

ASTRONOMIA E FÍSICA MODERNA: DUAS NECESSIDADES, UMA SOLUÇÃO

Guilherme F. Marranghello¹, Daniela B. Pavani²

¹Universidade Federal do Pampa/Campus Bagé/gfmarranghello@gmail.com

²Universidade Federal do Pampa/Campus Bagé/dani.bpavani@gmail.com

Resumo

Os parâmetros curriculares nacionais (PCN) prevêm a inserção de tópicos de astronomia e física moderna no currículo de física do ensino médio. Os PCNS sugerem a organização de conteúdos através de temas estruturadores, para promover a articulação entre habilidades, competências e conhecimentos a serem trabalhados. Tal organização pode auxiliar na superação de ações didáticas centradas em tópicos disciplinares, ou ainda, lista de conteúdos. Aliar a tal organização de conteúdos com uma abordagem do ensino de física a partir de tópicos de astronomia e física moderna pode contribuir no desenvolvimento de competências relacionadas à contextualização sócio-cultural, como propõem os próprios documentos oficiais. Apresentamos, neste trabalho, uma proposta de sequência didática capaz de conciliar ambos os conteúdos de física moderna e astronomia, previstos pelos PCN. Apresentamos, neste trabalho, uma proposta de sequência didática capaz de conciliar física moderna e astronomia, considerando conteúdos propostos nas unidades dos temas estruturadores 5 e 6 (Matéria e Radiação e Universo, Terra e Vida, respectivamente). Os conteúdos abordados envolvem uma análise do espectro eletromagnético, do efeito fotoelétrico e da lei de radiação de Planck. Sempre apresentados em consonância com a astronomia, utilizamos uma caixinha de espectros, máquinas fotográficas digitais e fotografias do céu, associados ao espectro de uma estrela, à lei de Hubble e às temperaturas das estrelas. Os conteúdos ainda são apresentados em conjunto com atividades práticas, buscando sempre um aprendizado mais prazeroso.

Palavras-chave: Lei de Hubble, Lei de Planck, Efeito fotoelétrico, Estrelas.

Introdução

O objetivo deste trabalho é contribuir para uma prática pedagógica docente na qual o processo de ensino-aprendizagem seja agradável e instigante para todos os envolvidos. Tendo como referência os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCN, 1999 e PCNs +, 2002) que sugerem a organização de conteúdos a partir de temas estruturadores, propomos uma abordagem do ensino de física a partir de tópicos de astronomia e física moderna. Esta última pode ser abordada quando do estudo dos conteúdos presentes no Tema 5: Matéria e Radiação. Já os conteúdos sugeridos no Tema 6: Universo, Terra e Vida, permitem abordar vários tópicos de astronomia como, por exemplo, o estudo da gravitação, Terra e Sistema Solar e Formação do Universo. Apresentamos, aqui, a possibilidade de utilizar a astronomia como ponto de partida para o ensino de física moderna, reunindo assim unidades dos temas 5 e 6 dos PCNs. Além disso, pode-se trabalhar o desenvolvimento de competências relacionadas à contextualização sócio-cultural

considerando a área III.3 - Ciência e Tecnologia na atualidade, que propõe “Reconhecer e avaliar o desenvolvimento tecnológico contemporâneo, suas relações com as ciências, seu papel na vida humana, sua presença no mundo cotidiano e seus impactos na vida social” (PCN+, pg. 88, 2002).

Propomos desenvolver conteúdos de física moderna, em especial o efeito fotoelétrico e a lei de radiação de Planck, a partir da utilização de aspectos da ciência astronômica, partindo das descobertas realizadas com o Telescópio Espacial Hubble e as cores e temperaturas das estrelas. Também pretendemos contribuir no desenvolvimento de uma prática didática docente constituinte de habilidades e competências como as que se sugere alcançar por meio da área Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Entre tais habilidades e competências destacamos: entender a relação entre o desenvolvimento das Ciências Naturais e o desenvolvimento tecnológico; entender o impacto das tecnologias associadas às Ciências Naturais na sua vida pessoal, nos processos de produção, no desenvolvimento do conhecimento e na vida social; aplicar as tecnologias associadas às Ciências Naturais na escola, no trabalho e em outros contextos relevantes para sua vida.

A abordagem aqui proposta visa ir ao encontro do entendimento de que é necessário (re)significar os conteúdos curriculares, tornando estes a base na qual se promove o desenvolvimento de habilidades e competências, e não como objetivos do ensino em si mesmos. Tais conteúdos ao adquirirem significado devem privilegiar menos a memória e mais o raciocínio e para tanto é fundamental uma interação entre aluno-professor e aluno-aluno com permanente negociação dos significados dos conteúdos curriculares, propiciando formas coletivas de construção do conhecimento. Queremos contribuir para uma prática docente no sentido de *práxis* pedagógica, estimulando que os alunos reinventem os conhecimentos didaticamente transpostos, entre eles a experimentação, a execução de projetos, o protagonismo em situações sociais (PCNs, 2000).

Não é nossa intenção, neste trabalho, discutir em detalhes cada um dos procedimentos, mas apenas apresentá-los brevemente. Maiores informações podem ser encontradas nas referências específicas de cada tópico.

A Lei de Hubble e o Efeito Fotoelétrico

A proposta do presente trabalho é utilizar descobertas do Telescópio Espacial Hubble como ponto de partida para inserção de física moderna, motivando os alunos, a partir de conhecimento gerado pela ciência astronômica. Quer-se tratar, em especial, do efeito fotoelétrico e relacionando-o a aspectos de cotidiano do estudante. Apresentamos a seguir uma forma de introduzir o assunto e como desenvolvê-lo.

A luz coletada pelo espelho primário do Hubble é direcionada para diferentes instrumentos que, individualmente ou em conjunto, nos possibilita observar em detalhe as regiões mais distantes do Universo. Em 1995 o Hubble começou o estudo de galáxias muito distantes e, por isto, muito pouco luminosas. O telescópio foi apontado para uma região típica do céu, ou seja, aparentemente igualmente povoada de estrelas como em qualquer outra direção. Para evitar que o disco da nossa própria Galáxia interferisse na medição, foi escolhida uma região de alta latitude galáctica evitando, também, objetos muito luminosos nesta direção.

Entre os dias 18 e 28 de dezembro de 1995 o Hubble fez 342 fotografias da região através da *Wide Field and Planetary Camera 2 (WFPC2)* – Câmera Planetária de Grande Campo 2 - utilizando filtros em diferentes comprimentos de onda com tempos de exposição que variaram entre 30 e 43 horas. Durante este período o Hubble circulou a Terra 150 vezes. A região observada media 5,3 minutos de arco quadrados, podemos visualizar a quanto corresponde esta área do céu colocando uma moeda de 10 centavos de real a uma distância de 23 m de nós.

Depois do processamento das imagens do telescópio foi encontrado, na minúscula região do céu observado, mais de 1.500 galáxias, algumas são 4 bilhões de vezes mais fracas que o olho humano pode captar. Em 2004 o Hubble divulgou imagens ainda mais impressionantes através das imagens de campo ultra profundo. A região do céu que foi observada, ou seja, o campo, localiza-se na constelação da Fornalha, próxima à constelação do Caçador (Órion), onde facilmente identificamos as "Três Marias". Neste campo, que novamente era aparentemente completamente escuro, foram encontradas mais de 10.000 galáxias. Nesse caso, quanto mais tênue é a imagem mais distante a galáxia está, e estamos realizando um mergulho no passado. Isto acontece porque a luz possui uma velocidade finita, sendo assim, quanto maior a distância percorrida maior será o tempo gasto para percorrê-la. A luz das galáxias mais distantes nesta imagem levou aproximadamente 13 bilhões de anos para chegar até nós. Como na mesma imagem temos galáxias a diferentes distâncias de nós, sabemos que elas estão em distintos estágios de evolução. Quanto mais distante mais velha é a galáxia, e quanto mais próxima de nós, mais jovem. Por tudo isto, estas imagens nos ajudam a melhor compreender a estrutura e evolução do Universo (Figura 1).

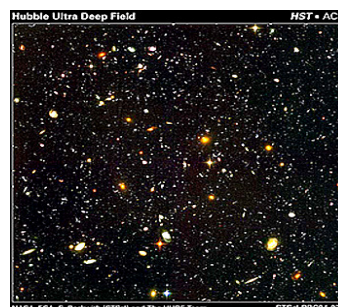
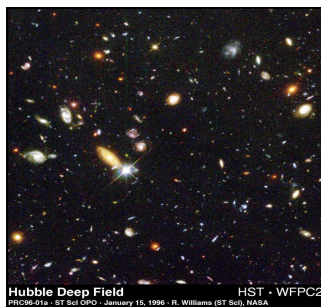


Figura 1: Imagens obtidas pelo Telescópio Espacial Hubble em 1996 e 2004, a última utilizando a câmera de campo profundo, em inglês Hubble Ultra Deep Field (HUDF).

Fonte: http://hubblesite.org/hubble_discoveries/hubble_deep_field/resources.php

Procedimento Didático

Propomos discutir com os estudantes a seguinte questão: utilizando uma câmera digital, quando desejamos fazer fotografias em ambientes com pouca luz, sem flash, quais são as opções? Como eles costumam resolver este problema ao tirar fotos? Em geral temos duas opções (i) usar uma abertura maior do diafragma, quando dispomos de câmeras digitais que permitem tal procedimento ou (ii) mantê-lo aberto por mais tempo. A segunda opção é a utilizada pelo telescópio e por nós, neste trabalho.

A atividade pode ser realizada com uma única câmera digital manipulada pelos estudantes, sob a orientação do professor, ou ainda, utilizando-se mais de um equipamento. O objetivo é fotografar, utilizando-se diferentes tempos de exposição e condições de luminosidade, objetos previamente escolhidos, como os descritos a seguir.

A Figura 2 apresenta imagens do mesmo objeto feitas com diferentes tempos de exposição, todas no modo “sem flash”, sob pouca luminosidade do ambiente. A figura apresenta as imagens (a) fotografada com tempo de exposição de 15s, enquanto a imagem (b), fotografada com tempo de exposição de 30s permite identificar facilmente os dois exemplares do livro “Fascínio do Universo”, bem como as imagens de sua capa. Entretanto, é na imagem (c), fotografada com tempo de exposição igual a 60s que os detalhes da galáxia de Andrômeda, estampada na capa, se fazem mais evidentes.

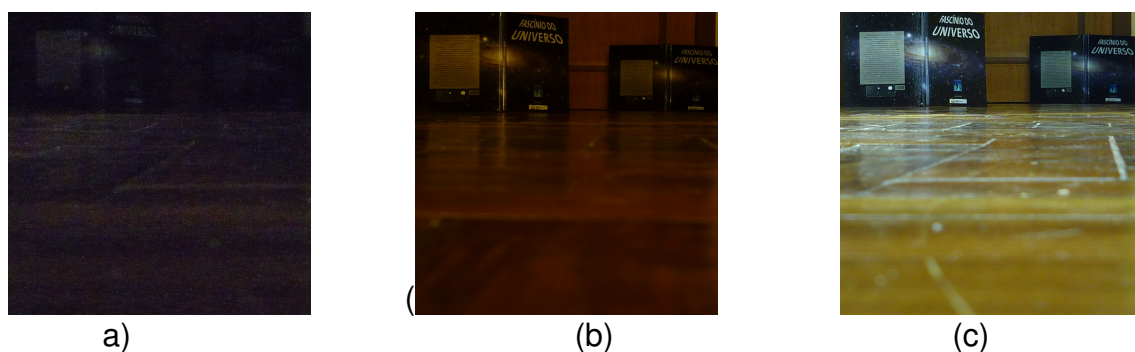


Figura 2: Fotografia obtidas no modo sem “flash”: (a) tempo de exposição de 15s; (b) com 30s tempo de exposição; e (c) com 60s de exposição.

Discussão

As imagens correspondentes mostradas nas Figuras 2a, 2b e 2c foram obtidas utilizando-se diferentes tempos de exposição (15s, 30s e 60s). A primeira coisa que observamos é que ao aumentarmos o tempo de exposição, mais detalhes conseguimos distinguir nas imagens. É possível aqui também discutir com os estudantes as diferentes possibilidades de obtenção de imagens utilizando-se as câmeras presentes em aparelhos celulares. Será possível realizar o procedimento proposto com estes equipamentos? Podemos dizer que o mesmo ocorre com o Hubble?

É fundamental verificar se os estudantes conseguiram compreender e visualizar a relação entre tempo de exposição e obtenção de imagens mais detalhadas. Tendo, os estudantes, tal entendimento podemos discutir esta relação sobre uma formulação mais elaborada.

Basicamente, o funcionamento do CCD (*Charge Couple Device* – Dispositivo de Carga Acoplada) da câmera do Hubble é similar ao funcionamento de uma máquina fotográfica. Ao aumentarmos progressivamente o tempo de exposição permitimos que mais luz seja captada pelo sistema de aquisição de imagens da

câmera digital, o CCD 1. Na fotografia digital as variações na intensidade de luz são transformadas em sinais eletrônicos digitalizados e armazenados em formato numérico. A área da imagem é dividida em uma grade, como um tabuleiro bidimensional, com milhares ou milhões de pequenos quadrados (Figura 3). Cada quadrado é chamado de elemento da figura, ou pixel, minúsculos sensores de luz que podem converter níveis diferentes de luz em sinais elétricos, correspondendo às escalas em cinza de um filme fotográfico de uma câmera analógica. A luz, vinda através da câmera, é focalizada no CCD que fica no local onde estaria o filme numa máquina convencional. O tamanho de cada pixel determina a resolução da imagem. Quando falamos da resolução, estamos essencialmente falando da capacidade de reprodução de detalhes. Em uma imagem digital, pixels grandes resultam em baixa resolução, enquanto pixels menores permitem a reprodução de mais detalhes.



Figura 3: CCD com 2.1 megapixels de uma câmera fotográfica digital Hewlett-Packard (HP). Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Charge-coupled_device

A reprodução de uma imagem digital mais detalhada requer, então, a utilização de um CCD com pixels menores distribuídos em uma grade com uma grande quantidade deles. Mas não somente isso. Quanto mais intenso é o sinal luminoso que um CCD recebe, mais detalhada é a imagem. Por isso ao aumentarmos progressivamente o tempo de exposição de nossas fotografias, obtivemos imagens mais nítidas e detalhadas. Pois aumentar a intensidade da fonte significa aumentar o número de fótons que incide no CCD. Se não podemos controlar a intensidade da fonte luminosa, devemos aumentar o tempo ao qual o CCD fica exposto a esta fonte. Como o funcionamento destes sensores CCD baseia-se na propriedade de alguns materiais de emitirem elétrons por ação da luz (radiação eletromagnética), então, a partir deste ponto faz-se necessário caracterizar o efeito fotoelétrico.

É possível encontrar na literatura diferentes abordagens do efeito fotoelétrico, destacamos aqui duas delas. Em “Uma aula sobre o efeito fotoelétrico, no desenvolvimento de competências e habilidades” (Cavalcante & Tavolaro, 2002), encontramos uma abordagem diferenciada onde o tema é trabalhado a partir de recursos experimentais computacionais e também de forma interdisciplinar, pois são discutidas outras aplicações tecnológicas e implicações filosóficas decorrentes do entendimento do efeito fotoelétrico. Já em Rocha Filho, Salami & Hillebrand (2006) é desenvolvido e caracterizada uma célula de efeito fotoelétrico e um sistema de excitação e medição adequados para o uso didáticos em aulas de física.

¹ Para uma introdução geral sobre o funcionamento da câmera digital sugerimos Ourique, Giovannini & Catelli (2010).

A Lei da Radiação de Planck e as Temperaturas das Estrelas

A poluição luminosa das grandes cidades nos impede de admirarmos toda a beleza do céu noturno e percebermos, por exemplo, que as estrelas possuem cores distintas. À primeira vista todas as estrelas nos parecem pontos cintilantes esbranquiçados, mas sob olhar mais atento, longe das luzes artificiais, podemos identificar também tons azulados, avermelhados ou amarelados. Esta diversidade de cores tem origem na camada mais externa da estrela, a fotosfera, que captamos a olho nu ou através de instrumentos, como telescópios e binóculos. As cores das estrelas estão relacionadas à temperatura da fotosfera (temperatura superficial). Podemos então, sob um novo olhar, realizar atividades de observação noturna dos astros explorando, além dos conceitos tradicionais de localização temporal e espacial, os conceitos de física moderna através da Lei da Radiação de Planck.

Neste trabalho propomos o uso de uma máquina fotográfica digital para registrar imagens de distintas constelações e, utilizando ferramentas gráficas simples, associar a cor das estrelas fotografadas à Lei da Radiação de Planck, determinando, de forma aproximada, a temperatura das estrelas que compõem estas constelações. Escolhemos, neste trabalho, as constelações do Cruzeiro do Sul e do Escorpião, pois nelas encontram-se estrelas azuis e vermelhas. Além disso, a primeira delas é usualmente empregada para localização dos pontos cardeais, também compondo a bandeira nacional. A constelação do Cruzeiro do Sul ainda é especialmente útil, pois sua estrela mais brilhante, Acrux (ou Alpha Crux), pode ser vista durante todo ano nas latitudes próximas a de Porto Alegre. Nessas latitudes esta estrela, por estar sempre acima do horizonte, é denominada circumpolar. Na latitude de São Paulo, por exemplo, toda a constelação é visível na primeira parte da noite (antes das 24h) durante os meses de janeiro a julho. Já em Belém do Pará, isto ocorre no período de janeiro a junho (mais detalhes sobre o Cruzeiro do Sul podem ser encontrados em Longhini, 2009).

Ao olharmos a luz que vem de uma estrela através de um espectroscópio² vemos linhas ou raias espectrais, escuras, espaçadas. Estas raias são produzidas pelos elementos químicos presentes na estrela, e o espaçamento é característico para cada elemento. O leitor pode construir seu próprio espectroscópio e saber mais sobre a luz em Cavalcante e Tavoraro, 2002.

Os tipos espectrais³ estelares são baseados nas linhas de absorção que encontramos em cada espectro, e refletem a composição química da estrela. Mas as classes espectrais estão fortemente associadas à temperatura das estrelas. Ou seja, temperatura, cor e raias visíveis no espectro estelar são propriedades que estão, de uma forma ou de outra, correlacionadas. Algumas estrelas têm, por exemplo, fortes linhas espectrais associadas ao elemento hidrogênio (classes A e F). Outras possuem linhas de hidrogênio fracas, mas fortes linhas de cálcio e magnésio (tipos G e K). Estrelas do tipo O são quentes, as de tipo M são frias. As classes ainda estão divididas subclasses como, por exemplo, nosso Sol, que é uma estrela do tipo G2, enquanto Sírius, que é uma estrela mais quente e com tonalidade branco azulada, é do tipo B3. Mais detalhes sobre a classificação das estrelas pode ser

² Instrumento que decompõe a luz em seus diferentes comprimentos de onda, da mesma forma que a luz branca é decomposta em várias cores ao passar por um prisma.

³ Para maiores detalhes: <http://astro.if.ufrgs.br/rad/espec/espec.htm>

encontrado no hipertexto de astronomia e astrofísica da UFRGS (<http://astro.if.ufrgs.br>).

No nosso cotidiano podemos pensar em quente e frio como sendo um dia de verão, 40 °C ou de inverno, próximo de 0 °C, entretanto, quando falamos de estrelas, "frio" significa temperaturas da ordem de 2000 ou 3000 K (entre 1720 a 2727 °C), umas 10 ou 15 vezes mais quente do que o forno de casa. Estrelas quentes têm temperaturas de 20000 K ou mais. Ainda contra a nossa intuição, estrelas vermelhas são frias e as estrelas mais quentes são azuladas. O Sol é uma estrela amarela, de temperatura intermediária, próxima a 6000 K.

Uma ferramenta importante na astronomia é o que conhecemos por diagrama HR, que corresponde a um gráfico no qual se comparam as propriedades de grupos de estrelas e onde podemos visualizar a correlação entre diferentes parâmetros estelares. A escala de temperatura é invertida, temperaturas maiores ficam à esquerda e menores à direita (Fig. 4). Como podemos ver na figura, estrelas podem ter a mesma cor, mas luminosidades distintas. Através do diagrama HR foi possível identificar que estrelas de mesma cor podem ter luminosidades distintas. Uma descrição mais detalhada do diagrama HR e suas propriedades pode ser obtida no já citado hipertexto.

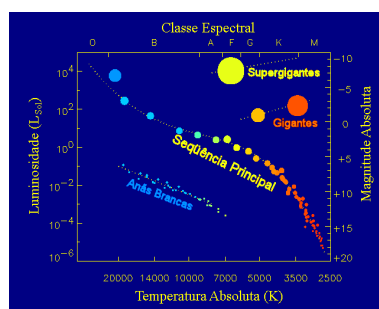


Figura 4: Diagrama Hertzsprung- Russell (HR).
Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/node2.htm>.

Procedimento Didático

Utilizamos uma máquina fotográfica digital, Panasonic Lumix DMC-FS12, com 12 Megapixels de resolução, apoiada sobre um tripé, fazendo fotografias com exposição de 15s. As fotografias foram feitas utilizando o modo pré-formatado da máquina fotográfica "starry nigh". Mais informações sobre como produzir fotografias do céu noturno e atividades desenvolvidas através de fotografias podem ser encontradas em Ourique, Giovannini e Catelli, 2010.

O Cruzeiro do Sul apresenta estrelas do tipo espectral B1, Acrux e Mimosa, que resultam em cores mais azuladas e Gacrux, do tipo M4 e cor mais avermelhada. O software Stellarium pode ser utilizado como apoio nestas atividades, seja na forma de localização das constelações como na identificação de propriedades dos objetos escolhidos. Diferentes abordagens para o uso deste software podem ser encontradas na literatura como, por exemplo, em Mariel Andrade, Janaina Silva e Alberto Araújo, 2009.

Uma vez realizada a fotografia, que engloba toda a constelação do Cruzeiro do Sul e identificada através do *Stellarium* (Fig. 5a), a imagem de cada estrela individual é aproximada (Fig. 5b e 5c). Cabe salientar que, apesar do fato que um tempo de exposição maior que 15s coleta mais luz no detector da câmera, tempos

longos irão produzir imagens mais alongadas das estrelas, devido ao movimento de rotação da Terra. As cores de cada estrela ficam evidentes e podemos comparar as propriedades de cada uma através da Tabela 1.

Tabela 1: Propriedades das estrelas observadas

Nome	Classe/Tipo Espectral	Raio	Distância	Luminosidade	Massa	Temperatura
Alpha Crux	Subgigante/B1	-	100 pc	7000 a 25 000 L_{\odot}	10 a 14 M_{\odot}	30 000 K
Beta Crux	Gigante/B0	8,1 R_{\odot}	150 pc	34 000 L_{\odot}	14 M_{\odot}	28 000 K
Gama Crux	Gigante/M4	56,5 R_{\odot}	67 pc	1500 L_{\odot}	3 M_{\odot}	3400 K

Mostramos abaixo as fotografias da constelação do Cruzeiro do Sul, detalhando as estrelas α -Cru (Alfa-Cru) ou também conhecida como Estrela de Magalhães, β -Cru (Beta-Cru), também chamada de Mimosa e γ -Cru (Gama-Cru), ou Gacrux, ampliadas utilizando o software Gimp⁴.

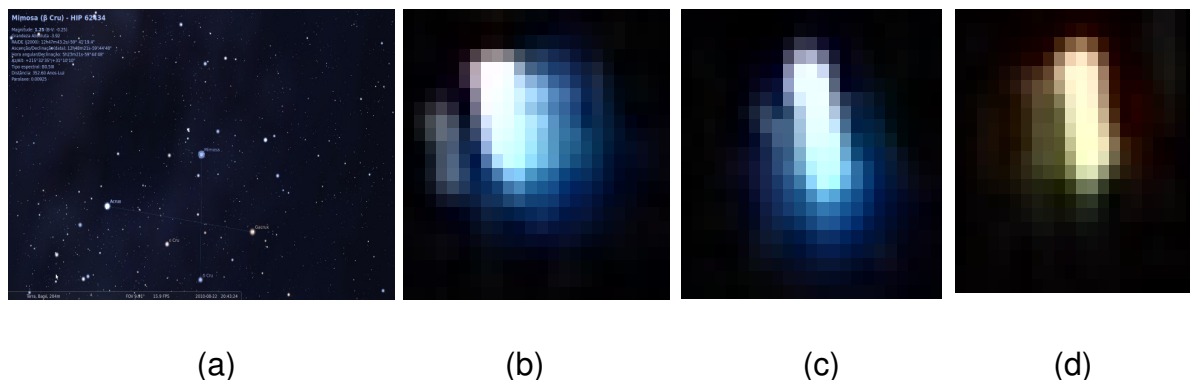


Figura 6: (a) Imagem da constelação do Cruzeiro do Sul obtida como captura de tela do Stellarium. Fotos das estrelas da constelação do Cruzeiro do Sul, aproximadas através de zoom digital de uma fotografia da constelação: (b) α Cru, (c) β Cru e (d) γ Cru.

Fazendo uma comparação entre as cores dispostas em diferentes diagramas HR disponíveis na internet (<http://universe-review.ca/I08-01-HRdiagram.jpg>, <http://cse.ssl.berkeley.edu/segwayed/lessons/startemp/hr.gif>) e as cores das estrelas destacadas, é possível identificar a temperatura superficial das estrelas. Antares fica facilmente identificável com uma temperatura próxima à sua temperatura de 3.500K, enquanto para δ -scorpii apenas identificamos a temperatura como sendo superior aos 10.000 K. Também é fácil identificar que α e β Cru são estrelas extremamente quentes, com temperaturas ao redor de dezenas de milhares de Kelvin, enquanto que γ Cru possui uma temperatura bem mais baixa. A relação entre as cores das estrelas e suas temperaturas pode ser feita apenas comparando as cores das fotografias com aquelas apresentadas em um diagrama HR, como aqueles citados anteriormente.

⁴ Editor de imagens gratuito disponível tanto para o sistema operacional Windows quanto Linux. Mais informações disponíveis em <http://www.gimp.com.br/smf/index.php>.

Discussão

Na tentativa de conciliar os resultados para as leis de Wien e Rayleigh-Jeans, Max Planck introduziu o conceito de quantização da energia e a constante que acabou por levar seu nome. As leis de Wien e Rayleigh-Jeans haviam sido propostas para descrever a radiação de corpo negro, entretanto, elas não eram capazes de descrever corretamente os valores observados, descrevendo de forma satisfatória apenas trechos do espectro de radiação. O conceito de que a energia não poderia ser emitida em qualquer quantidade, mas apenas em valores bem definidos parecia tão absurdo na época que, até mesmo Planck, ao introduzi-la para corrigir as curvas de intensidade de radiação, a definiu como um “ato de desespero”. O fato é que a Lei da Radiação de Corpo Negro, formulada por Max Planck, em 1900, se tornou um marco fundamental na elaboração da Mecânica Quântica, rendendo-lhe o prêmio Nobel de Física de 1918.

A Lei da Radiação de Planck nos fornece a intensidade da radiação $I(\nu, T)$ como função da temperatura T e da frequência ν :

$$I(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$

onde h é a constante de Planck, k é a constante de Boltzmann e c é a velocidade da luz.

Um corpo negro é um meio ou substância que absorve toda a radiação incidente sobre ele, e emite toda radiação produzida em seu interior. A radiação emitida por um corpo negro independe da constituição e forma do mesmo, dependendo somente da temperatura do corpo e do comprimento de onda da radiação. Na natureza não existe um corpo que se enquadre totalmente nesta definição, mas as estrelas se constituem em uma boa aproximação. A Lei de Planck nos fornece então uma relação entre a intensidade da radiação emitida por um corpo negro, a sua temperatura e o comprimento de onda desta radiação. Para cada comprimento de onda, a curva atinge um máximo em intensidade que está associado a uma temperatura característica, como visto na figura 7.

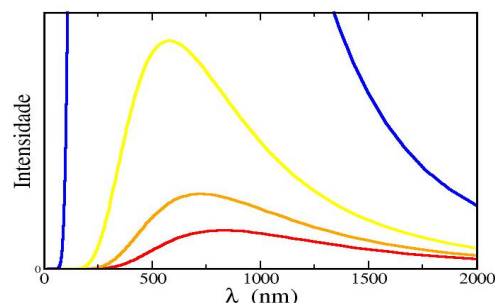


Figura 7: Lei de Planck para as temperaturas $T=3.500\text{K}$ (linha vermelha), $T=4.000\text{K}$ (linha laranja), $T=5.000\text{K}$ (linha amarela) e $T=10.000\text{K}$ (linha azul).

Assim como qualquer outra lei da física, a Lei da Radiação de Corpo Negro pode ser aplicada a estudos realizados dentro de laboratórios na Terra mas também no espaço, sendo válida por todo o Universo. A aplicação de leis físicas que podemos facilmente evidenciar tanto em eventos terrestres como em eventos no espaço facilitam ao aluno perceber que as leis da física são universalmente válidas e não, como se acreditava há poucos séculos e, como ainda faz parte de percepções alternativas do mundo, que uma lei válida para uma estrela distante não possa ter validade no dia-a-dia de um estudante ou dentro de um laboratório de alta tecnologia. Neste trabalho, utilizamos a lei de Planck, associada à fotografias de constelações, para determinar a temperatura superficial das estrelas que pertencem a estas constelações. A partir da cor observada de uma estrela associamos o comprimento de onda que mais contribui para a radiação emitida e, através da Lei de Radiação de um Corpo Negro, obtemos a temperatura superficial aproximada da estrela. Podemos confirmar o resultado obtido o utilizando o próprio diagrama HR.

Através de uma atividade de observação do céu e registro da imagem por meio de uma câmera fotográfica digital podemos trazer para o ambiente da sala de aula as diferentes cores das estrelas, associando-as às propriedades físicas das mesmas e trabalhando diferentes conteúdos de forma criativa e prática. Ainda introduzimos conceitos propostos pelos PCNs como a astronomia, a física moderna e o contato com instrumentos de medida. Apesar de, dentro desta proposta, não ser possível determinar a temperatura das estrelas com relativa precisão, devido ao fato de propormos uma atividade de fácil implementação, é possível se ter uma ideia da ordem de grandeza destas temperaturas.

Sequência Didática

Apresentamos, ao longo do texto, os tópicos de astronomia e física moderna que estão, de certa forma, relacionados conforme o Mapa Conceitual descrito na Figura 8. De forma a melhor aproveitar o potencial do material, levando em consideração suas complexidades, acreditamos ser uma atividade que deve ser implementada no último ano do ensino médio. Entretanto, devido à quantidade de tópicos a ser desenvolvido em uma mesma sequência de atividades, devido à grande quantidade de assuntos relevantes à física e à astronomia e ao, cada vez maior, número de trabalhos com propostas interessantes para suas implementação, diferentes níveis de aprofundamento para este material podem direcioná-lo até mesmo para sua implementação nas séries finais do ensino fundamental.

O trabalho de implementação desta proposta encontra-se, até o momento de submissão deste trabalho, em andamento. Como primeira etapa do trabalho, os artigos foram entregues a dois professores encarregados de elaborar suas aulas para verificar o grau de dificuldade que o professor da educação básica teria na compreensão dos tópicos e na elaboração das aulas. Os dois professores possuem características bastante distintas, o que nos permite fazer uma avaliação mais ampla. Um professor, do interior do RS, possui formação em Ciências Biológicas e leciona nas séries finais do ensino fundamental, em uma escola municipal. A outra professora, de Porto Alegre, é licenciada em física, com mestrado em ensino de física, lecionando em turmas de ensino médio. Uma conversa com os autores do trabalho e a posterior discussão da estrutura de aulas foi então realizada, dando

início à aplicação dos conteúdos. Esperamos obter os resultados desta atividade em breve.

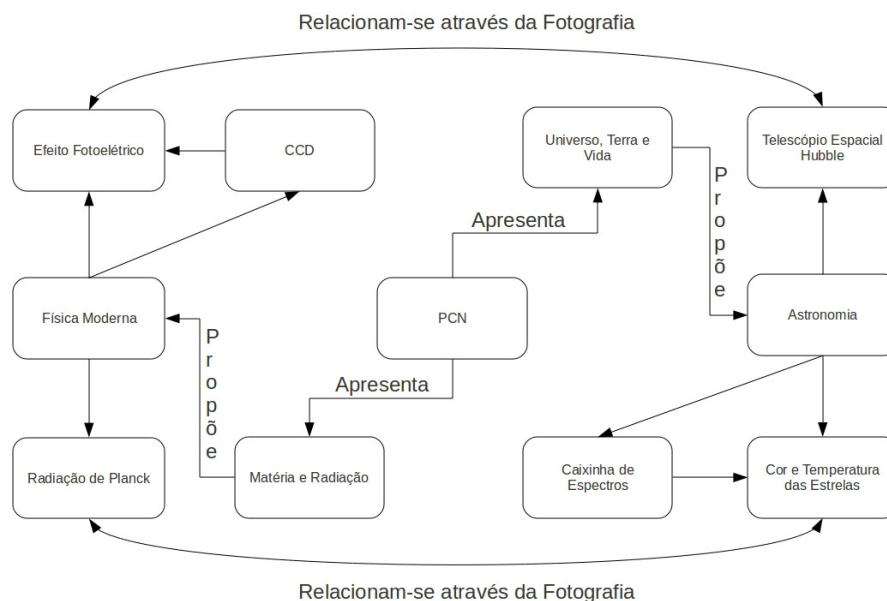


Figura 8: Mapa conceitual da proposta de sequência didática.

A fim de organizar a apresentação dos conteúdos, previamente discutidos ao longo deste texto, propomos a seguinte sequência, onde cada atividade consiste em 2 horas de aplicação. Uma discussão sobre o telescópio espacial Hubble deve servir como motivação para compreender o funcionamento da máquina fotográfica, fazendo as fotografias em uma sala de aula razoavelmente escura:

- Primeira atividade – Lei de Hubble e Fotografia em Sala de Aula, conforme anteriormente descrito.
- Segunda atividade – Utilizando a primeira aula como base para a discussão que segue, deve-se apresentar o Efeito Fotoelétrico, seguindo as referências Rocha Filho, Salami & Hillebrande 2006 e Cavalcante *et. al.* 2002.
- Terceira atividade – O software Stellarium pode ser apresentado com o intuito de verificar as diferentes cores de estrelas, verificando os índices de cor que aparecem quando selecionamos diferentes estrelas, especialmente do Cruzeiro do Sul. Pode-se obter mais detalhes do software seguindo a referência Andrade, Silva & Araújo, 2009.
- Quarta atividade – A construção de uma Caixinha de Espectros, seguindo a referência Cavalcante e Tavolaro 2002, introduz um novo conceito sobre a relação entre a óptica e a estrutura interna das estrelas.
- Quinta atividade – Novamente, os conceitos até então trabalhados servem como conhecimentos básico para o desenvolvimento do tópico: Fotografando estrelas, seguindo a referência Ourique, Giovannini & Castelli, 2010 ou Neves & Pereira, 2007.

- Sexta atividade – Finalmente, utilizando o material desenvolvido nas cinco aulas anteriores, a Lei da Radiação, seguindo a referência Marranghello & Pavani 2011, pode ser apresentada aos alunos, seguindo, inclusive, uma perspectiva histórica e incluindo nas aulas uma discussão sobre a evolução da ciência.

Esperamos que tanto o professor quanto o aluno possam desfrutar de uma atividade mais prazerosa, estimulante e contextualizada, capaz de oferecer uma perspectiva, ao mesmo tempo, tecnológica e científica.

Referências

Andrade, M.; Silva, J.; Araújo, A., IX JEPEX, <http://www.eventosufrpe.com.br/jepex2009/cd/resumos/R0793-3.pdf>

BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio. Brasília: MEC, 1999

BRASIL. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio)* - Brasília, Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica, 2000. 106 p. (Bases Legais)

BRASIL. Ministério de Educação e Cultura. **PCN+ Ensino Médio**: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais: Linguagens e Códigos e suas Tecnologias. Brasília: MEC/SEMTEC, 2002.

Cavalcante M. A.; Tavaloro C. R. C., Uma caixinha para o estudo de espectros. *Física na Escola*, São Paulo, v. 3, n. 2, p. 40, 2002.

Cavalcante, M, A; Tavaloro, C. R. C.; Souza, D. F.; Muzinatti, J. Uma Aula sobre o Efeito Fotoelétrico no Desenvolvimento de Competências e Habilidades, *Física na Escola*, vol. 1, n. 3, 2002

Longhini, M. D. Será o Cruzeiro do Sul uma cruz? Um novo olhar sobre as constelações e seu significado. *Física na Escola*, v. 10, n. 1, 2009

Marranghello G. F.; Pavani, D. B., Utilizando a câmera fotográfica digital como ferramenta para distinguir as cores das estrelas. *Física na Escola*, São Paulo, v. 12, n. 1, p. 20, 2011.

Neves, M. C. D.; Pereira, R. F., Adaptando uma câmera fotográfica manual simples para fotografar o céu. *RELEA*, n. 4, p. 27-45, 2007

Ourique P. A.; Giovannini O.; Castelli F., Fotografando estrelas com uma câmera digital. *Rev. Bras. Ens. Fís.*, São Paulo, v. 32, n. 1, p. 1302, 2010.

Rocha Filho, J. B.; Salami, J. A, Hillebrande, V., Construção e caracterização de uma célula fotolétrica para fins didáticos, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 28, n. 4, 2006