autor, que assim pode visualizar e analisar a sua profundidade e a extensão (Tavares, 2007).

A figura 26 retrata as principais características de um mapa conceitual destacando que para construir pode-se utilizar softwares que permitem a inserção de imagens, documentos, vídeos, links e ainda armazena seu mapa de forma digital. Além disso, informa que os conceitos são conectados por frases de ligação que são proposições representadas por preposições ou verbos que explicitam as relações ente os conceitos.

Figura 4 - Organização e características de um mapa conceitual



Fonte: Corais.org.

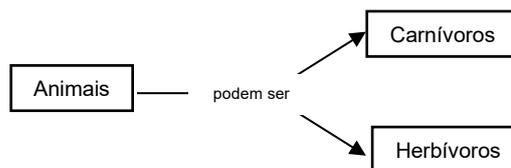
Para que os alunos compreendam como fazer um mapa conceitual, entende-se que é necessário fazer um mapa com eles. Portanto, recomenda-se a confecção de um mapa conceitual em sala sobre os tipos movimento, tema que pressupõe já ter sido estudado no 1º bimestre. Durante a elaboração e desenvolvimento, destacar a importância de cada etapa sugerida abaixo.

É importante a participação dos alunos em todas as etapas, discutindo quais os conceitos envolvidos na ideia de movimento, elencando o conceito mais geral, colocando-o sem ordem hierárquica e estabelecendo a relação entre os eles elaborando as frases de ligação.

A seguir traz-se algumas etapas para nortear a construção do mapa em sala que, posteriormente poderá ser usada pelos alunos quando forem fazer seu próprio mapa. São elas:

- 1) **Escolha a ferramenta para fazer o mapa conceitual:** escolha um meio no qual desenhar seu mapa conceitual. Algumas pessoas preferem lápis e papel ou um quadro branco, enquanto outras usam softwares especialmente desenvolvidos para a tarefa.
- 2) **Identifique os conceitos pertinentes:** selecione os conceitos mais importantes sobre o tema a ser trabalhado e faça uma lista. Descreva cada conceito o mais brevemente possível. Geralmente uma ou duas palavras por ideia são suficientes.
- 3) **Organize os conceitos hierarquicamente:** ordene a sua lista de conceitos colocando na parte superior aqueles com sentido mais amplo e geral, deixando na parte inferior da lista os conceitos mais específicos. Você pode arrastar as formas para uma lista real, ou simplesmente organizá-las na ordem aproximada em que elas aparecerão quando o diagrama for concluído.
- 4) **Estabeleça relação entre os conceitos:** identificado o conceito mais amplo ou principal, coloque-o no topo da página e desenhe setas que se estendam para conecta-lo aos próximos dois ou três conceitos mais importantes. Para conectar os conceitos escreva sobre seta frase de ligação que definam a relação entre os conceitos (figura 5).

Figura 5 - Exemplo de relação entre conceitos.



Fonte: Própria.

- 5) **Revise seu mapa conceitual:** dificilmente elabora um bom MC na primeira tentativa. Por outro lado, você não precisa jogá-lo fora e começar tudo novamente. Revise e altere a primeira versão do seu mapa conceitual. Você pode incluir, retirar ou alterar os conceitos gerais e específicos.
- 6) **Verifique possíveis ligações cruzadas entre conceitos:** após revisão seu mapa conceitual você pode perceber relações entre conceitos que não estão conectados. Adicione novas ligações entre os conceitos: as ligações cruzadas podem ajudar você a observar novas maneiras de relacionar os conceitos.

Assim, sugere-se que no início da aula o professor explique o que é o mapa conceitual e quais seus objetivos. Em seguida, informar que em equipe, professor e alunos, farão um mapa conceitual sobre os tipos de movimento e suas características. É importante frisar que o mapa terá apenas os conceitos estudados até o momento.

Faça a seguinte questão aos alunos: “Quando pensamos nos tipos de movimento e suas características, quais os conceitos você percebe que estão envolvidos?” Caso nenhum aluno se manifeste ou apareça ideias divergentes da direção que queremos tomar, indica algumas opções como, por exemplo, “A aceleração e velocidade tem alguma coisa a ver com o movimento? ”. Escreva os conceitos numa parte do quadro.

Após levantar os conceitos envolvidos, estabeleça juntamente com os alunos uma relação hierárquica dos conceitos, do mais geral para o mais específico.

Agora, coloque o conceito mais amplo na parte superior do quadro branco, e selecione outros 2,3 ou 4 conceitos para adicionar embaixo do conceito geral. Evite colocar mais do que 3 ou 4 conceitos embaixo de qualquer outro conceito.

Em seguida, ligue os conceitos, dois a dois, usando setas para estabelecer a ordem para a leitura do mapa. Escreva sobre as setas as frases de ligação. Você

deverá usar uma palavra ou poucas palavras que definam uma relação entre os conceitos.

Revise o mapa conceitual e verifique a possibilidade estabelecer ligações cruzadas entre os conceitos.

Após esse momento, deixe claro que é possível elaborar diferentes mapas para o mesmo conjunto de conceitos. Por isso, não existe um mapa correto

É possível elaborar diferentes mapas para o mesmo conjunto de conceitos. Por isso, não existe um mapa certo ou mapa errado. Existem mapas com uma demonstração de grande conhecimento sobre as possíveis relações entre os conceitos mostrados. O mapa conceitual é pessoal e ele certamente vai mudando na medida em que você vai adquirindo mais conhecimentos. Assim, é natural que você mude seu mapa de conceitos ao longo da aplicação da proposta de sequência didática, uma vez que será propomos como forma de avaliação da sequência a criação de um mapa conceitual no início, no meio e no fim.

Por fim, antes de encerrar a aula deve-se explicar aos alunos que, em grupos de no mínimo quatro e no máximo 5 componentes, eles farão durante a aplicação da pesquisa três mapas conceituais como forma de tarefa de casa. O primeiro será após a aula cinco onde será apresentada a teoria da quantização de Planck. Este mapa terá como conceito principal a Teoria de Planck. O próximo será após a aula 7 e terá como o fenômeno do Efeito Fotoelétrico como conceito principal e deverá ser feito através da reorganização do mapa anterior associando os conceitos já apresentados com os novos que eventualmente forem apresentados durante as aulas. Por fim, após fazerem a avaliação final do conhecimento, terão a oportunidade de reconstruírem o mapa sobre o “Efeito Fotoelétrico” para apresentarem para turma como atividade avaliativa da sequência didática.

### Aula 3 – A Radiação Eletromagnética como Pacotes de Energia

Nesta aula, sugere-se apresentação da teoria proposta por Planck, que foi o primeiro a considerar a energia total da radiação eletromagnética como a soma das energias de unidades (pacotes) quantizados, conhecida como teoria da quantização da energia.

O objetivo é esclarecer que, em sua teoria cada um desses pacotes possui uma energia bem definida, que corresponde a múltiplos de determinadas frequências. Cada um desses pacotes tem sua energia dada pela equação de Planck:  $E = h \cdot f$ , em que  $f$  é a frequência da luz ou da radiação emitida e  $h$  é a famosa constante de Planck, cujo valor é:  $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$  J.s ou  $4,2 \cdot 10^{-15}$  eV.s.

Esses pacotes de energia são os fótons, isto é, a menor porção de radiação eletromagnética que pode existir, qualquer que seja seu comprimento de onda ou frequência. Nesse sentido, faz-se necessário entender a radiação eletromagnética como um conjunto de pacotes (partículas) discretas chamadas fótons. Podemos associar aos fótons energia ( $E$ ) e quantidade de movimento ( $Q$ ).

Na sequência proposta, optou-se por não apresentar as grandezas quantidade de movimento e comprimento de onda, por entender que para falar sobre isso há a necessidade de um aprofundamento do tema, o que foge do objetivo da SD.

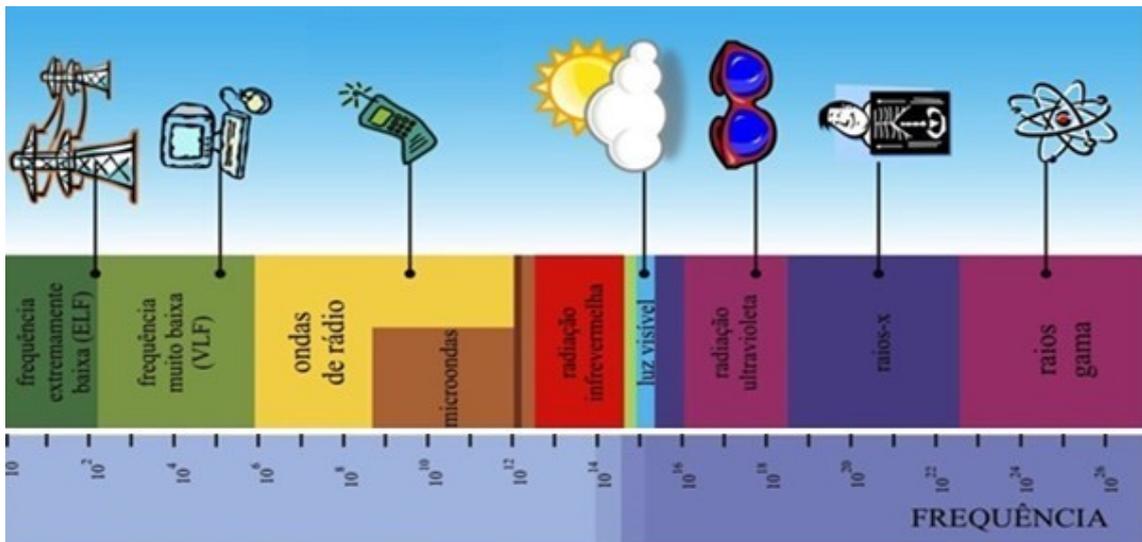
Os fótons apresentam propriedades interessantes, como:

- Sempre se move a velocidade da luz (a qual varia de acordo com o meio no qual ela viaja) em relação a todos os observadores;
- São partículas que não apresentam massa;
- São partículas que possuem energia bem definida.

A equação de Planck nos diz que a energia das radiações eletromagnéticas, podem ser ordenadas de maneira contínua em função de sua frequência, sendo esta disposição denominada "espectro eletromagnético". Este apresenta subdivisões de acordo com as características de cada região.

O espectro eletromagnético se estende desde de radiações de baixa energia até as radiações de alta energia, por exemplo, a radiação ultravioleta, raios x, raios gama, como mostra a Figura 6.

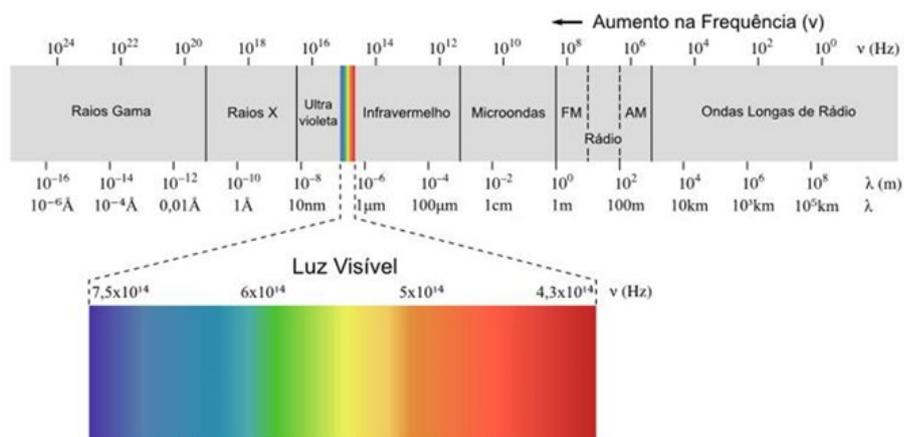
Figura 6 - Espectro eletromagnético adaptado de resumo escolar



Fonte: Resumo escolar.

Dentro dessas radiações estão inclusas porções de energia que podem ser visualizadas por nossos olhos, a luz visível, destacada na Figura 7.

Figura 7 - Espectro das radiações eletromagnéticas destacando a parte visível da não visível



Fonte: Adaptado de Lua tecnologia e arte.

Embora essas formas de radiação pareçam ser muito diferentes umas das outras, elas estão relacionadas, uma vez que todas elas exibem características semelhantes.

Com intuito de familiarizar os alunos com a equação proposta por Planck, sugere-se que sejam formados grupos para efetuar o cálculo da energia

transportada por um fóton de algumas radiações. Deve-se ressaltar para os estudantes que os grupos deverão ser os mesmos que realizaram a primeira atividade.

Desse modo, cada grupo deverá calcular a energia transportada por um fóton da radiação correspondente ao seu grupo. O Quadro 3 qual radiação coube a cada grupo.

Quadro 3 - Frequência das radiações corresponde a cada grupo

| <b>Grupo</b> | <b>Radiação</b>      | <b>Frequência (Hz)</b> |
|--------------|----------------------|------------------------|
| 1            | UV-A                 | $8 \times 10^{14}$     |
| 2            | Luz visível vermelha | $4 \times 10^{14}$     |
| 3            | Luz visível amarela  | $5 \times 10^{14}$     |
| 4            | UV-C                 | $20 \times 10^{14}$    |
| 5            | Luz visível azul     | $6 \times 10^{14}$     |
| 6            | UV-B                 | $11 \times 10^{14}$    |
| 7            | Infravermelho        | $3 \times 10^{14}$     |
| 8            | Micro-ondas          | $3 \times 10^{11}$     |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a realização dos cálculos sugere que os grupos socializem os valores encontrados para a energia do fóton e que o professor anote no quadro o resultado de cada grupo. Na sequência pedir que os alunos coloquem as radiações presentes no quadro 19 em ordem crescente de energia.

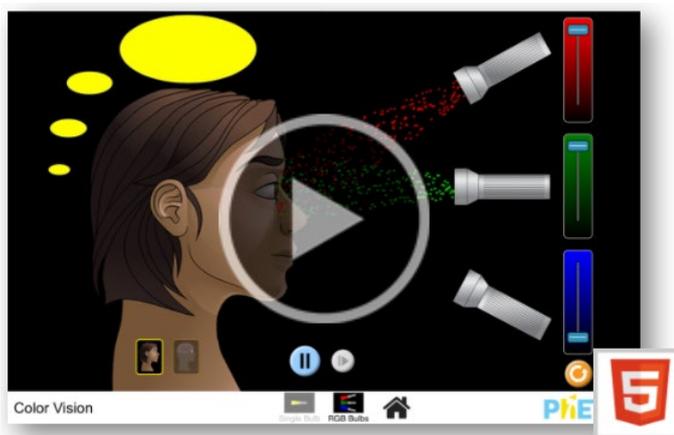
Para encerrar está aula sugere olhar novamente para a imagem do espectro eletromagnético representado na figura 7, destacando a relação entre a energia transportada por um fóton e a frequência da radiação.

## Aula 4 – Interpretação de Planck do Espectro Eletromagnético

Esta aula também poderá ser desenvolvida no laboratório de informática, pois iremos dividir os alunos em grupos para explorarem uma simulação.

A simulação que iremos utilizar é chamada Visão de cor e está disponível no laboratório virtual gratuito PhET (Physics Education Technology) – Interactive Simulations (Figura 8). O uso da simulação tem o objetivo de discutir que luz branca é composta por todas as cores, em outras palavras por fótons de todas as frequências e a observação do que de fato ocorre com os fótons de determinada cor quando utilizamos um filtro.

Figura 8 - Simulação computacional: Visão de cor.



Fonte: Phet Colorado.

Para o primeiro contato dos alunos com simulação, aconselha a formação de grupos para acessar a simulação através do site indicado pelo professor. Mais uma vez, a sugestão é que os grupos sejam os mesmos que realizaram as atividades anteriores.

Inicialmente os grupos terão cinco minutos para explorar a simulação e, por si só, descobrir as funções de cada comando. Em seguida, sugere-se que o professor pergunte aos alunos do que se trata a simulação e em seguida fale sobre os elementos presentes na simulação destacando os principais.

Com a simulação projetada, desviar a atenção para os elementos tipo de lâmpada e tipo de feixe. Questionar os estudantes quanto a diferença entre a lâmpada branca e lâmpada colorida e entre feixe sólido e feixe granulado. Esses

questionamentos são uma tentativa de perceber se eles relacionam o feixe granulado com a questão da energia transmitida pela radiação ser composta por pacotinhos de energia.

Após essa discussão, solicitar que os grupos liguem a lanterna e observem qual será a cor vista pela pessoa e pedir que expliquem o que foi observado. Nesse momento, aconselha não seja estipulado parâmetros a ser seguido, assim o grupo estará livre para escolher qual tipo de lâmpada irá utilizar. Após um determinado tempo de exploração da simulação, sugere-se que o professor peça a os grupos se manifestem dizendo quais os resultados obtidos tentando explicar o porquê do seu resultado. Nesse momento, como cada grupo poderá exploração a simulação de uma maneira diferente, na hora de socializar poderá surgir momentos em que um grupo complemente a colocação do outro e assim construir o entendimento a respeito da situação proposta.

O papel do professor durante a exploração da simulação pelos grupos, será no sentido de auxiliar os alunos em dúvidas com relação à interpretação da tarefa a ser executada ou com alguma dificuldade de utilização da simulação.

Na sequência, o professor pedirá que os grupos não manipulem a simulação e que tentem responder a questão: “Qual cor será vista pela pessoa ao utilizar um filtro, por exemplo, de cor amarela?”. Após uma breve discussão onde, provavelmente, serão levantadas hipóteses do que poderá acontecer, os estudantes poderão acessar a simulação para testar suas hipóteses.

Logo após testarem as hipóteses, sugere-se que os grupos analisem a cor vista pela pessoa quando se utiliza o filtro em situações com parâmetros previamente selecionados, como:

- a) Utilizando os parâmetros: lâmpada branca, feixe granulado, e alterando a cor do filtro.
- b) Utilizando os parâmetros: lâmpada colorida, feixe granulado, e alterando a cor do filtro.
- c) Utilizando os parâmetros: lâmpada colorida, feixe granulado, e alterando a cor da lâmpada.

Na sequência, questionar: “Quando usamos filtro o que acontece com a cor vista pela pessoa? Como você pode me explicar? O que está acontecendo?” Nesse momento, aconselha-se a criação de uma roda de conversa com os estudantes para

tentar entender quais foram os procedimentos adotados em cada grupo e o por que seguiram aquele caminho.

Para finalizar as discussões a respeito da simulação, sugere-se que o professor faça o fechamento da atividade sistematizando as explicações dadas ao fenômeno. Este é o momento em que terem-se a possibilidade de perceber até que ponto os estudantes chegaram através do relato das ações necessárias na tentativa de explicar os questionamentos, ou seja, se conseguimos ou não criar conflitos cognitivos.

Pressupõe-se que as atividades realizadas durante a utilização da simulação ofereçam momentos nos quais os estudantes possam utilizar recursivamente os conceitos discutidos em sala de aula. Também são ferramentas que pode levar a uma tentativa de reorganização de sua estrutura cognitiva (processo assimilação de novos conceitos), possibilitando que os novos conceitos se relacionassem de maneira não-substantiva e não-arbitrária com os conceitos já trabalhados.

Para encerrar está aula, propõe-se que o professor deixe para os grupos a tarefa de construir um mapa conceitual tendo como conceito principal a teoria de Planck. Esse mapa deverá ser entregue na próxima aula.

## Aula 5 – Apresentação do Modelo Corpuscular de Einstein

Essa aula poderá ser realizada na sala de aula e sugere-se uma aula expositiva dialogada para explicar os conceitos envolvidos na interação radiação com a matéria.

Ressaltar que foi Einstein, em 1905, explicando o efeito fotoelétrico, quem interpretou, pela primeira vez, a interação entre elétrons e partículas de luz. O fenômeno recebeu o nome de efeito fotoelétrico, porque se trata de emissão de elétrons por placas metálicas quando atingidas por luz de frequência suficientemente alta.

Utilizando a ideia de quantum de Planck, Einstein propôs que a luz se propaga pelo espaço como pacotes, denominados fótons, contendo energia de valor múltiplo de  $hf$ . Assim, quando um material é atingido por fótons de energia suficientemente alta, a luz arranca elétrons instantaneamente.

Neste momento, aconselha-se explicar a troca de energia entre o fóton e o elétron do metal, mostrando que os elétrons dentro do metal estão ligados, ou confinados, dentro do material. Para causar sua ejeção fotoelétrica, é necessária certa energia mínima  $W_0$ , conhecida como função trabalho.

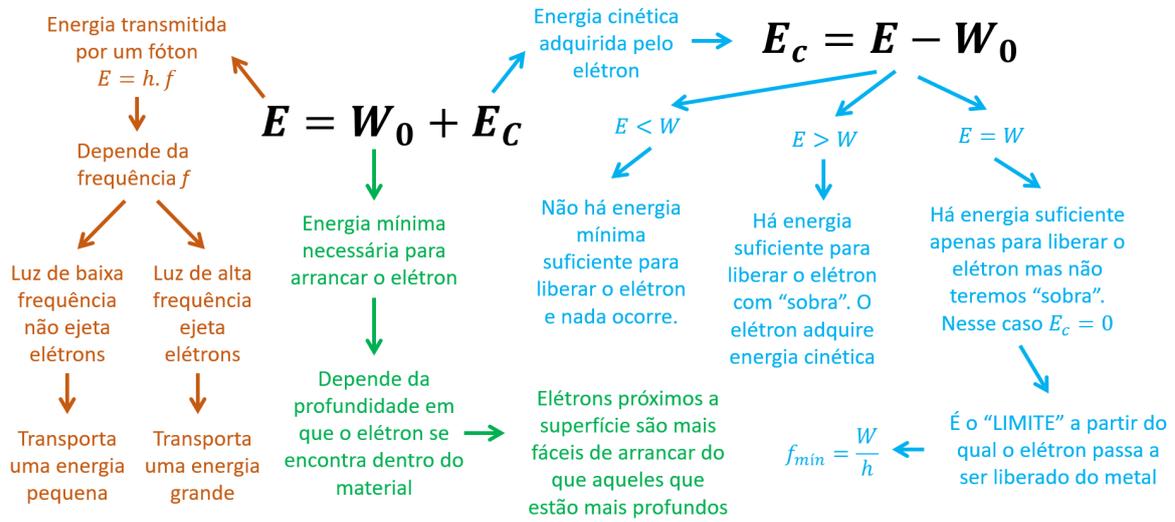
Einstein afirmou que, quando um elétron é ejetado, ele absorve toda a energia de um único fóton. Como a energia é conservada no processo, a energia do fóton  $E_{Foton} = h \cdot f$ , ao ser fornecida aos elétrons da superfície metálica, deve ser igual à soma da energia necessária para remover os elétrons da superfície do material (função trabalho)  $W_0$  com a energia cinética máxima dos fotoelétrons emitidos  $E_C$ .

$$E_{foton} = W_0 + E_C \quad \rightarrow \quad E_{foton} = h \cdot f = E_C + W_0$$

A explicação proposta implica que cada processo de ejeção ocorre por causa de algum evento microscópico em que um elétron absorve a energia de um fóton e pode depois deixar a superfície.

Propõe-se a análise da equação proposta por Einstein através da explicação da figura 9. Entende-se que esse tipo de análise é de fundamental importância para a compreensão do fenômeno, indo além de uma simples substituição de valores numa equação para a obtenção de um resultado, promovendo uma liberdade ao estudante para fazer inferências quanto ao resultado encontrado.

Figura 9 - Análise da equação proposta por Einstein



Fonte: Própria.

Através da figura 9, analisa-se que, se a frequência da radiação incidente for muito pequena, em particular menor que  $\frac{W_0}{h}$ , então os fótons têm uma energia menor que a função trabalho, ou seja, os elétrons não podem absorver o fóton, aumentando sua energia mas não o suficiente para deixar o metal. Isso explica por que existe uma frequência limiar, abaixo da qual não existe nenhuma ejeção de elétrons.

Acima desse limite, a ejeção de elétrons ocorre independentemente da intensidade da radiação incidente, sendo a energia cinética máxima dos elétrons ejetados dada por  $E_c = h \cdot f - W_0$ . Acima da frequência limite, essa energia máxima aumenta linearmente com a frequência.

Outra observação importante é que, quanto maior a intensidade da luz incidente, mais fótons atingem a superfície do metal, fazendo um número maior de elétrons ser emitido.

Após a explicação, para finalizar a aula, recomenda-se fazer algumas perguntas aos estudantes para reforçar os principais pontos da teoria. Como perguntas sugere-se:

- Qual a energia contida em um feixe de luz formado por um fóton de frequência  $f$ ?
- E de um feixe de luz formada por  $n$  fótons de frequência  $f$ ?
- Uma luz mais brilhante arrancará mais elétrons de uma superfície?

fotossensível do que uma luz mais fraca de mesma frequência?

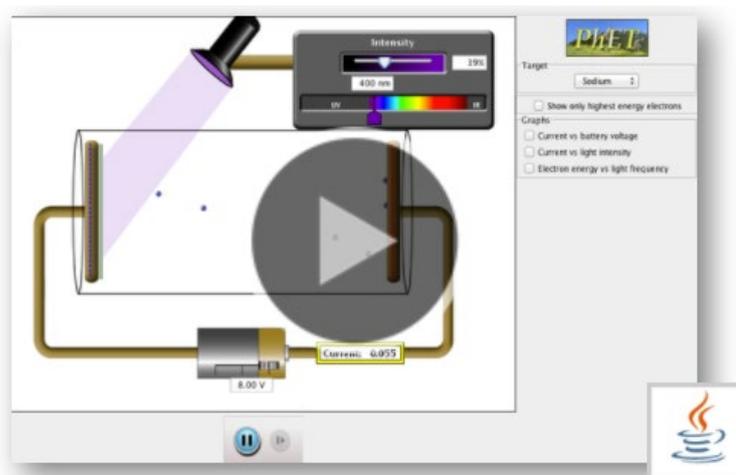
- Uma luz de alta frequência ejetará um maior número de elétrons do que uma luz de baixa frequência?

Pressupomos que as perguntas podem levar os alunos a uma assimilação da teoria e de suas principais características.

## Aulas 6 e 7 – Interpretação do Efeito Fotoelétrico a partir de uma Simulação

Nesta aula utilizaremos a simulação computacional Efeito Fotoelétrico, disponível no laboratório virtual gratuito PhET (Physics Education Technology) – Interactive Simulations (figura 10).

Figura 10 - Simulação computacional: Efeito fotoelétrico.



Fonte: Phet Colorado.

Com a simulação tentaremos possibilitar o estudante compreender que:

- O ganho de energia cinética do elétron é proveniente da energia do fóton.
- A energia do fóton está relacionada com a frequência da luz;
- Há uma dependência entre as energias cinéticas dos fotoelétrons com a frequência da luz;
- O tipo de metal influencia na energia cinética dos fotoelétrons.
- A intensidade da luz está relacionada com quantidade de fótons emitidos pela fonte de fonte luz.
- A relação entre a intensidade da luz e a quantidade de elétrons arrancados do metal.
- Para arrancar os fotoelétrons do metal, parte da energia do fóton é consumida para liberar o elétron.

A aula também poderá ser desenvolvida no laboratório de informática uma vez que, iremos utilizar os computadores para acessar a simulação e que também

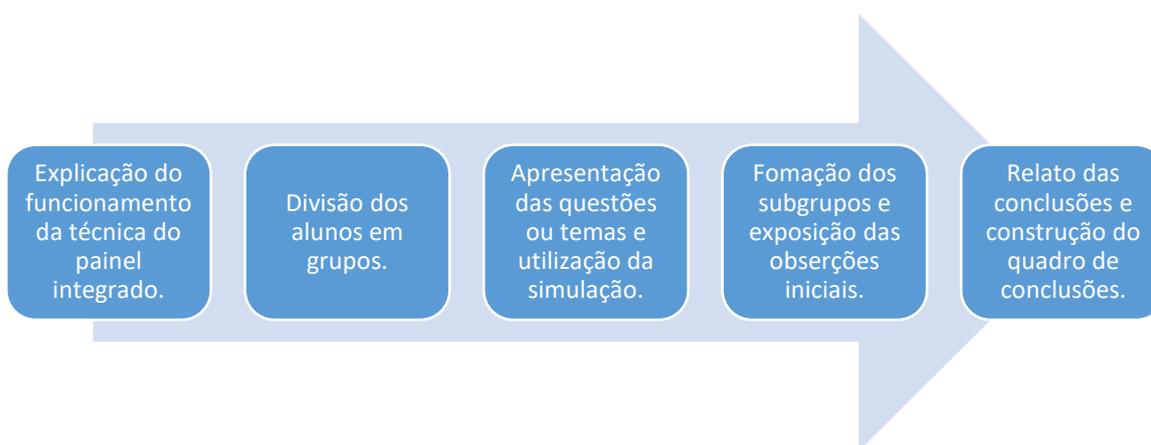
pressupomos, a organização do ambiente facilitará a coleta de dados possibilitando gravar as discussões que virá a ocorrer nos grupos.

Para explorar a simulação sugerimos ao professor que utilize a técnica painel integrado. Essa é uma técnica de trabalho coletivo com o objetivo de promover a comunicação, a participação, a cooperação e a integração de todos os membros do grupo.

O painel integrado é uma técnica de trabalho coletivo em que cada um dos tópicos selecionados pelo professor tem seu estudo realizado em primeiro lugar por grandes grupos e, em seguida, formação de novos grupos, onde todos os assuntos são estudados por todos os alunos, fazendo-se um cruzamento entre os membros dos diferentes grupos de tal forma que, em cada novo grupo, tenhamos representantes de todos os primeiros grupos e, portanto, de todos os assuntos discutidos. No final da dinâmica todos os participantes deverão ter tomado conhecimento de todas as reflexões feitas (Masetto, 2002, p. 95).

Assim, a figura 11 retrata nossa sugestão de organização e desenvolvimento da aula utilizando a técnica painel integrado como ferramenta de organização dos grupos e elevar os níveis de participação e comunicação.

Figura 11 - Organograma da aula.

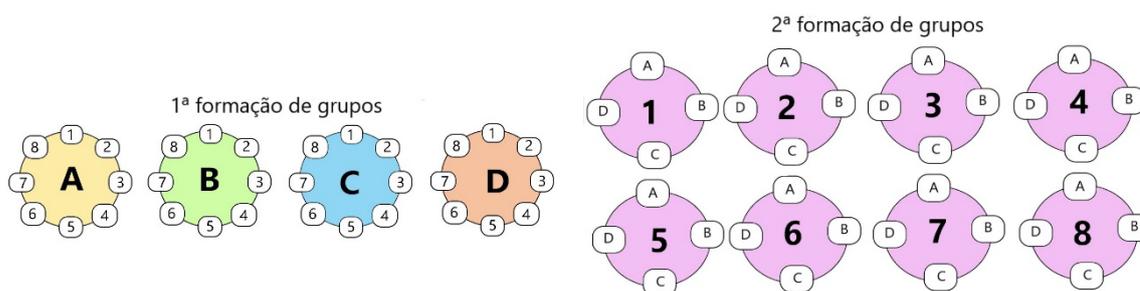


Fonte: Própria.

Na figura 11, sugere-se que a aula seja iniciada com a explicação do funcionamento e objetivo da técnica do painel integrado. A técnica consiste na formação de grupos que serão totalmente reformulados após determinado tempo de discussão formando subgrupos, de tal forma que, cada subgrupo será composto por

integrantes de cada grupo anterior. Cada aluno leva para o novo subgrupo as conclusões e/ou ideias do grupo anterior anotadas na ficha de anotações (Apêndice C), havendo assim possibilidades de cada subgrupo conhecer as ideias levantadas pelos demais. Para permitir a compreensão da dinâmica de formação dos grupos e subgrupos, confira a figura 12 que criamos para simular a formação dos grupos.

Figura 12 - Divisão dos grupos de acordo com a técnica painel integrado



Fonte: Adaptado de Ateliê de educadores.

Na sequência, aconselha-se dividir os alunos em 4 (quatro) grupos nomeados por uma letra do alfabeto, por exemplo, A, B, C e D. Ficar atento caso haja necessidade de um grupo com o número de integrantes diferentes.

Na primeira parte da aula, usando a simulação os grupos deverão observar o comportamento dos elétrons emitidos pela placa de sódio ao mudar a cor da luz, mas cada grupo deverá observar apenas uma faixa de cor. O Grupo A deverá observar a parte da luz ultravioleta (UV); o grupo B da luz violeta até a luz azul; o grupo C da luz verde até a luz laranja; e o grupo D da luz vermelha até a infravermelha (IV). Para isso, sugerimos que os grupos fixem em 50% o valor da intensidade da luz na simulação e apenas alterem as frequências.

Espera-se esses resultados, pois através de testes realizados com a simulação encontrou-se o valor de frequência mínima para cada material, tais valores estão representados no quadro 21 a seguir.

Quadro 4 - Quadro de frequência mínima.

| Material | Frequência mínima     |
|----------|-----------------------|
| Sódio    | $5,566 \cdot 10^{14}$ |
| Zinco    | $1,042 \cdot 10^{15}$ |

|          |                        |
|----------|------------------------|
| Cobre    | $1,141 \cdot 10^{+15}$ |
| Platina  | $1,531 \cdot 10^{+15}$ |
| Cálcio   | $7,026 \cdot 10^{+14}$ |
| Magnésio | $8,955 \cdot 10^{+14}$ |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Essa distribuição foi sugerida para que cada grupo observe um comportamento diferente do fotoelétron, pois a frequência mínima para a emissão de elétrons da placa de sódio, de acordo da simulação, é  $5,566 \cdot 10^{14}$  Hz. Dessa maneira o grupo A possivelmente verá elétrons com velocidade alta, o grupo B elétrons um pouco mais lentos, o grupo C elétrons bem lentos ou não verão elétrons, porque já ultrapassa a frequência mínima e o grupo D não veria nenhum elétron sendo emitido pela placa.

Os grupos terão 5 minutos para utilizar a simulação e fazer as observações iniciais.

Nesse momento, recomenda-se que todos alunos façam seus comentários na ficha de anotações (Apêndice C) que iremos entregar. Ninguém deve se fugir deste compromisso.

Enquanto os grupos estão reunidos, o professor entregará a cada aluno uma ficha de anotações numerada. Cada grupo receberá fichas com números de 1 a 8. Nas fichas os alunos deverão fazer anotações das observações e conclusões feitas no grupo.

Terminados os debates na primeira formação de grupos (formação por letras), agora os alunos que receberam a ficha com o número 1, formarão o grupo 1, e assim por diante. Dessa maneira, o grupo 1, terá representantes de cada grupo da primeira formação.

Nos subgrupos cada aluno deverá expor o que observou na primeira formação de grupos após a utilização da simulação. Depois da explanação, os outros elementos poderão fazer perguntas, na tentativa de compreenderem o que foi observado. Em seguida, os grupos buscarão as diferenças e semelhanças entre as análises das diferentes faixas do espectro e deverão fazer anotações das conclusões e eleger um relator para apresentar as conclusões ao restante da turma.

Durante as falas dos relatores sugere-se ao professor que crie um quadro na lousa para sintetizar as observações e conclusões de cada grupo. O quadro de

conclusões poderá ser organizado de acordo com o modelo abaixo, quadro 5.

Quadro 5 - Quadro de conclusões dos subgrupos.

| <b>Subgrupos</b> | <b>Conclusões/observações</b> |
|------------------|-------------------------------|
| 1                |                               |
| 2                |                               |
| 3                |                               |
| 4                |                               |
| 5                |                               |
| 6                |                               |
| 7                |                               |
| 8                |                               |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após o preenchimento do quadro recomenda-se abrir a discussão para toda a turma permitindo que os alunos cheguem a um consenso sobre o que foi observado.

Na segunda parte da aula, sugere-se que os grupos explorem novamente a simulação mas dessa vez deverão alterar os materiais e a intensidade da luz. Após refazerem, os alunos deverão fazer uma ficha de anotação com as observações a respeito da situação descrita e ao final socializar o resultado com o restante dos colegas.

Para encerrar está aula propõe-se que o professor deixe novamente a tarefa de os alunos reestruturarem o seu mapa conceitual dessa vez, incluindo os novos conceitos trabalhados nas aulas 5, 6 e 7.

## **Aulas 8 e 9 – Avaliação da Aprendizagem: Discussão das Atividades sobre Efeito Fotoelétrico**

Esta aula deverá ocorrer na sala de aula que está equipada com projetor multimídia, computador e caixa de áudio. A aula será dividida em duas etapas. Na primeira etapa, ocorre a retomada da problematização inicial; segunda etapa, a avaliação final do conhecimento (Apêndice B).

Para iniciar o primeiro momento desta aula, aconselha-se lembrar os alunos que no início da SD foi apresentado à eles quatro reportagens na forma de texto duas sobre o cuidado de ficarmos expostos ao Sol e o uso do protetor solar, e duas envolvendo a coleta da energia solar para a produção de energia elétrica e/ou térmica. Além disso, também assistiram às duas reportagens mostrando a ação do protetor solar sobre a pele humana e observaram o funcionamento de uma pequena placa de coletora de energia solar.

Em seguida, sugere-se a retomada da problematização fazendo novamente a questão aos alunos e pedindo eles tentem explicar baseados nas teorias apresentadas no decorrer das aulas.

Ao encerrarem as discussões, sugere-se ao professor que explique de forma clara e objetiva como o protetor solar e a placa solar funcionam destacando a relação com a teoria do efeito fotoelétrico.

No segundo momento, sugere-se aplicar a avaliação final do conhecimento aos alunos. Os estudantes terão 50 minutos para realizar a avaliação e poderão fazer em duplas e de consulta ao mapa conceitual que teve como conceito central o Efeito Fotoelétrico.

As questões envolvem os seguintes conceitos: 1) Compreensão do Efeito Fotoelétrico de acordo com Einstein presente nas questões Q1 e Q4b; 2) Função trabalho de uma superfície metálica avaliada nas questões Q2, Q3 e Q4a; 3) Intensidade e frequência de luz de acordo com o modelo corpuscular exposto nas questões Q4c, Q4d, Q4g e Q4i; 4) A energia cinética do fotoelétron verificada nas questões Q4e, Q4f e Q4h.

Nas questões da avaliação final do conhecimento serão exploradas definições conceituais, explicações de resultados experimentais segundo o modelo corpuscular, situações que exigiam fazer previsões corretas para a simulação do efeito fotoelétrico, por exemplo, diante da alteração do valor da frequência ou da intensidade da luz

incidente.

## **Aula 10 – Avaliação da Aprendizagem: Apresentação dos Mapas Conceituais**

A nossa sugestão é que seja disponibilizado pelo professor uma ou duas aulas para que os alunos apresentem seu mapa conceitual.

Pensa-se em estipular um tempo mínimo de 10 minutos e máximo de 15 minutos a apresentação. Além de apresentar eles deverão entregar uma cópia digital ou impressa do mapa conceitual para o professor.