

O Sol: uma abordagem interdisciplinar para o ensino de física moderna¹

The Sun: an interdisciplinary approach for teaching modern physics

Pedro Donizete Colombo Junior¹; Cibelle Celestino Silva²

¹Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências, USP pedro.colombo@usp.br

²Instituto de Física de São Carlos, USP cibelle@ifsc.usp.br

Resumo

Este trabalho discute numa perspectiva interdisciplinar o trabalho conjunto de quatro professores do ensino médio de uma escola pública de SP sobre um tema vivenciado por todos, porém pouco conhecido: o Sol. A escolha em se trabalhar este tema foi motivada por vários fatores, dentre eles, por ser um tema que naturalmente permite uma abordagem interdisciplinar no ensino de ciências. Com um enfoque de metodologia qualitativa de pesquisa, elaboramos um plano de trabalho subdividido em quatro blocos de ensino (Biologia, Matemática, Química e Física) visando trabalhar o tema de modo interdisciplinar. Inicialmente relatamos o trabalho desenvolvido nos três primeiros blocos, e elegemos o bloco relativo à física para a discussão mais detalhada. Concluimos que é possível trabalhar o tema Sol visando o ensino de tópicos de física moderna no ensino médio, uma vez que os resultados obtidos pelos alunos nas atividades se harmonizam com a literatura da área.

Palavras chaves: Sol, Interdisciplinar, Ensino de Física, Física Solar.

Abstract

This paper discusses the work of four high school teachers of different disciplines in a public school in São Paulo State, Brazil. The teachers developed coordinated activities about the Sun. The choice to work on this subject was motivated by several factors, including, as a matter of course allows an interdisciplinary approach in teaching science. We chose the block on the physics for a more detailed discussion and analysis. Conclude that it is possible to work with the sun theme designed to teach topics of modern physics, and the results found by students in the experiments consistent with the literature.

Keywords: Sun, Interdisciplinary, Physical Education, Solar Physics.

Apresentação

Há décadas a forma com que é abordado o ensino de ciências nas escolares secundárias brasileiras vem sendo questionado pela sociedade. O ensino tradicional, particularmente o de ciências, não é (talvez nunca tenha sido) suficiente para permitir aos alunos uma visão desfragmentada e contextualizada da ciência e do mundo. Vemos nos últimos anos grandes esforços, por meio de ações governamentais (PCN, PCN+, Propostas Curriculares Estaduais, etc) e pesquisas na área de ensino de ciências², no sentido de estreitar o foço existente entre o

¹ Esta pesquisa conta com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

² Inúmeros artigos sobre o tema podem ser encontrados em revistas como: *Science Education*, *The Physics*

que se aprende na escola e a vida cotidiana. Esta aproximação certamente pode enriquecer o aprendizado e proporcionar um real significado no momento em que se aprende.

As Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (DCNEM) entendem que contextualizar o ensino significa admitir uma relação entre sujeito e objeto do conhecimento em todo o processo de ensino-aprendizagem. Assim, contextualizar o ensino pode permitir uma melhor interação entre as áreas e também entre as disciplinas, por meio de abordagens interdisciplinares de conteúdos. Neste sentido, a interdisciplinaridade aparece nas Diretrizes Curriculares Nacionais contrapondo-se à compartimentalização do ensino (Ricardo, 2004).

[...] na perspectiva escolar, a interdisciplinaridade não tem a pretensão de criar novas disciplinas ou saberes, mas de utilizar os conhecimentos de várias disciplinas para [...] compreender um determinado fenômeno sob diferentes pontos de vista (Brasil, 1999, p.34).

Muitas definições são usadas para expressar a interdisciplinaridade no ensino (Japiassú, 1976; Lopes, 1999; Fazenda, 2002; Mikser et al., 2008, Vargas et al., 2008). Lück (1995, p. 64), por exemplo, define a interdisciplinaridade como sendo o processo pelo qual há uma integração e engajamento de educadores e interação de diferentes disciplinas do currículo escolar (entre si e com a realidade), de modo a superar a fragmentação do ensino. Deste modo objetiva-se a formação integral do educando com o fim de que ele possa exercer criticamente a cidadania, mediante uma visão global de mundo. Para Piaget (1972) a interdisciplinaridade pode ser entendida como um nível de parceria entre as disciplinas, na qual a mútua cooperação conduz a interações reais e conseguinte enriquecimento mútuo³. Biosot (*apud* Neira, 1997) por sua vez elenca três tipos principais de interdisciplinaridade: Linear, ocorrendo quando uma lei ou algum nível de generalização do conhecimento de uma disciplina é aplicado à outra; Estrutural, perfazendo a inter-relação entre duas ou mais disciplinas ou ramos do conhecimento que são fontes de novos enquadramentos epistemológicos, por exemplo, bioquímica; e Restritiva, contemplando a interação entre disciplinas para um campo de aplicação próprio em função de um objetivo específico.

Apropriando-se das ideias acima explicitadas, o presente texto busca relatar e discutir um trabalho conjunto de quatro professores de ensino médio, de uma escola pública do Estado de São Paulo, sobre um tema comum a todos nós: o Sol. Em termos dos tipos de interdisciplinaridade propostos por Biosot, esta abordagem perfaz, sem mensuração, o Linear, por exemplo, quando dos estudos da fusão nucleares ocorridas no interior do Sol; e Restritiva, por exemplo, quando da interação Sol-Terra com viés de implicações biológicas. Os participantes desta pesquisa são professores de diferentes disciplinas, Biologia, Matemática, Química e Física, seus alunos do 3º ano do ensino médio, e os autores deste texto, enquanto pesquisadores da área de ensino de ciências.

Visando trabalhar de modo interdisciplinar o tema Sol, elaboramos um plano de trabalho subdividido em quatro blocos de ensino. Cada bloco foi composto por uma disciplina com enfoque curricular próprio, porém centrado no tema Sol. Apoiados em metodologia de pesquisa qualitativa, com observação da sala de aula e entrevistas semi-estruturadas, e respeitando o tempo didático do aluno, o professor de determinada disciplina tinha total autonomia para introduzir o tema escolhido de maneira disciplinar, e no desenvolvimento dos trabalhos propiciar a articulação com as demais disciplinas, seja por meio de atividades conjuntas com outros professores ou textos interdisciplinares. Ao término dos blocos de

Teacher, Enseñanza de la Ciencia, Investigações em Ensino de Ciências, Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, Ciencia & Educação, entre outras.

³ Jean Piaget discrimina três graus de organização e integração entre as disciplinas, assim enuncia que as relações entre as disciplinas podem ocorrer em níveis de: multidisciplinaridade, interdisciplinaridade e transdisciplinaridade (Piaget, 1972).

ensino, os alunos foram convidados a redigir um texto (dissertativo ou narrativo) contemplando e articulando o maior número possível de tópicos trabalhado pelos professores.

As atividades foram desenvolvidas durante os meses de agosto e setembro de 2010 em uma escola pública da rede estadual de ensino do Estado de São Paulo e contou com a participação de 68 alunos do 3º ano do ensino médio divididos em duas salas. A escola participante situa-se na região periférica de uma pequena cidade (~ 30 mil habitantes) do interior paulista, cuja economia está fortemente vinculada a cultura canavieira. Quanto à estrutura física da escola, esta não possui laboratórios de ensino, quadra poliesportiva, sala audiovisual e nem salas disponíveis para atividades extracurriculares (reforço pedagógico). Este fato implicou na realização de parte das atividades no ambiente de sala de aula e também no pátio da escola. Quanto aos sujeitos da pesquisa, quase a totalidade dos alunos, cerca de 95% sempre estudou em escolas da rede pública de ensino, destes muitos oriundos da região nordeste do país. Em torno de 30% dos alunos afirmaram terem ficado sem aulas de Física ou Química em pelo menos um semestre durante o ensino médio, fato justificado pela falta de professores destas disciplinas.

No texto que se segue relatamos de modo sucinto o trabalho desenvolvido nos três primeiros blocos de ensino (Biologia, Matemática, Química), e elegemos o bloco de ensino relativo à disciplina física para uma discussão e análise mais detalhada. A escolha pelo bloco de física sustenta-se no fato de que as atividades desenvolvidas fomentaram, e também fazem parte, do projeto de doutoramento de um dos autores deste texto⁴. É importante enfatizar que cada bloco de ensino sozinho propiciaria um artigo com análises e discussões próprias, porém, devido à extensão do texto, aqui focaremos nossas análises em apenas um dos blocos.

Nossa estrela o Sol

Uma rápida reflexão sobre o Sol nos revela sua importância à vida, e diversos motivos que justificam a escolha em trabalhá-lo em sala de aula. O Sol já foi protagonista em debates memoráveis a respeito de nossa visão de mundo (heliocêntrico ou geocêntrico); foi considerado deus na religiosidade de distintos povos (Tupis, Incas, Maias, etc.) tamanho sua importância para o desenvolvimento da vida na Terra; é um assunto que naturalmente possibilita uma abordagem interdisciplinar, abrangendo uma gama imensa de possibilidades de trabalhos; é um astro celeste vivenciado por todos, porém pouco conhecido pelo público em geral. Enfim, é a estrela que torna possível a vida de todas as espécies que hoje habitam nosso planeta, e também que (direta ou indiretamente) torna possível a leitura deste texto.

O Sol é a estrela mais próxima da Terra e, portanto a mais estudada pelos cientistas. A partir do Sol podemos inferir a evolução e a constituição física das demais estrelas, nos servindo de um laboratório de estudos, impossível de ser reproduzido na Terra. Basicamente nossa estrela é uma gigantesca esfera quente de gases com aproximadamente 1,4 milhões de quilômetros de diâmetro, situado a aproximadamente 150 milhões de quilômetros da Terra. Ainda assim, a maior parte das estrelas existentes são maiores que o Sol e encontram-se muito mais distantes (a estrela mais próxima da Terra depois do Sol, Próxima Centauri, encontra-se a mais de 40 trilhões de quilômetros da Terra).

No passado, não se conhecia a composição do Sol e foram propostas diferentes explicações para os mecanismos produtores da radiação solar. Muitas hipóteses foram propostas para explicar sua natureza. No início do século XX os trabalhos de Hans Bethe (1906-2005) e colaboradores nos forneceram uma resposta para a fonte de energia das

⁴ Inovações curriculares em ensino de física moderna: investigando uma parceria entre professores e centro de ciências (FAPESP # 2010/16843-9), desenvolvido no Observatório Astronômico do CDCC/USP, São Carlos/SP.

estrelas, as reações nucleares, o que lhe rendeu o prêmio Nobel de física em 1967. Sabe-se hoje que a principal fonte de energia solar é a fusão de prótons em núcleos de hélio. Estima-se que a energia responsável pela luminosidade do Sol é da ordem de $3,8 \times 10^{26}$ J/s. Esta energia é muito alta, se comparada, por exemplo, à potência de todas as usinas hidrelétricas, termelétricas e nucleares no Brasil (aproximadamente 9×10^{10} J/s) (Zirin, 1988; Silva, 2006).

Explorar este fascinante tema em sala de aula permite adentrar em diferentes áreas do conhecimento e desta forma promover um ensino interdisciplinar e questionador. Permite ainda explicitar campos do ensino de ciências pouco discutidos em sala de aula, por exemplo, a física moderna a partir da física solar, propiciando assim inovações curriculares no ensino de física (Brockington e Pietrocola 2005). Acreditamos que este panorama seja fundamental para que o estudante adquira uma visão não fragmentada das ciências.

O Sol em uma perspectiva interdisciplinar

Trabalhar de modo interdisciplinar o ensino de ciências pode possibilitar ao aluno adquirir uma visão mais aguçada da natureza permitindo uma melhor compreensão do mundo em que vive e participa (Vargas et al. 2008). Compartilhamos com Mikser et al. (2008) que o ensino interdisciplinar se faz necessário uma vez que a maioria dos alunos frequentemente não têm a percepção da ligação existentes entre as diversas disciplinas e entre conceitos disciplinares, isolando-os uns dos outros e da prática cotidiana. Neste contexto é que os PCN+ recomendam a interdisciplinaridade como um dos eixos centrais na organização de dinâmicas interativas na sala de aula (Silva, 2008). Apresentamos a seguir sucintamente a experiência de um trabalho interdisciplinar realizado por quatro professores sobre o tema Sol.

Tabela 1. Panorama geral dos trabalhos realizados.

Blocos	Tópicos abordados	Métodos utilizados	Atividades/Questões motivacionais	Articulação interdisciplinar
BIOLOGIA	<i>A importância do Sol para a vida.</i> <i>Vivendo com uma Estrela.</i> <i>Benefícios e malefícios da exposição ao Sol à vida.</i> <i>O Sol e a sociedade consumista.</i>	Aula expositiva dialogada. Leitura e análise de textos e artigos científicos de jornais e revistas. Discussão em pequenos grupos e socialização com a sala.	O que seria de nós, seres humanos, sem a luz do sol? E as plantas sem a fotossíntese? Será que o Sol traz apenas benefícios para nós? A preocupação com o Sol hoje é a mesma das civilizações antigas? Olhando para as condições necessárias a vida na Terra, é possível ter vida semelhante a nossa em outros planetas?	<i>Física/Química/Astronomia:</i> As condições necessárias à vida fora da Terra. <i>Ciências:</i> O efeito estufa e o aquecimento global - desenvolvimento tecnológico e a preocupação com o meio ambiente. <i>História/Geografia:</i> Discussão de alguns tratados internacionais - Protocolo de Kyoto, entre outros.
MATEMÁTICA	<i>Estimativa do diâmetro solar.</i> <i>Distâncias e unidades astronômicas (Parsec, UA, Ano-luz).</i>	Aula expositiva dialogada. Atividade prática. Exercícios de fixação em pequenos grupos.	Quão longe de nós está o Sol? E as outras Estrelas? Atividade prática: “Estimativa do diâmetro solar a partir de atividade simples envolvendo conceitos de geometria básica” (Aroca, 2009).	<i>História/Astronomia:</i> Discussão de aplicações simples de fatos geométricos na astronomia da antiguidade.

QUÍMICA	<p>“Olhando” para o interior do Sol.</p> <p>Reações nucleares e a produção de energia nas Estrelas.</p>	<p>Aula expositiva dialogada.</p> <p>Leitura e discussão de textos científicos (fontes de pesquisa, como NASA, ESA).</p> <p>Trabalhos com vídeos sobre química solar.</p>	<p>Como o Sol produz sua energia?</p> <p>Discussão do texto “Mais mistérios entre o céu e a Terra” (Revista VEJA)⁵, e sobre o “Ciclo próton-próton” (Kepler e Saraiva, 2004)</p> <p>Pesquisa, apresentação e discussão sobre fusão nuclear a partir de vídeos como “The Elements: Forged in Stars” (legendado)⁶</p>	<p>Física/Astrofísica: Origem de elementos químicos <u>não sintetizados pelo Sol</u> e presentes em nosso planeta; Evolução estelar.</p>
FÍSICA	<p>Estruturas e características do Sol.</p> <p>Interferência do Sol na Terra (as tempestades geomagnéticas)</p> <p>A física solar - um enfoque na espectroscopia.</p>	<p>Aula expositiva dialogada.</p> <p>Apresentação de seminários sobre física solar, e socialização com a sala</p> <p>Atividades práticas com materiais de baixo custo.</p>	<p>O que são tempestades geomagnéticas e até que ponto elas podem afetar a Terra?</p> <p>Atividade: “Determinação da temperatura da fotosfera solar”</p> <p>Atividade: “Construção de espectroscópio”</p>	<p>Química: Conceitos sobre a natureza das linhas espectrais (transições eletrônicas em energias específicas do átomo que podem ocorrer em várias regiões do espectro - cada elemento químico possui suas próprias transições características).</p>

O ensino interdisciplinar deve ser observado como uma abordagem que fomenta o ensino de determinada unidade de conhecimento entre as diferentes disciplinas curriculares, por exemplo, a partir de um projeto de ensino ou de um tema específico (Mikser, 2008). Olhando para nosso trabalho, a ampla compreensão do Sol, de seus fenômenos, e suas interações com a Terra, requer necessariamente ultrapassar os limites disciplinares, ou seja, o estudo do Sol demanda uma “articulação interdisciplinar” (Tabela 1). Neste contexto, os diferentes aspectos relacionados ao Sol, focalizados por diferentes vieses, constituem uma abordagem interdisciplinar, pois possibilitam realizar uma leitura mais ampla e integrada do tema estudado e ainda possibilita compreender como diferentes fatores se relacionam entre si.

Algumas considerações e análises.

Aportes metodológicos e questões norteadoras.

Para a coleta de dados, foi adotada metodologia de pesquisa qualitativa, com observação da sala de aula e entrevistas semi-estruturadas com alguns alunos, durante a execução dos blocos de ensino. Segundo Lüdke e André (1986) na pesquisa qualitativa, o pesquisador deve estar atento para o maior número possível de elementos presentes na situação estudada, pois um aspecto supostamente trivial pode ser essencial para a correta compreensão do problema a que se propõe estudar.

Ao término dos blocos de ensino, os alunos foram convidados a redigir um texto (dissertativo ou narrativo) contemplando e articulando o maior número possível de tópicos trabalhado pelos professores. Esta atividade teve o intuito de, por um lado, analisar o engajamento dos alunos quanto às atividades, a visão que ficou sobre o tema trabalhado e o entendimento de conceitos. Por outro lado, fornecer subsídios ao professor para melhorar as atividades e analisar sua prática enquanto mediador de conhecimentos.

⁵ Mais mistérios entre o céu e a Terra. *Revista VEJA*, Ed. 2192, Nov. 2010. <http://veja.abril.com.br/241110/mais-misterios-entre-ceu-terra.shtml>

⁶ *The Elements: Forged in Stars*. <http://ensinofisicaquimica.blogspot.com/2008/01/as-estrelas-fbricas-de-elementos.html>

É importante ressaltar que, respeitando o tempo didático do aluno, os professores tinham total autonomia para introduzir o tema Sol de maneira disciplinar, e no desenvolvimento dos trabalhos propiciar a articulação com as demais disciplinas. Algumas questões nortearam os blocos de ensino, como: “Levando em conta a compartimentação do ensino e a fragmentação do saber, é possível o trabalho interdisciplinar focado no tema Sol em uma escola pública de SP?”, “Terá esta proposta à aceitação por parte dos alunos?” Olhando para o ensino de física, “É possível trabalhar conceitos de física moderna a partir da física solar?”.

Quanto à física moderna a partir da física solar

Tópicos de física moderna no ensino médio são citados em muitos documentos oficiais (PCN, 1999; PCN+, 2002; SEE/SP, 2008/2009) desde as últimas décadas do século XX. Apesar de ser consensual entre os pesquisadores da área de ensino de ciências a necessidade de se incluir tópicos de física moderna no currículo escolar, não podemos afirmar o mesmo sobre como essa introdução deve ser feita (Brockington e Pietrocola, 2005; Pereira e Ostermann, 2009). Abordar a física solar no ensino médio permitiu contemplar um dos temas estruturadores propostos pelos PCN+, “Matéria e Radiação” (Brasil, 2002). Diversos temas relativos ao Sol foram trabalhados pelo professor neste bloco de ensino, dentre eles: estruturas e composição solar, vento solar, auroras, tempestade geomagnética e espectroscopia solar.

Inicialmente o professor apresentou um panorama geral sobre a física solar e propôs aos alunos a realização de seminários em grupos sobre alguns temas relativos à física solar. Em geral temas relacionados à astrofísica são belos e tendem a despertar o interesse dos alunos, assim muitas vezes as discussões em sala extrapolaram os conceitos previamente apresentados, gerando um ambiente muito agradável e enriquecedor para a construção do conhecimento. Os seminários apresentados cobriram grande parte dos temas acima citados e possibilitaram socializar o conhecimento por meio de discussões em grupos e com a sala.

Quanto aos seminários, um dos temas que mais motivou os alunos à discussão foi o que abordava as “tempestades geomagnéticas”, as quais podem causar grandes impactos a Terra. As tempestades geomagnéticas ocorrem com maior frequência em épocas de alta atividade solar. Estas duram tipicamente algumas horas podendo provocar indução de corrente elétrica em sistemas de fornecimento de energia elétrica, causando variações de frequência e voltagem (Bhatnager e Livingston, 2005). Durante a realização de algumas entrevistas semi-estruturadas e conversas com a sala ficou evidente nas falas de alguns alunos que o grande interesse por este tema foi motivado pelo recente lançamento do filme 2012, onde eventos apocalípticos previstos num antigo calendário dos povos Maias começam a destruir a Terra a partir de desastres naturais⁷.

[sobre as tempestades geomagnéticas] [...] este negócio (Aluno C) / [...] tempestade geomagnética, seu b... (Aluno E) / É tempestade... Como que é (Aluno C).
Tempestades geomagnéticas (Professor de Física).
Então, isso aparece no filme 2012, acho que isso. Não é?
Me explica melhor, o que aparece no filme? (Professor de Física)

⁷ Filme: “2012”, Columbia Pictures, 2009, EUA. O filme, por ser uma ficção, é fantasioso e não traz contribuições aceitas pela comunidade científica, muito pelo contrário. Segundo o filme o alinhamento entre o Sol e o centro da galáxia, no final de 2012, faz com que o Sol fique ensandecido e lance sobre a Terra inúmeras partículas subatômicas conhecidas como neutrinos, e tempestades geomagnéticas, que de alguma forma aquecem o centro da Terra, causando grandes catástrofes. É evidente que neutrinos existem, no entanto detectá-los não é algo trivial, exigindo grandes esforços e aparato experimental. Quanto a tempestades geomagnéticas, estas ocorrem mais intensamente em épocas de alta atividade solar, cuja previsão é para 2012/2013 (NASA, 2011).

[...] é assim professor, tem uma explosão [referindo-se ao Sol] e vêm pra Terra uns *átomos* [partículas subatômicas, conhecidas como neutrinos] que aquecem a Terra e começa a destruição (Aluna D).

[...] professor aquilo no filme é as tempestades geomagnéticas? (Aluno E).

Não. [...] eu assisti o filme. Na verdade as tempestades geomagnéticas são eventos que ocorrem devido a atividade solar e causam muitos transtornos à Terra [o professor explica e discute as tempestades geomagnéticas] (Professor de Física).

Este achado nos revela o quão importante é inserir e discutir com os alunos temas divulgados pelas mídias, particularmente quando se trata de questões relacionadas ao ensino de ciências. A ciência divulgada pelas mídias muitas das vezes aparecem distorcidas, com erros conceituais e históricos. É preciso estar atento as questões trazidas pelos alunos durante as aulas de ciências, a vigilância deve ser constante, visto que o conhecimento que os alunos têm em ciências não deve resumir-se apenas aos muitos “devaneios” divulgados pelas mídias. Neste contexto, foram oportunas as discussões realizadas pelo professor com seus alunos sobre as consequências causadas pelas tempestades geomagnéticas à Terra, uma vez que as sociedade contemporânea é altamente dependente de sistemas eletro-eletrônicos, tal como o uso de GPS (*Global Positioning System*) como sistema de orientação e durante tempestades geomagnéticas estes aparelhos podem ser danificados provocando perda da orientação de aeronaves, problemas nas comunicações, linhas de transmissão de eletricidade e podendo até modificar órbitas de satélites artificiais.

Após trabalhar teoricamente diversos aspectos da física solar, o professor propôs aos alunos a realização de duas atividades práticas. A primeira refere-se à construção de um espectroscópio de baixo custo; a segunda estimar a temperatura da superfície do Sol (fotosfera solar). Em sala de aula questões científicas são raramente ensinadas por meio de atividades práticas, em se tratando do ensino de física, estudar aspectos da física solar propiciou uma aproximação entre o conhecimento científico e o mundo cotidiano do aluno.



Construção do espectroscópio

[...] o Sol e todas as estrelas [...] ó lembrem que o Sol é uma estrela hein!!! [...] possuem uma assinatura química, como a impressão digital que temos. Para enxergar esta assinatura precisamos de um ‘aparelho’ que decomponha a luz vinda [emitida] do Sol [que chamamos de] o espectro solar. Este ‘aparelho’ é que os cientistas chamam de espectroscópio (Professor de Física).

Com a fala acima o professor iniciou os trabalhos sobre espectroscopia com seus alunos. A construção do espectroscópio foi realizada de forma amadora e com materiais de baixo custo, porém o resultado final possibilitou aos estudantes terem um contato inicial com um dos conceitos/instrumentos mais poderosos que os astrônomos dispõem atualmente para estudar o céu: a espectroscopia. A montagem do espectroscópio baseou-se na situação de aprendizagem “Um equipamento astronômico” sugerida pela Proposta Curricular do Estado de São Paulo para a 3ª série do ensino médio (SEE/SP, Ap. 3, 2009, p. 25-9).



Figura 1a: Materiais utilizados

Materiais

Fita isolante e adesiva,
CD, cola, régua,
estilete, tesoura, tubo
de papelão (tubo de
papel toalha) revestido
com papel *color set*
preto.

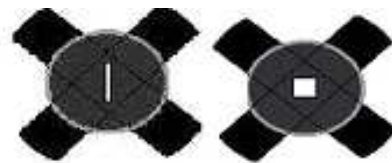


Figura 1b: Tampas para o tubo

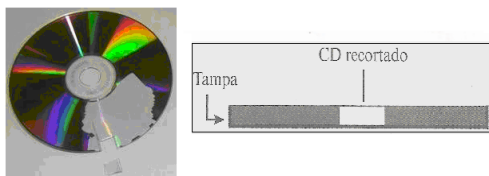


Figura 1c: Retirando a película do CD

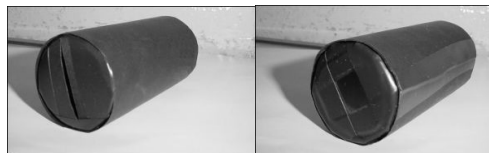


Figura 1d: Espectroscópio pronto

Fonte: Proposta Curricular do Estado de São Paulo (SEE/SP, Ap. 3, 2009).

Após construírem seu próprio espectroscópio, os alunos, guiados pelo professor, passaram a observar diversas fontes de luz, como o Sol (a partir de observação indireta), lâmpada incandescente, lâmpada traseira de automóveis..., e fazer representações das imagens observadas (espectros). As discussões que se seguiram permitiram ao professor discutir sucintamente com os alunos a respeito de espectros de absorção e emissão, e permitiram ainda fomentar diretamente os trabalhos do professor de química quando da abordagem sobre a natureza das linhas espectrais e espectros dos diferentes elementos químicos.

Em geral, os alunos não apresentaram grandes dificuldades na construção e uso do espectroscópio, porém não podemos afirmar o mesmo quanto às discussões que se seguiram. Muitos alunos ficaram surpresos e demoraram a aceitar que o espectro solar observado indiretamente pelo espectroscópio era similar ao espectro observado em um arco íris.

[...] mas porque no arco íris precisa da chuva então? (Aluna G).

Olha só pessoal [...] presta atenção [...] no arco íris temos um fenômeno natural de decomposição da luz solar... (Professor de Física).

[...] mas não tem Cd [...] háaa aqui é o Cd [...] (Aluno C).

Fica quieto! [...] fala professor (aluno E).

Então, aqui usamos um pedaço de Cd e uma fenda [apontando para a abertura no espectroscópio] para enxergarmos a decomposição das luzes [do Sol e das lâmpadas] no arco íris [...] [o professor explica o fenômeno] (Professor de Física).

Os alunos também relutaram em entender a explicação sobre a natureza das linhas espectrais como sendo transições eletrônicas em energias específicas do átomo que podem ocorrer em várias regiões do espectro (cada elemento químico possui suas próprias transições características), sendo necessária maior atenção sobre este aspecto no bloco de química. Ficou evidente que os alunos não possuíam conhecimentos básicos de química atômica, muito menos de transição eletrônica. Algumas das dificuldades apresentadas pelos alunos, principalmente sobre a natureza das linhas espectrais, evidenciam algumas das lacunas existentes na formação destes alunos do terceiro ano do ensino médio, no que se refere às disciplinas científicas. Estas lacunas se tornam muito preocupantes se pensarmos que estes alunos estão terminando a educação básica e talvez nunca mais tenham contato com temas da ciência moderna, por exemplo, física moderna, tão importantes para a compreensão de aparatos tecnológicos na sociedade contemporânea, o que é no mínimo inquietante do ponto de vista educacional. Tais dificuldades foram relatadas em reunião de HTPC (Hora de Trabalho Pedagógico Coletivo), o que levou alguns professores, em especial os de química, a repensarem o plano de ensino para o ano letivo seguinte.

A partir dos comentários dos alunos, foi possível constatar que esta atividade mostrou-se no mínimo motivadora para o ensino de conceitos 'modernos' do ensino de ciência em sala de aula. O entusiasmo dos alunos em construir o espectroscópio, fazer observações e discutir com o professor e seus pares foi marcante durante toda a atividade, propiciando momentos enriquecedores para o processo de ensino-aprendizagem, raramente presenciado em salas de aula.

Estimando a temperatura da fotosfera solar

Para a determinação da temperatura da fotosfera solar, foi necessário o professor inicialmente trabalhar com os alunos alguns conceitos relacionados à calorimetria e o conceito de corpo negro⁸, assim trabalhou com os alunos conceitos físicos de termodinâmica básica e física moderna. Esta atividade baseou-se em um experimento da “Experimentoteca” do CDCC/USP⁹ cujo objetivo é estimar a temperatura da superfície solar a partir de uma montagem simples utilizando materiais de baixo custo (uma lata de alumínio pintada de preto, termômetro, proveta 100 ml, cronômetro e calculadora).

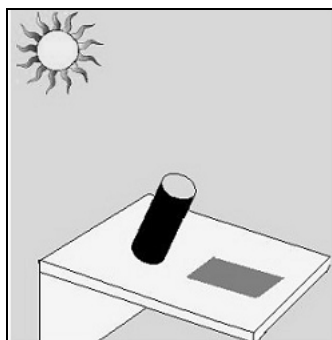


Figura 2a: Posição da lata exposta ao Sol

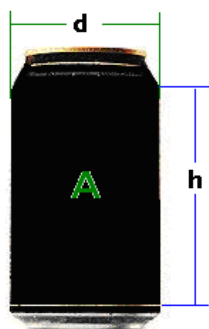


Figura 2b: Área longitudinal da lata

Nesta montagem, a lata cilíndrica preta com água, exposta ao Sol, pode ser considerada um corpo negro (Figura 2a). E a fração de radiação que atinge a lata pode ser considerada proporcional à radiação emitida pelo Sol na distância Terra-Sol. Entendendo o Sol como um *corpo negro* e realizando alguns cálculos envolvendo conceitos de calorimetria e corpo negro, foi possível aos alunos estimarem a temperatura da fotosfera solar.

No que se referem aos procedimentos experimentais, os alunos orientados pelo professor, não apresentaram grandes dificuldades. Inicialmente os alunos determinaram a massa de água (m) colocada na lata e sua temperatura inicial (T_i). A lata ficou exposta ao Sol por aproximadamente 5 minutos (Δt), então foi medida a temperatura final da água (T_f). Conhecida a massa de água e a variação de temperatura, determinou-se a quantidade de calor recebida pela água ($E_{\text{água}} = mc(T_f - T_i)$), em J/s. Destacamos que não foi considerado o calor recebido pela lata, uma vez que a massa da lata é infima em relação à massa de água utilizada e o calor específico da lata também é pequeno em relação o da água.

Considerando que a fração de radiação que atinge a lata é proporcional à radiação emitida pelo Sol na distância Terra-Sol, tem-se que a energia total irradiada pelo Sol pode ser determinada pela razão: $E_{\text{total}} = E_{\text{água}} \left(\frac{A}{A_{\text{lata}}} \right)$, onde A corresponde à área de uma esfera com o raio igual à distância Terra-Sol e A_{lata} é a área longitudinal da lata, ou seja, o diâmetro multiplicado pela altura ($d \times h$) (Figura 2b). Sabendo-se que a energia irradiada pelo Sol se propaga igualmente em todas as direções e sabendo o valor da distância Sol-Terra ($r = 1,5 \times 10^{13} \text{ cm}$), os alunos calcularam a área da esfera que a energia irradiada solar atravessa $A = 4\pi r^2$. O passo seguinte foi calcular a energia total irradiada pelo Sol por

⁸ Corpo negro pode ser definido como sendo o meio ou substância que absorve toda a radiação incidente sobre ele, independentemente do comprimento de onda, direção de incidência ou estado de polarização. Nenhuma parte da radiação incidente é refletida ou transmitida.

⁹ A experimentoteca é o setor do CDCC/USP responsável por fornecer kits para as escolas realizarem experimentos didáticos de ciências em sala de aula. *Energia irradiada pelo Sol*. http://www.cdcc.usp.br/exper/medio/fisica/kit3_calorimetria/exp6_termo.pdf

unidade de tempo ou potência total solar irradiada. Para tanto a energia absorvida pela lata foi dividida pelo tempo que a mesma foi exposta ao Sol, de modo a obter a potência.

$$\frac{E_{total}}{\Delta t} = \frac{E_{\acute{a}gua}}{\Delta t} \left(\frac{A}{A_{lata}} \right) \text{ ou seja, } P_{total} = \frac{E_{\acute{a}gua}}{\Delta t} \left(\frac{A}{A_{lata}} \right)$$

Como resultados, percebemos que a média dos valores encontrados para a potência irradiada pelo Sol foi de aproximadamente $P_{total} = 3,5 \times 10^{26} W$ (Tabela 2), ficando na mesma ordem de grandeza do valor de referência. Estima-se hoje que a energia responsável pela luminosidade do Sol é da ordem de $P = 3,8 \times 10^{26} W$ (Silva, 2006).

Tabela 2: Resultados dos grupos		
Grupo	Potência irradiada pelo Sol (P_{total}) ($\times 10^{26} W$)	Temperatura da fotosfera solar (T) (K)
1	3,643	5700
2	3,454	5625
3	3,541	5660
4*	12,470	—
5	3,655	5705
6	3,369	5590
7	3,668	5710
8	3,321	5570
9	3,393	5600
10*	0,396	3275

*Descartados devido a erros no procedimento experimental.

A partir do cálculo da potência irradiada pelo Sol, e considerando o Sol como um corpo negro, os alunos estimaram a temperatura da fotosfera solar usando alguns conceitos de corpo negro, particularmente a “lei de Stephan-Boltzmann” [$P = \sigma T^4$ onde $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} W / m^2 K^4$]. Para o cálculo desta estimativa, inicialmente os alunos dividiram a potência irradiada pela área do Sol (P_{total} / A) (raio do Sol é de aprox. $6,96 \times 10^8 m$), assim, consideraram o Sol como sendo uma esférica que

irradia igualmente em todas as direções. Por fim calcularam a temperatura da fotosfera solar a

partir da equação: $T = \sqrt[4]{\frac{P/A}{\sigma}}$.

A média dos valores encontrados pelos grupos para a temperatura da fotosfera solar foi de aproximadamente $T = 5645 K$. Resultado considerado satisfatório, visto que ficou bem próximo do valor de referência para a temperatura da fotosfera solar, $T = 5780 K$ (Silva, 2006), ou seja, um erro de aproximadamente 2,3 %. Como bem sinaliza Aroca (2009), o resultado deste experimento depende muito do local onde a experiência é realizada, uma vez que as condições atmosféricas podem interferir.

A maior dificuldade apresentada pelos alunos na realização deste experimento foi a tomada de medidas e a “manipulação” matemática dos dados experimentais. Tais dificuldades evidenciaram as dificuldades que muitos alunos apresentam em disciplinas básicas, como a matemática. Esta constatação levou o professor de matemática a desenvolver com os alunos algumas ações específicas, englobando tópicos disciplinares como potenciação, fatoração, Algarismos significativos e geometria, e relacionando-as com a proposta de trabalho interdisciplinar. Algumas indagações serviram de guia para este trabalho, como: Quão longe de nós está o Sol? E as outras Estrelas? Que conclusões podem ser extraídas da relação entre a potência total solar (experimento de física) e potência gerada pelas usinas de energia elétrica?

Como mencionado no início do texto, uma das formas de avaliação dos alunos foi a elaboração em grupo de um texto, único para todas as disciplinas, contemplando e articulando todos os blocos de ensino trabalhados (Biologia, Matemática, Química e Física). Os

resultados e as discussões destes textos se encontram em fase de análise, sendo, portanto, admissível apresentá-los em outro artigo. No entanto, adiantamos que uma análise superficial dos textos nos mostra que os mesmos articulam e englobam com bastante riqueza de detalhes todos os blocos de ensino trabalhados, o que evidencia o empenho e a motivação dos alunos para com as atividades trabalhadas e o caráter interdisciplinar desta abordagem.

Enfim, tendo em vista o objetivo enunciado pelos PCN no qual a interdisciplinaridade tem a pretensão de utilizar os conhecimentos de várias disciplinas para compreender um determinado fenômeno sob diferentes pontos de vista, acreditamos que esta proposta alcançou êxito, uma vez que foi possível, a partir de um trabalho conjunto entre professores e disciplinas, discutir diversos aspectos de nossa estrela com os alunos, o que, de modo geral, culminou em uma visão mais ampla e desfragmentada das ciências.

Comentários finais

O estudo do Sol embora importante do ponto de vista científico, raramente é ensinado nas escolas brasileiras, seja na Educação Básica ou em cursos de formação de professores, neste sentido esperamos com este texto contribuir para mudar este quadro. Explorar este tema em sala de aula permitiu penetrar em várias áreas do conhecimento, e desta forma promover um ensino interdisciplinar e questionador. Permitiu ainda discutir com os alunos diversos conceitos científicos sobre o Sol, penetrando em tópicos da ciência muito vivenciados, porém, pouco discutidos em sala de aula. Este panorama foi fundamental para um novo olhar do estudante para as ciências, ou seja, para uma visão não fragmentada da ciência.

Em relação aos professores participantes, estes foram unânimes em relatar que trabalhar o tema Sol de modo interdisciplinar foi gratificante e desafiador, uma vez que propiciou estudá-lo sob vários olhares, científico, tecnológico e também social. Fato que raramente é realizado pelas escolas brasileiras, seja na Educação Básica (devido a não flexibilidade dos currículos) ou em cursos de formação de professores. Esta constatação revela indícios de resposta a nossa pergunta “[...] é possível o trabalho interdisciplinar, focado no tema Sol, em uma escola pública de SP?”.

No que tange ao bloco de ensino de física, o qual nós elegemos para uma análise e discussão mais intensa, concluímos que é possível trabalhar a física moderna a partir da solar em sala de aula, o que ficou evidente a partir da grande aceitação e motivação dos alunos no desenvolvimento das atividades, o que refletiu diretamente nos resultados obtidos com os experimentos. Compartilhamos com Pietrocola (2005) que a física como conhecimento só poderá ser integrada ao patrimônio intelectual dos alunos caso possa ser percebida em relação ao mundo que nos cerca, neste sentido, acreditamos que a busca por temas que propiciem um ensino contextualizado, no qual o aluno possa vivenciar, aprender e discutir com a integração de diferentes disciplinas possibilita ao compreensão do tema trabalhado em seus diferentes aspectos, sejam eles de cunho humanístico ou científicos.

Enfim, é importante enfatizar que outras disciplinas curriculares poderiam fazer parte desta proposta de trabalho, por exemplo: Artes (construções artísticas relacionadas ao Sol), Inglês (textos extraídos de periódico, como *Solar Physics*), Português (Filme “2012” como base para redações), História (o Sol em diferentes sociedades), etc., porém problemas de ordem técnica (disponibilidades dos professores, currículos...) acabaram inviabilizando alguns trabalhos.

Agradecemos o apoio e a participação de todos os colegas professores que prontamente acolheram a proposta de trabalhar com seus alunos este tema tão fascinante e presente no cotidiano de todos nós: o Sol.

Referências

- AROCA, S. C. **Ensino de física solar em um espaço não formal de educação**. Tese de Doutorado, Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2009.
- BHATNAGER, A. e LIVINGSTON, W. **Fundamentals of solar astronomy**. Singapura: World Scientific Publishing, 2005.
- BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais: ensino médio**. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: Ministério da Educação, SEMTEC, 1999.
- _____. **PCN+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos PCNs**. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC, SEMTEC, 2002.
- BROKINGTON, G. e PIETROCOLA, M. Serão as regras da transposição didática aplicáveis aos conceitos de física moderna? **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 3, 2005.
- KEPLER, S. O. e SARAIVA, M. F. O. Fusão Termo-Nuclear. In: **Astronomia e Astrofísica**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2004.
- FAZENDA, I. C. A. **Integração e interdisciplinaridade no ensino brasileiro: efetividade ou ideologia**. São Paulo: Loyola, 1979.
- JAPIASSU, H. **Interdisciplinaridade e Patologia do Saber**. RJ: Imago, 1976.
- LOPES, A. R. C. **Reflexões sobre Currículo: as Relações entre Senso Comum, Saber Popular e Saber Escolar**. Em Aberto, Brasília, v. 58 (jan./ mar), 1993.
- LÜCK, H. **Pedagogia Interdisciplinar: Fundamentos Teórico-Metodológicos**. Petrópolis: Vozes, 2004.
- LÜDKE, M. e ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária LTDA, 1986.
- MIKSER, R.; REISKA, P.; ROHTLA, K. **Science Teachers' Interpretations about Interdisciplinary Teaching**, 2008. <http://cmc.ihmc.us/cmc2008papers/cmc2008-p401.pdf>
- NASA (America's space agency). **Our Star the Sun**, 2011. Disponível em: <<http://sohowww.nascom.nasa.gov/classroom/classroom.html>>. Acesso em 28 jan. 2011.
- NEIRA, T. R. Interdisciplinariedad: aspectos básicos. **Aula abierta**, n. 69, 1997, pp. 3-22.
- PEREIRA, P. e OSTERMANN, F. Sobre o ensino de Física Moderna e Contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. **Investigações Ensino de Ciências**, v. 14, n. 3, 2009.
- PIAGET, J. L'épistémologie des relations interdisciplinaires. In: **L'interdisciplinarité: problèmes d'enseignement et de recherche dans les universités**. Paris: OCDE, 1972. Disponível: http://www.fondationjeanpiaget.ch/fjp/site/textes/VE/jp72_epist_rel_interdis.pdf
- PIETROCOLA, M. (Org.). Construção e realidade: o papel do conhecimento físico no entendimento do mundo, In: **Ensino de Física – conteúdo, metodologia e epistemologia em uma concepção integradora**. Florianópolis: UFSC, 2005.
- RICARDO, E. C. **Discussões dos seminários regionais e nacional referentes aos rumos que serão dados ao ensino de física a partir dos PCNEM**. Brasília, 2004. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/08Fisica.pdf>>. Acesso em 20 nov. 2010.
- SEE/SP. **Proposta Curricular do Estado de São Paulo**. Secretaria de Estado da Educação de São Paulo. São Paulo: SEE, 2008.
- _____. **Proposta Curricular do Estado de São Paulo. Caderno do Professor: Física**. Secretaria de Estado da Educação de São Paulo. São Paulo: SEE.
- SILVA, O. S. **A interdisciplinaridade na visão de professores de química do ensino médio: concepções e práticas**. Dissertação, Universidade Estadual de Maringá, 2008.
- SILVA, A. **Nossa estrela: o Sol**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.
- VARGAS, S. V.; NÚÑEZ, O. M.; GÓMEZ, G. J. ¿Enseñanza de las ciencias por disciplinas o interdisciplinariedad en la escuela? **Tecné, Episteme y Didaxis**, n. 23, 2008, pp. 78-88
- ZIRIN, H. **Astrophysics of the Sun**. New York: Cambridge University Press, 1988.