

O PROJETO ERATÓSTENES: A REPRODUÇÃO DE UM EXPERIMENTO HISTÓRICO COMO RECURSO PARA A INSERÇÃO DE CONCEITOS DA ASTRONOMIA NO ENSINO MÉDIO⁺*

Antônio José de Jesus Santos

Instituto Federal de Sergipe

Campus de São Cristóvão

Aracaju – SE

Marcos Rincon Voelzke

Mauro Sérgio Teixeira de Araújo

Programa de Mestrado e Doutorado em Ensino de Ciências e Matemática

Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa

Universidade Cruzeiro do Sul

São Paulo – SP

Resumo

Foram investigadas as contribuições educacionais de uma abordagem baseada na História da Ciência e na experimentação envolvendo conceitos científicos da área de Astronomia, destacando a reprodução do experimento realizado originalmente por Eratóstenes no século III A.C., destinado à medição do raio da Terra. Constatou-se que as atividades realizadas contribuíram expressivamente para que os estudantes do Ensino Médio de duas escolas públicas de Sergipe, o Colégio Estadual Secretário de Estado Francisco Rosa Santos, em Aracaju, e o Instituto Federal de Sergipe, campus de São Cristóvão, tivessem o seu interesse desperta-

⁺ The Eratosthenes Project: the reproduction of a historical experiment as a resource for the inclusion of Astronomy concepts in High School

^{*} *Recebido: maio de 2012.
Aceito: agosto de 2012.*

do para a construção de novos conhecimentos científicos e compreendessem alguns aspectos inerentes às ciências e à Astronomia em particular, como o seu caráter empírico e o seu desenvolvimento histórico, imerso, portanto, em um específico contexto social, econômico e cultural. A abordagem utilizada possibilitou um grande envolvimento dos estudantes participantes e o aprimoramento da relação professor-aluno. As avaliações realizadas identificaram que houve significativa aprendizagem dos conceitos abordados envolvendo a Física e a Astronomia, como latitude, longitude, equinócio, solstício, meio-dia solar, entre outros conceitos que foram tratados de maneira interdisciplinar com outras áreas do saber, como a Geografia, a História e a Matemática.

Palavras-chave: *Ensino de Astronomia. História da Ciência. Experimentação. Projeto Eratóstenes.*

Abstract

This investigation was about an educational approach based on the History of Science and experimentation involving scientific concepts in the area of Astronomy, highlighting the reproduction of the original experiment performed by Eratosthenes in the third century B.C., designed to measure the Earth radius. It was found that the realized activities contributed significantly to the success of High School students from two public schools of Sergipe – the State College State Secretary Francisco Rosa Santos in Aracaju, Sergipe and the Federal Institute, campus of São Cristóvão – since these activities had aroused the students' interest for the construction of new scientific knowledge, and they improved their comprehension of some aspects related to Science and Astronomy in particular, as its empirical character and its historical development, therefore immersed in a specific social, economic and cultural context. The approach allowed for a greater involvement of participating students and it improved student-teacher relationship. The evaluations identified that a significant learning of the discussed concepts involving Physics and Astronomy had occurred, such as latitude, longitude, equinox, solstice, midday sun, among other concepts treated in an

interdisciplinary manner with other disciplines such as Geography, History and Mathematics.

Keywords: *Teaching of Astronomy. History of Science. Experimentation. Eratosthenes Project.*

I. Introdução

Ao longo de séculos, a Astronomia proporcionou significativas contribuições para o desenvolvimento de outras ciências, em decorrência de descobertas que impactaram nas diferentes áreas do conhecimento. Muitas tecnologias que são empregadas atualmente apresentam contribuições da Astronomia, como, por exemplo, os processos eficientes de preservação de alimentos por períodos maiores tendo em vista a necessidade de o homem sobreviver por longos períodos em suas viagens ao espaço, além de novos produtos que foram desenvolvidos e que geraram aplicações posteriores que contribuíram para o conforto do homem.

Apesar da sua importância, ainda hoje a abordagem de conteúdos da Astronomia pode ser considerada subdimensionada na maioria das escolas, devendo-se, então, questionar: Como é possível ampliar a importância dada à Astronomia nos ambientes escolares? O que se deve fazer para resgatar o ensino dessa ciência entre os discentes, favorecendo a sua aprendizagem conceitual e o desenvolvimento de competências específicas?

Este trabalho visa a responder a essas questões, sinalizando encaminhamentos metodológicos capazes de tornar o ensino de ciências mais prazeroso e interativo.

A Astronomia, como todas as demais ciências, constitui uma construção humana historicamente situada, tendo seus contornos delineados pelos contextos sociais, econômicos e culturais de cada época. Nessa perspectiva, a abordagem histórica da produção dos conhecimentos científicos e, em particular, a reprodução de experimentos históricos relevantes constituem recursos que podem contribuir grandemente para que os estudantes tenham o seu interesse despertado para a construção de novos conhecimentos e, além disso, compreendam alguns aspectos inerentes às ciências, como o seu caráter empírico, que deve ser abordado de modo contextualizado. Conforme asseveram Paula e Laranjeira (2005, p. 5):

Dentre as diferentes estratégias de utilização da história da ciência no ensino, vamos encontrar a utilização de experimentos históricos como aquela que reconhecemos detentora de grande potencial para promover uma ade-

quada articulação da dimensão empírica do conhecimento científico na sala de aula de maneira contextualizada e culturalmente rica.

Esses autores afirmam ainda que, apesar de os resultados de pesquisas não serem plenamente conclusivos acerca da efetividade de tal recurso metodológico, acredita-se que “ele pode ser bastante revelador da dinâmica intrínseca do processo de construção e desenvolvimento da ciência”.

Portanto, ao lado de outros recursos didático-metodológicos, o uso de aspectos históricos relacionados à produção de conhecimentos deve ser entendido como um importante caminho a ser trilhado nos ambientes educacionais, pois tende a oferecer subsídios relevantes para que os estudantes compreendam que o processo de produção de conhecimentos deve ser histórica e culturalmente situado.

Tomando por base essa premissa, entende-se que a área de Astronomia, ainda pouco explorada nas escolas, carece de abordagens que a torne mais atrativa e estimulante, o que pode ser alcançado por meio de uma abordagem amparada na História da Ciência e com um viés experimental, facilitando o desenvolvimento de algumas competências defendidas em muitos documentos oficiais atuais, que sustentam orientações curriculares calcadas na exploração de aspectos contextualizáveis do conhecimento científico e na possibilidade de se estabelecer a interdisciplinaridade entre diferentes campos do saber. Nesse sentido, destacando que o processo de contextualização demanda uma nova relação entre o sujeito e o objeto de estudo, Nunes (2002, p. 84) assevera que

contextualizar o conteúdo que se quer aprendido significa, em primeiro lugar, assumir que todo conhecimento envolve uma relação entre sujeito e objeto. Na escola fundamental ou média, o conhecimento é quase sempre reproduzido das situações originais nas quais acontece a sua produção.

Assim, é importante que sejam utilizados recursos instrucionais e ferramentas adequadas para que os estudantes possam construir seus próprios conhecimentos, estabelecendo novos significados aos elementos que constituem o objeto de estudo e de aprendizagem. Paralelamente, devem-se moldar as situações didáticas de forma que o aluno tenha meios de assumir uma postura diferenciada, considerando que o “tratamento contextualizado do conhecimento é o recurso que a escola tem para retirar o aluno da condição de espectador” (NUNES, 2002, p. 84).

Entende-se que, juntamente com a contextualização, é relevante que sejam valorizadas as abordagens que contribuam para a interdisciplinaridade, facilitando, assim, a integração entre saberes de diferentes áreas de conhecimento, o que pode ser conseguido por meio do desenvolvimento de projetos de investigação e de

pesquisa, conforme foi estruturado na proposta aqui apresentada e com o que também é defendido por Nunes (2002, p. 79), ao afirmar que,

de fato, será principalmente na possibilidade de relacionar as disciplinas em atividades ou projetos de estudo, pesquisa e ação, que a interdisciplinaridade poderá ser uma prática pedagógica e didática adequada aos objetivos do Ensino Médio.

Portanto, ao se buscar atender aos preceitos da contextualização e da interdisciplinaridade, trilha-se um caminho educacional em que competências e habilidades gerais podem ser desenvolvidas nos estudantes. Nas Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+) (BRASIL, 2002, p. 22), essas competências estão agrupadas em três conjuntos: *representação e comunicação, investigação e compreensão e contextualização sociocultural*, elementos estes que também se encontram presentes neste trabalho, que investiga uma proposta de abordagem experimental envolvendo aspectos históricos relacionados à determinação do raio da Terra, apoiando-se no experimento de Eratóstenes. Acredita-se que esse tipo de abordagem apresenta relevância e encontra respaldo nos próprios PCN+ (BRASIL, 2002, p. 113), em que se afirma que “Investigar e resgatar a história do desenvolvimento do saber técnico e científico local pode também ser uma estratégia significativa na direção do estabelecimento de uma visão da ciência enquanto atividade humana e social”.

No que tange a este trabalho, foi proposto aos estudantes de duas escolas públicas de Sergipe, o Instituto Federal de Sergipe (IFS), no *campus* de São Cristóvão, e o Colégio Estadual Secretário de Estado Francisco Rosa Santos, em Aracaju, a reprodução do experimento de Eratóstenes, realizado há mais de 2200 anos e que constitui um importante experimento histórico. Essa atividade foi inserida como parte do projeto ERATÓSTENES¹, proposto nos Estados Unidos, em 2005, como parte das comemorações do Ano Internacional da Física, e que envolve estudantes de escolas de diferentes países. Esse experimento foi considerado um dos dez mais belos experimentos científicos de todos os tempos (CREASE, 2006) e permitiu a determinação do raio da Terra com precisão bastante elevada, se for considerada a época de sua realização e os recursos disponíveis. Acerca do experimento realizado por Eratóstenes, no início de sua obra, Crease (2006) destaca que,

¹ Para maiores detalhes consultar: <<http://df.uba.ar/eratostenes/>>. Acesso em: 18 ago. 2011.

no século III a.C., o sábio grego Eratóstenes (276-c.195 a.C.) fez a primeira medição conhecida do tamanho da Terra. Suas ferramentas eram simples: a sombra projetada pelo ponteiro de um relógio de Sol, mais um grupo de medidas e suposições. Mas essas medidas foram tão engenhosas que seriam citadas com autoridade por centenas de anos. É um cálculo tão simples e instrutivo que é refeito anualmente, quase 2.500 anos depois, por crianças de escolas em todo o mundo. E o princípio é tão gracioso que seu simples entendimento nos faz querer medir o comprimento de uma sombra.

Assim, diante de um experimento tão fascinante e engenhoso, cujas repercussões históricas, científicas e culturais são inegáveis, é natural acreditar que os estudantes se sintam atraídos e curiosos para reproduzi-lo, empregando recursos simples e de fácil aquisição, mas cujos resultados auxiliam a consolidar um conhecimento relevante acerca do tamanho e da forma do planeta Terra. Acerca dos impactos dos resultados desse experimento histórico, cujo legado repercutiu pelos vários séculos seguintes, Crease (2006) destaca que

seu resultado de 252 mil estádios foi aceito, por centenas de anos, pelos gregos antigos como um valor confiável para a circunferência da Terra. No século I d.C., o autor romano Plínio aclamou Eratóstenes como uma “grande autoridade” a respeito da circunferência da Terra, reputou seu experimento como “audacioso”, seu raciocínio como “sutil” e seu resultado como “universalmente aceito”. [...] Mesmo um milênio depois, os astrônomos árabes foram incapazes de aprimorar o seu trabalho, embora tenham usado métodos tais como medir o horizonte visto do topo de uma montanha de altura conhecida e calcular a distância de uma estrela em relação ao horizonte de dois lugares diferentes, simultaneamente. O cálculo de Eratóstenes não foi aprimorado até os tempos modernos, quando se tornaram possíveis medidas mais exatas das posições dos corpos celestes.

II. O uso da abordagem histórica no ensino de conceitos científicos

As Orientações Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (OCN) (BRASIL, 2006) estabelecem nitidamente a defesa do uso de abordagens educacionais pautadas em aspectos históricos relacionados à produção do conhecimento:

Um tratamento didático apropriado é a utilização da história e da filosofia da ciência para contextualizar o problema, sua origem e as tentativas de solução que levaram à proposição de modelos teóricos, a fim de que o aluno

tenha noção de que houve um caminho percorrido para se chegar a esse saber. Há, então, uma contextualização, que é própria do processo do ensino na escola.

Além dos documentos oficiais, há diferentes autores que defendem o uso de abordagens históricas como recurso didático-metodológico para se ensinarem conteúdos científicos, seja associado à realização de atividades experimentais (HOTTECKE, 2000; MEDEIROS; MONTEIRO JR., 2001a; MEDEIROS; MONTEIRO JR., 2001b; MONEIRO; NARDI, 2010; MONTEIRO; LISBOA-FILHO, 2002; MIRANDA; HIGA, 2009), relacionado com aspectos conceituais (ROCHA, 2009), ou mesmo envolvendo questões curriculares e da natureza da Ciência (MATTHEWS, 1995). Nesse sentido, Miranda e Higa (2009, p. 3) defendem que “para se conhecer a ciência considera-se necessário que se entenda como ela foi construída dentro do contexto histórico, ressaltando a importância dos indivíduos na construção deste conhecimento”.

Por sua vez, Medeiros e Monteiro Jr. (2001a, p. 2) se posicionam favoravelmente ao uso da abordagem histórica associada à reprodução de importantes experimentos, afirmando que,

mais recentemente, entretanto, tem nascido a convicção de que a história dos instrumentos científicos e dos experimentos executados com os mesmos merece uma atenção semelhante àquela até então dedicada apenas aos aspectos teóricos. Assim sendo, iniciativas de reconstruções históricas de experimentos têm, também, ocupado um papel de destaque, nos últimos tempos, entre os trabalhos de pesquisa que tentam utilizar a história da ciência enquanto um poderoso recurso pedagógico.

Cabe destacar a pouca valorização normalmente dada às atividades experimentais nos currículos das áreas científicas, havendo, assim, uma subestimação de sua importância e das suas possíveis contribuições educacionais. Apesar do caráter experimental inerente às ciências naturais, é importante enfatizar que, no uso da experimentação, evitou-se associá-la a uma concepção empirista da ciência, o que caracterizaria uma postura educacional e epistemológica questionável, pois se entende que a relação entre teoria e experimento apresenta outra natureza, em linha com o que destaca Medeiros e Monteiro Jr. (2001a, p. 3).

Diante da complexidade da relação teoria-experimento, na qual os experimentos podem ser vistos como tentativas de atribuir graus de realidade às idealizações teóricas, de proceder objetificações de uma realidade idealizada, abre-se um vasto campo interpretativo. O significado a ser atribuído a

uma observação, ao resultado de um determinado experimento, não é algo neutro, mas depende substancialmente do referencial teórico a partir do qual as coisas estejam sendo contempladas.

Assim, espera-se, com essa atividade, ampliar a disseminação de conhecimentos da área de Astronomia nas escolas de Ensino Fundamental e Médio, mostrando-se, ainda, caminhos que podem ser trilhados em cursos de graduação de Física e também naqueles voltados à formação de professores. No que se refere ao âmbito das intervenções realizadas, vislumbra-se resgatar o ensino dessa ciência no IFS, *campus* de São Cristóvão, e no Colégio Estadual Secretário de Estado Francisco Rosa Santos, colocando em prática a proposta pedagógica aqui apresentada.

Com isso, busca-se despertar o interesse dos alunos em se aproximar da Ciência, em se apropriar ainda que parcialmente de seus métodos e em compreender um pouco melhor a sua natureza. Atuando dessa maneira, acredita-se estar possibilitando que ampliem o seu conhecimento acerca do extraordinário Universo onde vivem e, em particular, do próprio planeta Terra, berço da civilização humana.

III. Objetivos e preparativos para a realização da atividade

Esta investigação apresenta natureza qualitativa, uma vez que possui o “ambiente natural como sua fonte direta de dados e o pesquisador como seu principal instrumento”, além do fato de os dados coletados serem predominantemente descritivos (LUDKE, ANDRÉ, 1986, p. 11-12) e de a preocupação maior recair sobre o significado dos dados obtidos e sobre a compreensão do fenômeno investigado, muito mais que com aspectos quantitativos (MINAYO, 1986). Nela, busca-se reproduzir um importante experimento histórico destinado à medição do raio da Terra, envolvendo vinte e três alunos do primeiro ano e vinte e dois alunos do terceiro ano do Ensino Médio da Escola Estadual Secretário de Estado Francisco Rosa Santos e cinquenta alunos do terceiro ano do curso técnico em Agroindústria no IFS/*campus* São Cristóvão, que participaram do projeto Eratóstenes, realizado com escolas de vários países da América e que possui, entre seus vários objetivos,

- realizar o intercâmbio cultural dos países latinos;
- determinar o raio do planeta Terra;
- obter o momento real do meio-dia solar do local onde se encontra o aluno;
- estabelecer interdisciplinaridade com várias disciplinas escolares, tais como Geografia, História, Artes, Física e Matemática;

- abordar historicamente como a circunferência da Terra foi medida pela primeira vez há mais de dois mil anos.

Na primeira aula ministrada para os alunos procurou-se apresentar a proposta do trabalho e discutir a importância de se desenvolver a atividade experimental buscando reproduzir o experimento de Eratóstenes. Visando situar esta figura no cenário histórico, foi perguntado aos alunos “Quem foi Eratóstenes?”, “Como Eratóstenes raciocinou para calcular o tamanho da Terra?” e “Como Eratóstenes conseguiu calcular a circunferência terrestre?” Essas questões motivaram bastante os estudantes a se envolverem com a proposta, uma vez que ficaram surpresos ao saberem que um conhecimento tão importante já havia sido desenvolvido há muitos séculos.

Para complementar essa aula inicial, os alunos foram orientados a ler alguns textos disponibilizados no *xerox*, para poderem se aprofundar nos estudos e obterem maiores informações sobre Eratóstenes e sua experiência. O texto principal utilizado em aula foi “Projeto Eratóstenes Guia do Estudante”, extraído do *site* do Projeto Eratóstenes, disponível em: <<http://df.uba.ar/eratostenes>>. Além desse material, os alunos tiveram acesso a outros, disponibilizados na forma de *xerox*, extraídos principalmente dos trabalhos Várias Faces da Matemática (ÁVILA, 2007), que auxiliou bastante na questão da interdisciplinaridade, e História Ilustrada da Ciência: das origens à Grécia (RONAN, 1997).

Para reforçar o caráter interdisciplinar da proposta, no Colégio Estadual Francisco Rosa Santos, foi possível envolver os professores de História e Geografia, que concordaram em participar e auxiliar nas atividades, tendo acesso ao material que serviu de base para as aulas e para os debates. A professora de História, que estava abordando as civilizações antigas, foi orientada a aprofundar os temas relacionados aos gregos, dando especial destaque para a sua cosmologia, reforçando, assim, os conteúdos presentes no material que os alunos tinham (Guia do Estudante). Por sua vez, a professora de Geografia abordou questões relacionadas às estações do ano, ao solstício, equinócio, à latitude, longitude, entre outros. Infelizmente, no IFS/São Cristóvão, não foi possível desenvolver a mesma dinâmica, pois se constatou uma maior dificuldade por parte dos professores em participarem do projeto, situação que foi agravada por conta de uma greve dos servidores federais.

Uma etapa importante consistiu em se realizar a inscrição da escola participante na página dos organizadores do projeto, onde foram informados a latitude e a longitude da escola e outros dados úteis. Em seguida, todos os participantes receberam *login* e senha e a distância da sua escola à linha do Equador. Ao final da atividade, os resultados das medidas foram publicados no *site* dos organizadores

do projeto que, por meios estatísticos, avaliaram o valor do raio terrestre informado.

IV. O Projeto Eratóstenes: reproduzindo o experimento realizado em Alexandria

O projeto Eratóstenes surgiu no Ano Internacional da Física (em 2005)² nos Estados Unidos e de lá para cá serviu de modelo para que outros países o implantassem. Coube à Argentina organizar esse projeto em toda a América do Sul através do Departamento de Física da Faculdade de Ciências Exatas e Naturais da Universidade de Buenos Aires, do Laboratório Pierre Auger (Mendoza) e da Associação Física Argentina. O Brasil tornou-se parceiro desse projeto em 2010, com a ajuda da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS).

Esse projeto envolve várias escolas de Ensino Médio, Centros Universitários, clubes de Astronomia e outras instituições de vários países (México, EUA, Cuba, Venezuela, Colômbia, Peru, Argentina, Uruguai e Brasil). O propósito principal desse projeto é proporcionar uma abordagem histórica de como a circunferência da Terra foi medida pela primeira vez, determinar experimentalmente o raio da Terra, determinar o momento real do meio-dia solar da localidade onde se encontra o discente medindo-se o ângulo que os raios solares fazem com a vertical, utilizar as Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) para socializar os resultados com comunidades escolares de vários países e estabelecer interdisciplinaridade com outras áreas como Geografia, História, Artes, Física, Matemática, Geometria, etc.

Sabe-se que o impulso ao desenvolvimento do conhecimento humano esteve, ao longo de muitos séculos, frequentemente associado à necessidade de se resolverem problemas práticos relacionados a situações cotidianas, como as atividades comerciais, censitárias, de deslocamentos, entre outros. É importante, portanto, em uma abordagem histórica como a aqui realizada, contribuir para que os estudantes percebam essa relação entre a produção do conhecimento e as situações vivenciais enfrentadas pelo homem. Nesse sentido, Miguel e Miorim (2004) destacam que essa forma de atuação docente “pode promover uma aprendizagem significativa, pois propicia ao estudante entender que o conhecimento matemático é construído historicamente a partir de situações concretas e necessidades reais”.

² Podem-se obter detalhes do projeto original no *site*:
<<http://www.physics2005.org/events/eratosthenes/>>. Acesso em: 28 set. 2011.

Alinhado a esse pensamento, ao abordar a Matemática no contexto do antigo Egito, Netto (2012) destaca que os antigos egípcios entendiam a Matemática como uma disciplina indutiva de natureza utilitária, sendo utilizada em situações práticas como o controle das inundações ou a medição de áreas a partir do uso de cordas. Essa aplicação prática do conhecimento matemático nos primórdios da civilização humana é salientada por esse autor, ao apontar que

as inundações anuais do Nilo destruíam, de tempos em tempos, os marcos limítrofes das propriedades, originando contendas sobre os direitos à terra. Nesse cenário, desenvolveu-se a classe profissional dos agrimensores, chamados de esticadores de corda, aos quais cabia restabelecer os antigos limites das áreas inundadas. Na prática, eles já conheciam o teorema de Pitágoras. Eles sabiam que um triângulo com lados 3, 4 e 5 é retângulo. Faziam, pois, numa corda, 12 nós — a intervalos regulares. Amarravam as pontas e esticavam a corda, dobrando-a convenientemente em três dos nós. Obtinham, assim, um triângulo retângulo. Isto lhes permitia traçar perpendiculares e paralelas, necessárias às tarefas de agrimensura. Dessa forma, conseguiam restabelecer os antigos limites das terras dos diversos proprietários.

De maneira convergente, as Diretrizes Curriculares do Estado do Paraná (PARANÁ, 2008, p. 3) trazem apontamentos que reforçam as ideias aqui discutidas, ao destacarem que

os povos das antigas civilizações desenvolveram os primeiros conhecimentos que vieram compor a Matemática conhecida hoje. Há menções na história da Matemática de que os babilônios, por volta de 2.000 A.C., acumulavam registros do que hoje pode ser classificado como álgebra elementar. Foram os primeiros registros da humanidade a respeito de ideias que se originaram das configurações físicas e geométricas, da comparação das formas, dos tamanhos e das quantidades.

Nesse contexto histórico, Eratóstenes, natural de Cirene (atual *Shahhat*, na Líbia), viajou muito para vários centros importantes como, por exemplo, Atenas, onde viveu por muitos anos. Um de seus contemporâneos era Arquimedes, que tinha grande respeito por Eratóstenes. De Atenas, Eratóstenes foi morar em um dos maiores centros culturais de sua época, Alexandria, a convite do rei Ptolomeu Euergates para ser o tutor do filho deste e o diretor da Biblioteca de Alexandria (ÁVILA, 2007).

Ao sul de Alexandria, onde atualmente se encontra a represa de Assuã, no Egito, ficava a cidade de Siena e, no período de Eratóstenes, havia um intenso tráfego de caravanas entre as duas cidades. Talvez por conta desse tráfego, sabia-se que a distância entre as duas cidades era de 5.000 estádios³ (aproximadamente 800 km). Segundo Ronan (1997), essa distância foi obtida provavelmente por um agrimensor treinado em andar a passos iguais. Sabia-se, também, que essas cidades estavam quase no mesmo meridiano (mesma longitude). Experimentalmente, não é nada fácil comparar a longitude entre dois lugares, mas eles sabiam disso, pois, para ir de Alexandria a Siena, viajava-se diretamente na direção sul (ÁVILA, 2007).

Com essas informações, pelo fato de o Sol estar a uma grande distância da Terra, de modo que os raios solares incidem em sua superfície praticamente paralelos, e como Eratóstenes sabia, por relatos que lhe foram feitos, que, no solstício de verão, ao meio-dia, em Siena, os raios solares incidiam verticalmente (isso era comprovado observando que o fundo de uma cisterna era iluminado totalmente ao meio-dia), Eratóstenes conseguiu calcular a circunferência da Terra com grande precisão para sua época. Ele só precisava obter a medida do ângulo entre os raios solares e a vertical de Alexandria ao meio-dia solar, na mesma data em que não havia sombra na cidade de Siena. Esse valor correspondia à diferença de latitude entre Alexandria e Siena. O valor obtido por Eratóstenes foi $7\frac{1}{4}$ de graus (aproximadamente $\frac{1}{50}$ da circunferência) e, assim, ele pôde calcular a circunferência da Terra, um valor aproximadamente igual a 40.000 km (ÁVILA, 2007; RONAN, 1997; CREASE, 2006).

V. A participação dos alunos da escola pública de Sergipe no Projeto Eratóstenes

O Colégio Estadual Secretário de Estado Francisco Rosa Santos, situado em Aracaju, SE, participou do projeto Eratóstenes em 2010 e 2011 e o Instituto Federal de Sergipe, *campus* São Cristóvão, somente em 2011, sendo essas as únicas escolas públicas participantes deste projeto no Estado. Nenhuma escola particular participou em 2010 neste Estado, e em 2011 houve apenas uma escola na cidade de Lagarto.

³ Estádio era uma unidade de comprimento usada pelos povos antigos e variava de uma cidade para outra. Segundo alguns historiadores Eratóstenes usava um estádio aproximadamente igual a 160 m (ÁVILA, 2007). Para mais detalhes, consultar o *link*: <<http://www.mat.ufrgs.br/~portosil/erath.html>>. Acesso em: 20 nov. 2011.

O experimento realizado por Eratóstenes apresenta grande importância histórica para a Ciência e a reprodução desse experimento proporcionou uma rica experiência interdisciplinar para professores e alunos brasileiros e de outros países.

O projeto Eratóstenes é inovador e ousado, pois permite discutir nos ambientes educacionais a geometria da incidência dos raios do Sol na Terra em diferentes latitudes, abrindo caminho para se efetuar uma abordagem histórica de como a circunferência da Terra foi medida pela primeira vez há mais de dois mil anos. Além disso, possibilitou que os professores e discentes envolvidos se comunicassem com outras escolas do Brasil e de outros países das Américas.

Após fazer a inscrição no *site* <www.df.uba.ar> e definir as datas para a realização das medidas, foram procuradas algumas escolas parceiras para trocar informações acerca dos dados. Os organizadores recomendaram que as escolas parceiras estivessem em paralelos cuja distância mínima fosse de 400 km, minimizando os erros envolvidos no cálculo do raio da Terra. Todos os envolvidos conheciam a distância da sua escola à linha do Equador e ao meridiano de Greenwich, pois os organizadores informavam esses valores.

Em uma das aulas, foram propostas aos alunos as seguintes questões:

O que é o meio-dia solar e como se pode determiná-lo? Como medir a latitude de Aracaju experimentalmente sem o uso do aparelho de GPS?

Essa aula teve como objetivo central permitir que os discentes compreendessem que o meio-dia solar não é igual ao meio-dia indicado pelos relógios. Uma vez que os conceitos de equinócio e solstício já haviam sido estudados na aula anterior, foi possível abordar como calcular a latitude de Aracaju com poucos recursos tecnológicos.

Nesta aula, foi empregado o programa *STELLARIUM*⁴ para determinar o meio-dia solar na latitude de Aracaju e os alunos foram orientados a escolherem as datas 21 de junho de 2010 (solstício de inverno) e 23 de setembro de 2011 (equinócio de primavera) para que pudessem obter a latitude de Aracaju.

A abordagem foi iniciada explicando-se para os discentes o conceito de meio-dia solar como sendo o instante em que a sombra de uma haste fixada na vertical é a menor possível ao longo do dia. Essa situação ocorre quando o Sol

⁴ O *software* *STELLARIUM* <www.stellarium.org> (acesso em: 20 set. 2011) foi criado em 2001 pelo programador francês Fabien Chéreau, sendo uma ferramenta muito útil para auxiliar no estudo e na observação do céu, transformando um computador em um planetário virtual, permitindo calcular as posições dos astros e mostrar com perfeição e por meio de imagens de ótima qualidade como seria o céu para um observador em qualquer parte do planeta e em qualquer época, além de simular fenômenos astronômicos como chuvas de meteoros, eclipses do Sol e da Lua, alinhamento planetário, etc.

passa pelo meridiano local, ou seja, na metade do seu caminho aparente, fenômeno conhecido como *trânsito solar*. O Sol, nessa posição, faz com que a sombra de uma haste fique na direção norte-sul, pois ela se encontra sobre a intersecção do horizonte do observador com o plano do meridiano local. Esse é um método eficiente para determinar os pontos cardeais e os discentes aprenderam a determinar essa direção.

O meio-dia solar foi, então, determinado utilizando-se o programa *STELLARIUM*, sendo, para isso, escolhidas pelos alunos algumas datas em que observavam o momento exato que o Sol passava pela linha do meridiano local. A Fig. 1 apresenta os resultados do meio-dia solar nas datas 21/06/2010 e 23/09/2011, que serviram de parâmetros para a determinação experimental da latitude de Aracaju.

As turmas participantes foram divididas em grupos de quatro a seis pessoas. Cada grupo tinha uma haste de ferro cujo comprimento diferenciava dos demais grupos. Eles receberam uma cartolina e uma base que servia para sustentar a haste, sendo a sua direção vertical garantida por meio de um prumo de pedreiro. A partir das 11h, os alunos marcavam a posição da haste na cartolina, com o horário correspondente, e a partir de então acompanhavam a extremidade da sombra marcando a cada cinco minutos a sua nova posição. Quando faltavam cerca de cinco minutos para ocorrer o trânsito solar, as medidas passavam a ser feitas em intervalos de um minuto, até que se notasse que a sombra estava aumentando.

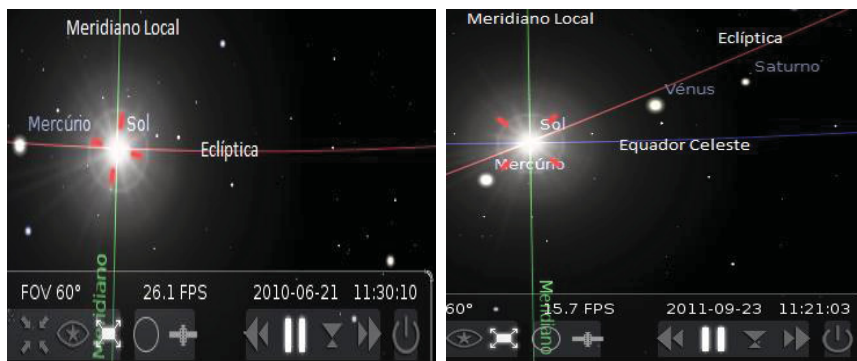


Fig. 1 – Ilustração do meio-dia solar em Aracaju nas datas 21/06/2010 e 23/09/2011. Segundo o *STELLARIUM*, o momento em que o Sol cruza o meridiano local corresponde à 11h30min e 11h21min, respectivamente.

No intervalo das medidas do comprimento da sombra, o professor lembrava os alunos sobre conteúdos discutidos acerca da Biblioteca de Alexandria (ÁVILA, 2007) e destacava um pouco da cosmologia grega.

A experiência foi realizada nos dias 20, 21 e 22 de junho de 2010, com a participação das turmas do Colégio Estadual Secretário de Estado Francisco Rosa Santos (Fig. 2) e, no dia 23 de setembro de 2011, a experiência foi repetida na calçada do pátio da mesma escola (Fig. 3), empregando uma haste vertical, esquematizada na Fig. 4.



Fig. 2 – Medida do meio-dia solar em 20 e 21 de junho de 2010, quando o professor instruiu os alunos sobre como realizarem a experiência.

Após os alunos identificarem na cartolina o horário e o comprimento da menor sombra, eles calcularam o ângulo que os raios solares faziam com a haste, sendo esse cálculo deixado como atividade para que fizessem em suas casas. Na aula seguinte, os grupos de alunos apresentaram em sala de aula os valores obtidos, sendo constatado que os valores de dois grupos divergiam muito dos demais. Foram dadas orientações para que esses alunos checassem os seus cálculos, o que permitiu identificar que eles haviam trocado a ordem dos catetos no conceito de tangente. Feita essa correção, todos os resultados dos grupos de alunos praticamente coincidiram, de modo que o valor obtido por um dos grupos foi selecionado para ser publicado no *site* do projeto em nome da escola, utilizando-se, para isso, a senha disponibilizada pelo sistema.



Fig. 3 – Medida do meio-dia solar em 23 de setembro de 2011 (equinócio de primavera). Os discentes identificaram a menor sombra do dia e o horário.

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos na experiência do solstício de inverno de 2010, quando a menor sombra ocorreu às 11h29min, e no equinócio de primavera de 2011, quando esse fenômeno ocorreu às 11h22min.

Tabela 1 – Dados experimentais do horário correspondente ao meio-dia solar em duas datas diferentes⁵.

Data	Hora do Meio-dia Solar	Comprimento da Haste (cm)	Comprimento da Sombra (cm)
21/06/2010	11h29min	75,1	51,6
23/09/2011	11h22min	75,1	14,0

Cabe ressaltar que esses resultados apresentam ótima concordância com os resultados previstos pelo programa *STELLARIUM* (Fig. 1). O ângulo formado entre os raios solares e a vertical (θ) foi determinado pelo arco tangente através da expressão:

$$\text{tg } \theta = \frac{h}{H}$$

⁵ O erro da medida dos comprimentos, tanto da haste como da sombra, é igual a 0,05 cm (considerado, neste trabalho, como sendo desprezível) e utilizando-se cálculos de propagação de erro constatou-se que o erro máximo associado com a medida θ na Tabela 2 vale 0,04°).

Nessa igualdade, h é o comprimento da sombra e H é o comprimento da haste.

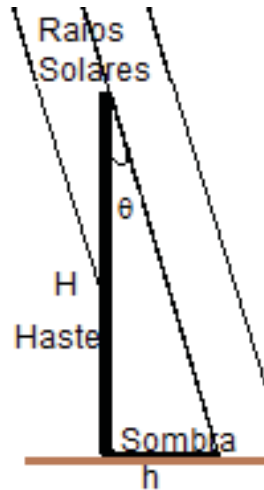


Fig. 4 – Ilustração dos raios solares incidindo sobre uma haste vertical.

O que se mediu de forma direta foi a sombra de uma haste vertical apurada em relação ao piso ou a uma base nivelada (Fig. 2 e 3) e, em seguida, determinou-se o ângulo (em radianos) entre os raios solares e a vertical dos pares das escolas parceiras (θ e α). O módulo da diferença entre esses ângulos informa o valor do ângulo central formado com os paralelos entre as duas cidades. Esse ângulo (em radianos) é igual à distância D entre esses paralelos dividido pelo raio R da Terra⁶.

$$R = \frac{D}{|\theta - \alpha|} \quad (2)$$

Após a determinação da menor sombra, na data combinada, os dados dos pares das escolas parceiras permitiram calcular o raio da Terra pela expressão (2).

⁶ Para mais detalhes, consultar o Anexo B, no final deste trabalho, ou os sites: <http://www.physics2005.org/projects/eratosthenes/TeachersGuide.pdf>, <http://difusion.df.uba.ar/Erat/InstructivoEratosthenes2011.pdf> e <http://sites.google.com/site/projetoerato/>. Acesso em: 01 out. 2011.

A Tabela 2 ilustra a localização das escolas de Sergipe que contribuíram com esse projeto e a Tabela 3 apresenta os resultados encontrados para o raio da Terra.

Tabela 2 – Localização das instituições públicas que participaram do projeto Eratóstenes em Sergipe.

Instituto Federal de Sergipe - <i>Campus</i> São Cristóvão
Latitude: 10° 56' 0" S Distância ao Equador: 1215,7 km Longitude: 37° 11' 0" O Distância ao mer. de Greenwich: 4059,43 km
Colégio Estadual Secretário de Estado Francisco Rosa Santos
Latitude: 10° 53' 0" S Distância ao Equador: 1210,14 km Longitude: 37° 5' 0" O Distância ao mer. de Greenwich: 4049,2 km

Tabela 3 – Valores obtidos para o raio da Terra com as escolas parceiras do Colégio Estadual Secretário de Estado Francisco Rosa Santos em 2010.

Projeto Eratóstenes – 2010 – Colégio Estadual Secretário de Estado Francisco Rosa Santos					
$(\theta = 34,5^\circ \cong 0,602 \text{ rad})$					
Instituição Parceira	Lat.	Long.	D (km)	α (rad)	R (km)
Colegio de Bachilleres del Estado de Hidalgo, Plantel Mineral de la Reforma, México.	20° 6' N	98° 43' O	3445	0,055	6298
Escuela Técnica N° 3 “Maria Sánchez de Thompson”, Buenos Aires, Argentina.	34° 34' S	58° 26' O	2633	1,005	6533
Colegio Kloketen, Tierra del Fuego, Ushuaia, Argentina.	54° 48' S	68° 18' O	4883	1,381	6268
Instituto Angel d’Elía, San Miguel, Argentina.	34° 32' S	58° 42' O	2630	0,998	6641
Escuela Provincial N° 38 "Presidente Julio A. Roca", Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur, Base Esperanza, Argentina.	63° 24' S	56° 39' O	5839	1,488	6590

Escola Nova Lourenço Castanho, São Paulo, Brasil.	23°35'S	46°40'O	1412	0,819	6507
Colegio Ciudad de Santa Rosa, Santa Rosa, La Pampa, Argentina.	36°37'S	64°17'O	2861	1,044	6473
Instituto Agrotecnico Industrial Chazon, Cordoba, Chazon, Argentina.	33°4'S	63°16'O	2467	0,972	6668
Instituto de Cultura Itálica, La Plata, Buenos Ares, Argentina.	34°55'S	57°58'O	2672	1,000	6713
Escuela Prof. Francisco Humberto Tolosa, Buenos Aires, Argentina.	33°11'S	68°28'O	2480	0,976	6631
COC Semeador, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil.	25°33'S	54°33'O	1631	0,842	6796
Asociación Astronómica de Rawson, Rawson, Provincia de Buenos Aires, Argentina.	34°36'S	60°4'O	2637	1,014	6400
I.P.E.M. "San Carlos", Maldonado, Uruguay.	34°30'S	63°56'O	2626	1,012	6405
Escola Estadual Patriarca da Independência, Vinhedo, São Paulo, Brasil.	23°01'S	46°58'Ó	1349	0,802	6745
E.E. Dona Consuelo Muller, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.	20°30'S	54° 38'	1069	0,767	6479
Escuela Secundaria n° 03 de La Plata, Argentina.	34°55'S	57°55'O	2672	1,015	6470
Valor Médio do Raio da Terra: 6.539 km Desvio padrão: 155 km					

Os dados obtidos em 2010 e 2011 para a medida do ângulo entre os raios solares e a vertical (θ) na Escola Estadual Francisco Rosa Santos encontram-se nas Tabelas 1 e 2. O IFS/São Cristóvão só participou em 2011 e o valor obtido para a medida desse ângulo foi $\theta = 10,5^\circ$ em 22/09/2011 ao meio-dia solar (11h23min), um valor praticamente igual ao obtido na Escola Estadual Secretário de Estado Francisco Rosa Santos ($\theta = 10,6^\circ$).

Tabela 4: Valores obtidos para o raio da Terra pelas escolas parceiras do Colégio Francisco Rosa Santos em 2011 (medida feita em 23/09/2011)⁷ e do IFS/São Cristóvão (medida feita em 22/09/2011 ao meio-dia solar, 11h22min).

Projeto Eratóstenes 2011- Colégio Estadual Secretário Francisco Rosa Santos e IFS/São Cristóvão ($\theta = 10,6^\circ \cong 0,185 \text{ rad}$)					
Instituição Parceira ⁸	Lat.	Long.	D (km)	α (rad)	R (km)
Escuela Paideia, Mérida, Venezuela.	8° 61' N	71°13' O	2165	0,148	6492
Escuela Técnica N° 3 "María Sánchez de Thompson", Buenos Aires, Argentina.	34°34' S	58°26' O	2633	0,622	6029
Escola Municipal Isabel Nascimento de Mattos, Petrolândia, Belo Horizonte, Brasil.	19°56' S	44°07' O	1006	0,337	6636
Colégio Estadual Olavo Bilac, Cantagalo, Paraná, Brasil.	25°17' S	52°09' O	1601	0,436	6376
IPEM N° 58GRAL Mosconi, La Puerta, Provincia de Córdoba, Argentina.	30°52' S	63°16' O	2222	0,533	6385
E.E. Media N° 7 de Lomas de Zamora, Provincia de Buenos Aires, Argentina.	34°45' S	58°24' O	2654	0,617	6138
Liceo de Nueva Palmira Dr. Medulio Perez Fontana, Departamento de Colônia, República Oriental Del Uruguay.	33°53' S	58° 25' O	2557	0,604	6110
Valor Médio do Raio da Terra: 6.309 km Desvio Padrão: 223 km					

⁷ Os valores obtidos para θ no Colégio Francisco Rosa e no IFS/São Cristóvão são praticamente iguais ($10,6^\circ$).

⁸ Para ver a relação geral das escolas parceiras, consultar o *link*: <<http://eratostenes.df.uba.ar/part.php>>. Acesso em: 02 out. 2011.

A Fig. 5 mostra os discentes realizando o experimento ao meio-dia solar na escola⁹ *Liceo de Nueva Palmira Dr. Medulio Perez Fontana*, Departamento de Colônia, República Oriental do Uruguai.



Fig. 5 – Alunos do Liceo de Nueva Palmira Dr. Medulio Perez Fontana, Departamento de Colônia, República Oriental Del Uruguay, participam do projeto Eratóstenes 2011. (Fonte: Arquivo da escola Liceo de Nueva Palmira Dr. Medulio Perez Fontana).

Na literatura, o valor médio do raio da Terra¹⁰ é de 6.371 km, um valor bem próximo dos resultados obtidos com as escolas parceiras.

Cabe destacar que um dos aspectos mais importantes observados no desenvolvimento deste projeto foi a integração entre as escolas de diferentes nacionalidades e a demonstração de que é possível aprender de forma prazerosa, mesmo quando se conta com poucos recursos disponíveis.

A outra parte da experiência consistiu em se determinar a latitude de Aracaju. A ideia é muito simples, pois, como já foi observado, no solstício de inverno, o Sol percorre o trópico de Câncer, cuja declinação é aproximadamente 23,5° N.

⁹ Para ver mais fotos de outras escolas consultar: Grupo Facebook 'Proyecto Eratóstenes' <<http://www.facebook.com/home.php?#!/group.php?gid=107311792629457>>. Acesso em: 06 out. 2011.

¹⁰ Para mais informações, consultar: <<http://www.universetoday.com/26629/radius-of-the-earth/>>. Acesso em: 06 out. 2011.

Geometricamente, é trivial¹¹ concluir que a latitude de um dado local (λ) é obtida facilmente nos solstícios pelo módulo da diferença entre a declinação do Sol correspondente aos trópicos de Câncer ou Capricórnio ($\delta = 23,5^\circ$, sem levar em consideração o sinal “-” para a latitude sul) com a medida do ângulo formado entre os raios solares e a vertical (θ) ao meio-dia solar no local em consideração, ou seja:

$$\lambda = |\delta - \theta| \quad (3)$$

Essa mesma conclusão se aplica quando o Sol percorre a linha do Equador (equinócios), mas, nesse caso, sua declinação é zero ($\delta = 0^\circ$).

A Tabela 5 ilustra os resultados obtidos da latitude de Aracaju. Nesse caso, o valor de δ corresponde à declinação do Sol na data especificada, ou seja, no solstício de inverno (21/06/2010), o Sol encontrava-se no trópic de Capricórnio ($\delta = 23,5^\circ$), e, no equinócio de primavera (23/09/2011), o Sol encontrava-se na linha do Equador, cuja declinação é zero ($\delta = 0$, o que explica os dados presentes na segunda coluna desta tabela). Os dados da terceira coluna foram obtidos pela expressão (3) com os valores retirados da Tabela 1.

Tabela 5: Resultados da latitude de Aracaju, calculada com os dados da Tabela 1.

Data da Medida	δ ($^\circ$)	θ ($^\circ$)	$\lambda = \delta - \theta $ ($^\circ$ S)
21/06/2010	23,5	34,5	11,0
23/09/2011	0,0	10,6	10,6

O valor médio das medidas da latitude corresponde a $10,8^\circ$ S. Por ser um método muito simples, os resultados são excelentes, uma vez que a latitude de Aracaju é aproximadamente $10,9^\circ$ S.

VI. Análise da aprendizagem dos estudantes envolvidos no projeto

A avaliação da aprendizagem dos estudantes ocorreu de maneira processual e com instrumentos diversificados ao longo do desenvolvimento do Projeto Eratóstenes, dividida em três etapas, sendo a primeira composta por um conjunto de atividades complementares planejadas para auxiliar os estudantes no processo de aquisição de novos conhecimentos, com valor máximo três pontos. A segunda envolvia elementos relacionados com as etapas da atividade experimental, com valor máximo de três pontos e, por fim, a terceira consistia em uma avaliação es-

¹¹ Ver Anexo B no final deste trabalho.

crita contendo questões abertas contemplando aspectos de contextualização dos conteúdos de Física, com pontuação máxima de quatro pontos.

Para o discente obter os pontos das atividades complementares, era preciso que desenvolvesse as atividades e os questionamentos formulados pelo professor para serem solucionados em casa e devolvidos na aula seguinte. Nesse item, foram propostas e realizadas várias atividades, dentre as quais merecem destaque: a) visita ao planetário de Aracaju, sendo pedido um relatório sobre as atividades desenvolvidas neste espaço; b) tradução de vários *e-mails* do espanhol para o português, recebidos das escolas parceiras. Para isso, o professor selecionava alguns *e-mails* recebidos das escolas parceiras da Argentina, do Chile, do México, de Cuba e de outros países e os repassava para os discentes, com o intuito de integrar as comunidades escolares e acompanhar as discussões; c) respostas a questionários abordando assuntos relacionados com o projeto, visando a esclarecer melhor os conceitos necessários ao seu desenvolvimento, permitindo, com isso, que o professor tivesse uma visão mais ampla de como os alunos estavam se apropriando dos conhecimentos; d) pesquisas na *internet* sobre a cultura dos povos dos países que participaram desse projeto; e) como preparativo para as atividades experimentais, os discentes receberam os dados das escolas parceiras (altura da haste, comprimento da sombra, distância da escola à linha do Equador, horário em que ocorreu o meio-dia solar, etc.) e, com eles, calcularam em suas residências a inclinação dos raios solares, repetindo essa atividade utilizando os dados referentes à própria escola, o que possibilitou que determinassem também a distância entre os paralelos que passam pela escola do discente e a escola parceira; f) com o uso dos *softwares STELLARIUM* e *Google Earth*, foram propostas atividades para os discentes determinarem o horário correspondente ao meio-dia solar nas datas combinadas previamente com as escolas parceiras, quando, então, seriam realizadas as medidas experimentais e feita a determinação da latitude e da longitude da escola do discente. Para essa atividade, a escola disponibilizou o uso do laboratório de informática, embora houvesse a possibilidade de ser realizada fora da escola; g) outra atividade complementar a essa última foi a comparação dos dados experimentais do horário do meio dia-solar com o previsto pelo programa *STELLARIUM* e a comparação da latitude de Aracaju determinada experimentalmente com o verificado por meio do programa *Google Earth*.

A segunda parte do processo avaliativo envolveu a realização da atividade experimental e a nota foi atribuída ao grupo, uma vez que essa etapa foi desenvolvida em grupos. Para isso, foram solicitadas as medidas experimentais relacionadas à determinação do meio-dia solar e da inclinação dos raios solares em relação à

vertical, a elaboração de um relatório do experimento e a sua apresentação para os demais grupos em uma data previamente agendada.

A terceira parte da avaliação consistiu na aplicação de uma prova escrita, contendo questões abertas, valendo quatro pontos e abordando os conteúdos de Física que foram trabalhados no bimestre correspondente.

Essa metodologia de avaliação foi aplicada somente no segundo semestre dos anos de 2010 e 2011 para as turmas que participaram do projeto, pois, no primeiro semestre, quando o projeto não estava em curso, os discentes faziam apenas uma avaliação escrita em que eram abordados os conteúdos de Física, valendo oito pontos, sendo os dois pontos restantes atribuídos às atividades complementares, compostas apenas por lista de exercícios e resumos dos capítulos do livro-texto. Nesse sentido, pode-se afirmar que a abordagem apresentava um caráter de ensino mais tradicional.

A opção por utilizar duas abordagens diferenciadas no primeiro e segundo semestres possibilita comparar o desempenho dos alunos, ao participarem do projeto, sendo perceptível que esse rendimento foi significativamente melhorado, conforme se pode verificar nas avaliações escritas, no envolvimento e na realização dos experimentos, bem como no desenvolvimento das atividades complementares, permitindo identificar a aprendizagem dos conceitos abordados e relacionados aos conteúdos da Física e da Astronomia (Fig. 6 e 7).

O projeto foi desenvolvido com duas turmas do Ensino Médio do Colégio Estadual Secretário de Estado Francisco Rosa Santos no segundo semestre de 2010 (alunos do terceiro ano B) e no segundo semestre de 2011 (alunos do primeiro ano F). Também no segundo semestre de 2011 houve a participação de uma turma do terceiro ano do curso técnico de Agroindústria do IFS/São Cristóvão, mas não foi possível identificar mudanças no seu rendimento, uma vez que, pelo perfil do curso, esses alunos já apresentavam um bom desempenho na disciplina Física e mantiveram a mesma dedicação e motivação no semestre seguinte. Além disso, devido à greve nas escolas federais e ao menor envolvimento de outros professores, não foi possível desenvolver adequadamente o projeto com esses discentes.

Quanto à carga horária, a disciplina Física constitui-se de duas aulas por semana e totaliza oitenta aulas por ano, cada uma com duração de cinquenta minutos. Desse total, foram destinadas vinte aulas, ou seja, uma aula por semana, para o desenvolvimento do projeto, sendo as demais destinadas para as aulas teóricas de Física que abordavam conteúdos de Mecânica para o primeiro ano e Eletricidade para o terceiro ano.

As Fig. 6 e 7 mostram gráficos com as notas obtidas pelos discentes antes e depois da implantação do projeto Eratóstenes na Escola Estadual Secretário de Estado Francisco Rosa Santos nos dois semestres citados.

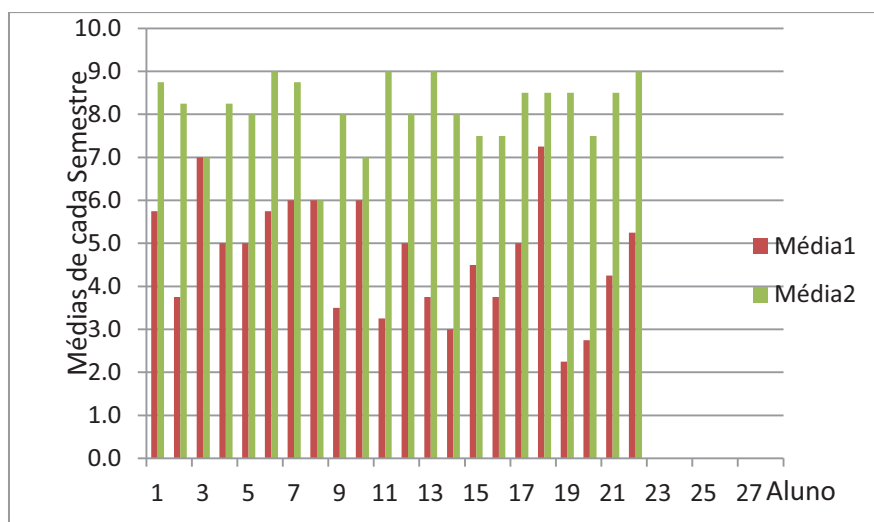


Fig. 6 – Comparação das médias dos alunos do terceiro ano B do Colégio Estadual Secretário de Estado Francisco Rosa Santos, obtidas no primeiro semestre (Média 1), período durante o qual não foi desenvolvido o projeto, com as médias do segundo semestre de 2010 (Média 2), período em que o projeto foi desenvolvido.

Com base nessas duas figuras, constata-se facilmente que a maioria dos discentes teve uma melhora significativa em suas notas no segundo semestre de 2010 e 2011, período em que foi desenvolvido o Projeto Eratóstenes, em relação ao semestre anterior. Esses resultados demonstram a importância do trabalho desenvolvido e da metodologia aplicada com os estudantes, pois o apelo motivacional do projeto foi capaz de estimular os alunos a se envolverem mais intensamente com o processo de aprendizagem, resultando em um rendimento nitidamente superior, considerado o conjunto de instrumentos avaliativos que foram utilizados.

A título de comparação, no desempenho das notas de Física, apresenta-se, na Fig. 8, um gráfico que mostra as médias referentes aos dois semestres de 2011 para os discentes do primeiro ano A, que não participaram do projeto. Suas avaliações seguiram o método tradicional, aula expositiva e prova escrita contextualizada no

valor de oito pontos e atividades complementares baseadas no livro-texto e resumo dos capítulos estudados, tendo valor de dois pontos. Verifica-se que, embora em termos gerais seja verificada uma melhora no desempenho dessa turma de um semestre para outro, essa melhora não foi tão expressiva como a que foi constatada nas duas turmas que participaram ativamente do projeto Eratóstenes. Além disso, verifica-se, neste caso, que um número maior de alunos apresentou rendimento no segundo semestre inferior ao primeiro semestre.

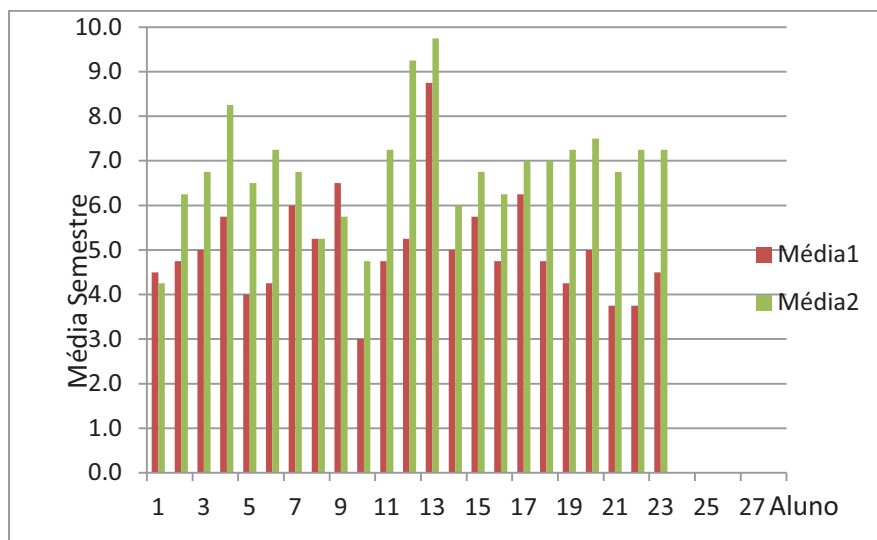


Fig. 7 – Comparação das médias dos alunos do primeiro ano F do Colégio Estadual Secretário de Estado Francisco Rosa Santos, obtidas no primeiro semestre (Média 1), período que não foi desenvolvido o projeto, com as médias do segundo semestre de 2010 (Média 2), período em que o projeto foi desenvolvido.

Desse modo, pode-se afirmar que os resultados aqui analisados indicam que o caminho metodológico trilhado, contemplando de maneira articulada metodologias e recursos didáticos diferenciados em relação às abordagens tradicionais, possibilitou a criação de condições mais propícias para que os estudantes pudessem construir novos conhecimentos. Nesse sentido, merecem ser destacadas as atividades experimentais associadas à abordagem de aspectos históricos relacionados com o experimento de Eratóstenes, a interdisciplinaridade e a participação de professores de outras áreas de conhecimento, o uso de recursos e *softwares* compu-

tacionais como o *STELLARIUM* e o *Google Earth*, além de diversas atividades extraclasse realizadas em grupos e do uso de diferentes instrumentos avaliativos, elementos que, em conjunto, permitiram alcançar os resultados bastantes satisfatórios obtidos.

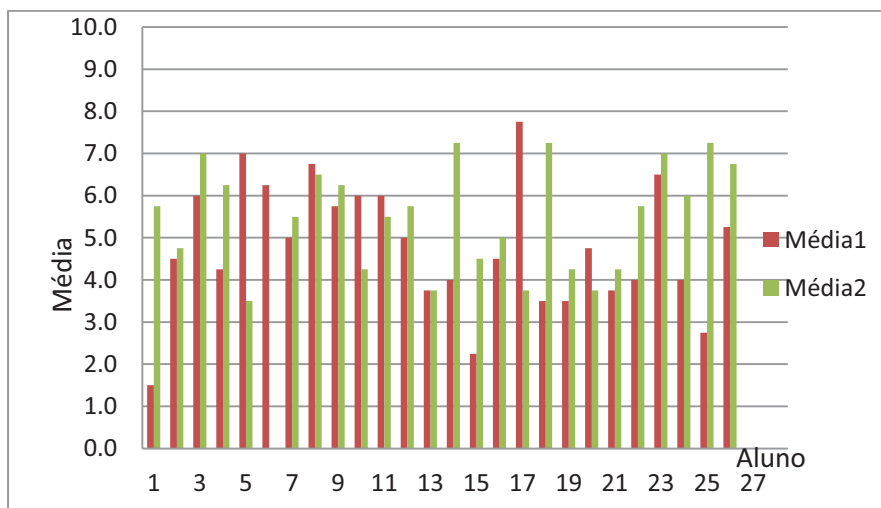


Fig. 8 – Comparação das médias nos dois semestres de 2011 da disciplina Física referentes aos discentes do primeiro ano A do Colégio Estadual Secretário de Estado Francisco Rosa Santos que não participaram do Projeto Eratóstenes.

VII. Conclusões

Os resultados obtidos nesta investigação mostram que a Astronomia pode assumir um papel relevante em sala de aula, ajudando a aprimorar a aprendizagem de conteúdos de outras ciências graças aos vários temas interdisciplinares que se podem discutir a partir da Astronomia. Nesse sentido, é recomendável que as escolas de Ensino Médio introduzam tópicos de Astronomia nos currículos de outras ciências, como Física, Matemática, Geografia e outras, buscando desenvolver um trabalho interdisciplinar e integrador dos conteúdos escolares.

Foi possível constatar que a Física, a Astronomia, a Geografia, a Matemática, a História e outras ciências possuem interfaces que podem ser exploradas nos ambientes escolares. Por exemplo, vários temas relacionados à Geografia puderam

ser discutidos, como a definição dos trópicos de Capricórnio, Câncer, conceitos de latitude, longitude, além de outros. Na História, foi preciso falar sobre Eratóstenes, a biblioteca de Alexandria e outros temas relacionados, enquanto na área de Matemática, foram utilizados tópicos de Geometria para que fosse calculado o raio da Terra e a latitude de Aracaju, estimulando os estudantes a compreenderem o movimento dos astros na esfera celeste.

O desenvolvimento das atividades permitiu constatar que a abordagem interdisciplinar empregada motivou os discentes nas suas atividades relacionadas às várias disciplinas escolares. Assim, além de despertar significativamente a curiosidade de todos os envolvidos, as atividades experimentais contribuíram para a construção de novos conhecimentos por parte dos estudantes, permitindo introduzir tópicos de Astronomia em sala de aula relacionados de maneira interdisciplinar aos conteúdos de outras áreas de conhecimento. Acerca da importância da interdisciplinaridade no Ensino Médio, Nunes (2002, p. 80) estabelece que

é importante enfatizar que a interdisciplinaridade supõe um eixo integrador, que pode ser o objeto de conhecimento, um projeto de investigação, um plano de intervenção. Nesse sentido, ela deve partir da necessidade sentida pelas escolas, professores e alunos de explicar, compreender, intervir, mudar, prever, algo que desafia uma disciplina isolada e atrai a atenção de mais de um olhar, talvez vários.

Assim, acredita-se que a valorização da abordagem interdisciplinar foi uma das responsáveis pelo perceptível aprimoramento da relação professor-aluno e pelo comportamento participativo apresentado em sala de aula e nas atividades práticas realizadas.

As práticas vinculadas ao Projeto Eratóstenes valorizaram aspectos históricos relacionados a esse relevante experimento realizado há mais de dois mil anos em Alexandria, mobilizando todos os estudantes de modo a auxiliá-los na construção de conhecimentos sobre Astronomia, objetivo central deste trabalho. Assim, a abordagem teórica e prática centrada na História da Ciência e na experimentação ofereceram importantes subsídios tanto para a prática pedagógica do professor como para a aprendizagem dos estudantes envolvidos.

O desempenho dos alunos que participaram do Projeto Eratóstenes foi notadamente melhorado, conforme se pode verificar por meio dos instrumentos avaliativos utilizados de maneira processual ao longo do desenvolvimento das atividades propostas, permitindo identificar um aprimoramento na aprendizagem dos conceitos abordados, relacionados aos conteúdos da Física e da Astronomia.

Apesar de os alunos do IFS/São Cristóvão não terem apresentado uma participação tão intensa como se observou no Colégio Estadual Secretário de Estado Francisco Rosa Santos, talvez porque o Projeto Eratóstenes tenha sido implantado apenas em 2011 e a greve dos servidores federais impediu que houvesse um adequado envolvimento dos estudantes como era desejado, notou-se também uma participação bastante efetiva desses discentes.

Este trabalho não se encerra aqui, pois, com a experiência relatada, iniciou-se a implantação de uma nova proposta educacional nos espaços escolares envolvidos, a qual poderá contemplar outras possíveis investigações, como forma de contribuir para a reflexão e a discussão sobre o desenvolvimento do ensino de Astronomia e ciências afins.

Nesse sentido, já estão sendo planejados outros trabalhos futuros, com destaque para a construção de um telescópio newtoniano de 180 mm no Colégio Estadual Secretário de Estado Francisco Rosa Santos, em que os alunos participarão na montagem de todo o equipamento, enquanto o IFS/São Cristóvão está planejando a compra de um telescópio de 11 polegadas com um sistema *GoTo*, o que poderá impulsionar, por meio da observação do céu, a construção de outros conhecimentos da Astronomia.

Além disso, o IFS/São Cristóvão já foi inscrito¹² no projeto “Da Terra ao Sistema Solar”, organizado pela NASA e que visa abordar a exploração planetária, a busca para compreender a origem e a evolução do Sistema Solar e a tentativa de descobrir vida em outros lugares, envolvendo temas como astrobiologia, ciência planetária e astronomia. Várias imagens importantes foram cedidas pelos responsáveis por esse projeto da NASA e, certamente, contribuirão para ampliar o envolvimento dos discentes em atividades capazes de auxiliar a construção de novos conhecimentos. Por fim, pretende-se trazer estudiosos sobre o tema para realizar palestras nessas duas instituições com o intuito de divulgar a Astronomia e sua importância para a sociedade¹³, além de apresentar este trabalho para os profes-

¹² Para mais detalhes, consultar a lista dos eventos que já ocorreram e que ocorrerão no *link*: <<http://fettss.arc.nasa.gov/events/>>. Nesse site, pode ser verificado que o IFS/São Cristóvão já está inscrito (*São Cristóvão, Brazil for the National Week of Science and Technology, October 17-23, 2011*) Acesso em: 09 out. 2011.

¹³ Um dos professores do curso de Bacharelado em Física com especialização em Astronomia da Universidade Federal de Sergipe (UFS) já confirmou a sua presença e desenvolverá um projeto intitulado “Astronomia na Escola Pública”. O Colégio Estadual Secretário Francisco Rosa Santos será um dos primeiros contemplados com esse projeto.

res do IFS dos *campi* de Aracaju e Lagarto e, também, a professores da rede Estadual de Ensino, visando envolver essas instituições em trabalhos de divulgação de conceitos astronômicos.

Anexo A

Método para determinar a latitude de uma cidade

Uma das experiências realizadas foi determinar a latitude de Aracaju. A ideia é muito simples: como o Sol está a uma grande distância, então, pode-se considerar que os seus raios chegam à Terra praticamente paralelos. Isso significa que, em alguma latitude da Terra, ao meio-dia solar, esses raios incidirão na direção vertical de tal forma que uma haste colocada na vertical não terá sombra. Nas datas 21/06 e 23/12, isso ocorre nos trópicos de Capricórnio ($23,5^\circ$ S) e Câncer ($23,5^\circ$ N) e correspondem aos solstícios e nas datas 20/03 e 23/09 na latitude zero (linha do Equador) e correspondem aos equinócios.

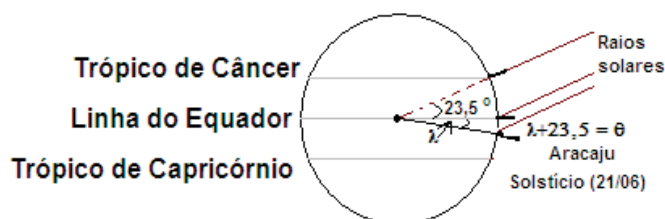


Fig. 9 – No solstício de inverno os raios solares incidem perpendicularmente ao meio-dia solar no trópico de Câncer cuja latitude é $23,5^\circ$ N.

Devido ao paralelismo dos raios solares, qualquer medida feita da inclinação dos raios solares ao meio-dia solar em relação à vertical em qualquer latitude será igual à medida do ângulo entre a vertical desse lugar e a vertical onde o Sol incide perpendicularmente, considerando a Terra como uma esfera perfeita (essa conclusão vem de um teorema da matemática que garante que o ângulo entre duas retas normais a dois pontos distintos de uma circunferência é igual ao ângulo entre as tangentes que passam por esses pontos). Basta “deslizar” um plano tangente ao ponto da superfície da Terra onde o Sol incide perpendicularmente (cuja inclinação

com a vertical é zero), ponto A, até o ponto que se quer determinar a latitude, ponto B. Esses dois pontos são mostrados na Fig. 10. Seja λ a latitude do ponto B e seja δ a latitude onde o Sol incide perpendicularmente. O ângulo θ é o ângulo entre as tangentes (ou entre as normais) aos pontos A e B. Há três casos importantes a considerar. Para melhor visualização, considere a Fig. 10 a seguir. Nota-se na Fig. 10-a que, se o ponto B tem latitude maior que A, então vale a relação:

$$\lambda = \delta + \theta$$

Se a latitude do ponto B fica entre zero (linha do Equador) e o ponto A (Fig. 10-b), então vale a relação:

$$\lambda = \delta - \theta$$

Finalmente, para o caso onde o ponto B fica no hemisfério oposto (Fig. 10-c), vale a relação:

$$\lambda = \theta - \delta$$

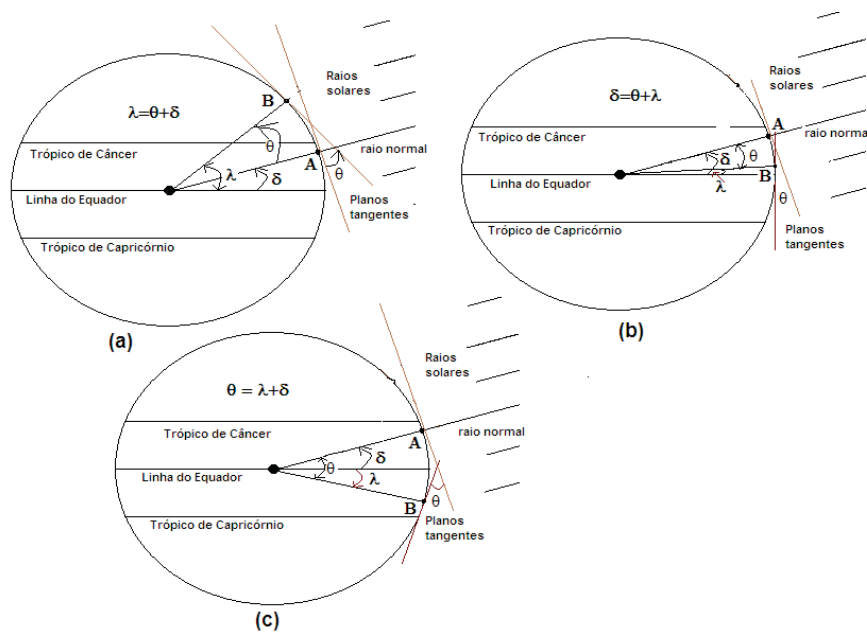


Fig. 10 – O ângulo entre as normais é igual ao ângulo entre as tangentes. Este valor corresponde à medida do ângulo dos raios solares entre os pontos A e B.

Para o caso em que o Sol incide perpendicularmente a algum ponto do hemisfério oposto, os resultados serão os mesmos discutidos anteriormente. Para o caso onde o Sol percorre a linha do Equador (equinócios), $\delta = 0$, qualquer um desses casos levará ao valor correto de λ .

A Fig. 10 mostra os raios solares incidindo perpendicularmente à superfície da Terra no ponto A.

Anexo B

Método para determinar o raio da Terra

Como o Sol está a uma grande distância da Terra, considera-se que os seus raios cheguem paralelamente entre si sobre a superfície da Terra (Fig. 11). Sejam S e A dois pontos sobre a superfície da Terra (em referência a “S” de Siena e “A” de Alexandria). Considere que, em S, os raios incidam perpendicularmente e seja d a distância entre esses dois pontos. Para facilitar, suponha que esses pontos estejam no mesmo meridiano.

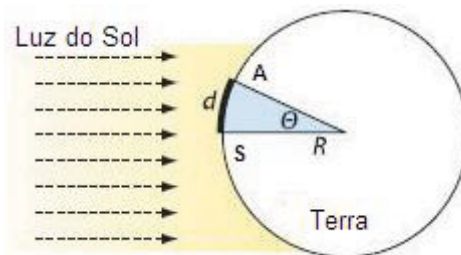


Fig. 11 – Graças à grande distância entre a Terra e o Sol, os raios solares chegam à superfície da Terra praticamente paralelos entre si. Fonte: adaptado de <<http://difusion.df.uba.ar/Erat/arquinstrdoc.pdf>>. Acesso em: 04 dez. 2011.

A partir da Fig. 12, deduz-se que o ângulo que formam os raios solares com a haste vertical em A é θ porque se trata de um ângulo alterno interno com o ângulo do arco que une A com S.

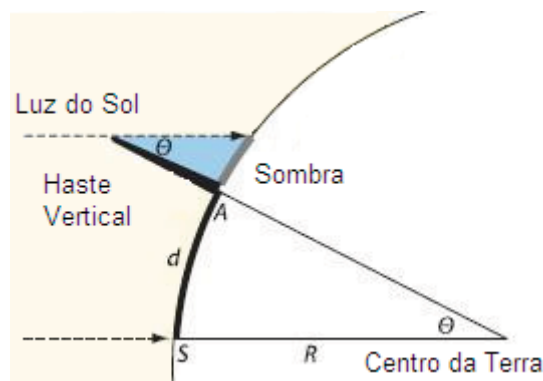


Fig. 12 – O Sol está exatamente sobre S. Fonte: adaptado de <<http://difusion.df.uba.ar/Erat/arquinstrdoc.pdf>>. Acesso em: 04 dez. 2011.

Para determinar θ experimentalmente, basta usar a expressão abaixo, onde h é o comprimento da sombra e H é a altura da haste.

$$\text{tg } \theta = \frac{h}{H}$$

Considerando a Terra como uma esfera de raio R , das relações métricas na circunferência, sabe-se que o ângulo central θ (medido em radiano) é obtido por:

$$\theta = \frac{d}{R}$$

Facilmente obtém-se R combinando as duas equações anteriores. Mesmo que esses pontos não estejam no mesmo meridiano, essa expressão ainda é válida, mas, neste caso, d passa a ser a distância entre os paralelos que passam pelos pontos S e A . Para o caso em que os raios solares não incidem perpendicularmente a nenhum dos paralelos em consideração, o valor de θ corresponde à diferença entre os ângulos que os raios solares formam com a vertical desses lugares. Sejam θ_A e θ_B esses ângulos, como mostra a Fig. 13.

Neste caso, A e B representam as cidades das duas escolas que participaram do projeto. Como nem sempre as escolas estão no mesmo meridiano, considera-se d a distância entre os seus paralelos (distância norte-sul). Assim, quanto maior for essa distância, maior será o valor de θ e melhor o resultado, já que o erro experimental fica insignificante em comparação a θ .

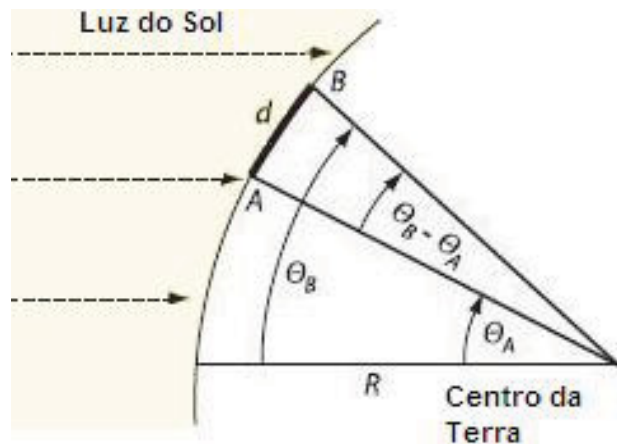


Fig. 13 – Os valores de θ_A e θ_B são as direções que os raios do Sol formam com a vertical das cidades A e B, respectivamente. Fonte: adaptado de <<http://difusion.df.uba.ar/Erat/arquinstrdoc.pdf>>. Acesso em: 04 dez. 2011.

Para esse caso, a medida do raio da Terra pode ser obtida pela expressão:

$$R = \frac{d}{|\theta_B - \theta_A|}$$

Nota-se que os ângulos θ_A e θ_B são medidos em relação ao paralelo que os raios solares incidem perpendicularmente. Vale lembrar os sinais “-” e “+” para esses ângulos devido à convenção do sentido horário/anti-horário, respectivamente.

Por exemplo, se uma escola está em uma latitude maior que a latitude onde o sol incide perpendicularmente e outra escola está em uma latitude menor, então θ (diferença desses ângulos) é equivalente ao módulo da soma entre eles. Por isso, não há problema se as escolas estiverem em hemisférios diferentes ou em paralelos intermediários ao paralelo em que os raios solares incidem perpendicularmente, e a expressão anterior ainda é válida.

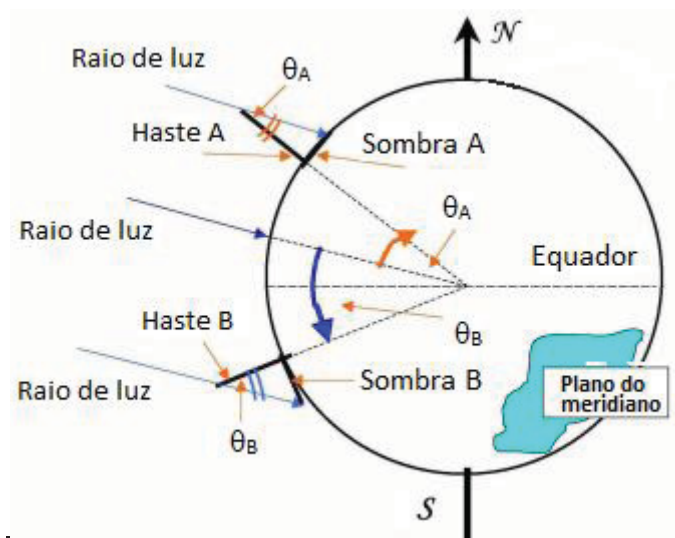


Fig. 14 – Caso geral para determinar o ângulo central θ entre as duas escolas. Fonte: adaptado de <<http://difusion.df.uba.ar/Erat/arquinstrdoc.pdf>>. Acesso em: 04 dez. 2011.

Referências

- ÁVILA, G. **Várias Faces da Matemática**. São Paulo: Blucher, p. 18-27, 2007.
- BRASIL. **PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais**. Ciências da natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/Semtec, 2002. v. 2.
- BRASIL. **Orientações Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (OCN)**. Ciências da natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/Semtec, 2006. v. 2.
- CREASE, R. P. **Os dez mais belos experimentos científicos**. Tradução: Maria Inês Duque Estrada. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor Ltda, 2006.
- HOTTECKE, D. How and what can we learn from replicating historical experiments? A case study. **Science and Education**, v. 9, p. 343-362, 2000.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em Educação: Abordagens Qualitativas**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1986. 99 p.

MATTHEWS, M. R. História e Filosofia e Ensino de Ciências. A tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.

MEDEIROS, A.; MONTEIRO Jr., F. N. **Algumas tendências na utilização de reconstruções experimentais históricas no Ensino da Física**. In: SEMINÁRIO DE HISTÓRIA DA CIÊNCIA (SBHC), VIII, 2001a, Museu de Astronomia, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://alexandremedeirosfisicaastronomia.blogspot.com.br/2011/11/algumas-tendencias-na-utilizacao-de.html>>. Acesso em: set. 2011.

MEDEIROS, A.; MONTEIRO Jr, F. N. A reconstrução de experimentos históricos como uma ferramenta heurística no ensino de Física. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS, 3, 2001b, Atibaia. **Atas...** Porto Alegre: ABRAPEC, 2001b.

MIGUEL, A.; MIORIM, M. A. **Historia na Educação Matemática: propostas e desafios**. Belo Horizonte: Autêntica, 2004.

MINAYO, M, C. S. **A pesquisa qualitativa**. Petrópolis: Vozes, 1986.

MIRANDA, E. S.; HIGA, I. Caderno pedagógico: **O ensino do conceito de calor utilizando atividades práticas e história da ciência no ensino fundamental: um relato de experiência**. PDE-SEED, 2009. Disponível em: <www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/pde/arquivos/365-4.pdf>.

MONEIRO, M. A.; NARDI, R. Experimentos históricos na educação científica: explorando algumas potencialidades do Bico de Bunsen. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA, 15, 2010, Brasília, DF. **Atas...** Brasília: SBQ, 2010.

MONTEIRO, M. A.; LISBOA-FILHO, P. N. Explorando a construção do espectroscópio de prismas no contexto educacional: um estudo de caso. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE HISTÓRIA DA CIÊNCIA E DA TECNOLOGIA, 11, 2002, Niterói. **Atas...** Rio de Janeiro: SBHC, 2002.

NUNES, C. **Diretrizes Curriculares Nacionais – Ensino Médio**, Rio de Janeiro: DP & A Editora, 2002.

PAULA, R. C. O.; LARANJEIRA, C. C. O uso de experimentos históricos no ensino de Física: um resgate da dimensão histórica da ciência a partir da experimentação. Bauru: In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 5, 2005, Bauru. **Atas...** São Paulo: ABRAPEC, 2005.

PARANÁ. **Diretrizes Curriculares de Matemática para as séries finais do Ensino Fundamental e para o Ensino Médio**. Governo do Estado do Paraná, Secretaria de Estado da Educação, Superintendência da Educação, Curitiba, 2008.

ROCHA, J. F. M. O conceito de “campo” em sala de aula - uma abordagem histórico-conceitual. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 1, p. 1604, 2009.

RONAN, C. A. **História Ilustrada da Ciência: das origens à Grécia**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, p. 124-125, 1997. v. 1.

Sites consultados na Internet

Projeto Eratóstenes. Disponível em: <<http://df.uba.ar/eratostenes/>> Acesso em: 18 ago. 2011.

Da Terra ao Sistema Solar. Disponível em:
<<http://www.physics2005.org/events/eratosthenes/>> Acesso em: 28 set. 2011.

Comprimento de um estádio. Disponível em:
<<http://www.mat.ufrgs.br/~portosil/erath.html>> Acesso em: 20 nov. 2011.

STELLARIUM. Disponível em: <<http://www.stellarium.org/>> Acesso em: 20 set. 2011.

Detalhes do Projeto Eratóstenes. Disponível em:
<<http://www.physics2005.org/projects/eratosthenes/TeachersGuide.pdf>>,
<<http://difusion.df.uba.ar/Erat/InstructivoEratostenes2011.pdf>> e
<<http://sites.google.com/site/projetoerato/>> Acesso em: 01 out. 2011.

Fotos dos participantes do projeto Eratóstenes. Disponível em:
<<http://www.facebook.com/home.php?#!/group.php?gid=107311792629457>>
Acesso em: 06 de out. 2011.

Lista das escolas parceiras do Projeto Eratóstenes 2011. Disponível em:
<<http://eratostenes.df.uba.ar/part.php>> Acesso em: 02 de out. 2011.

Raio da Terra. Disponível em: <<http://www.universetoday.com/26629/radius-of-the-earth/>> Acesso em: 06 out. 2011.

Eventos do projeto “Da Terra ao Sistema Solar”. Disponível em:
<<http://fettss.arc.nasa.gov/events/>>. Acesso em: 09 out. 2011.

A Matemática no Antigo Egito. NETTO, I. S. O Fascínio do Antigo Egito. Vida Cotidiana. As Ciências. Disponível em:
<www.fascinioegito.sh06.com/ciencias.htm>. Acesso em: 19 ago. 2012.