

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA

CARLOS AUGUSTO FERREIRA

**MEDIDAS DE DISTÂNCIA EM ASTRONOMIA: UMA
PROPOSTA DE UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE
SIGNIFICATIVA PARA O ENSINO MÉDIO**

VITÓRIA

2018

CARLOS AUGUSTO FERREIRA

**MEDIDAS DE DISTÂNCIAS EM ASTRONOMIA: UMA
PROPOSTA DE UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE
SIGNIFICATIVA PARA O ENSINO MÉDIO**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ensino em Física - Mestrado Profissional do Centro de Ciências Exatas da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Mascarello Bisch

VITÓRIA

2018

Ferreira, Carlos Augusto, 1959-
F383m Medidas de distância em astronomia : uma proposta de
unidade de ensino potencialmente significativa para o ensino
médio / Carlos Augusto Ferreira. – 2018.
172 f. : il.

Orientador: Sérgio Mascarello Bisch.
Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) –
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências
Exatas.

1. Astronomia - Estudo e ensino. 2. Ensino médio. 3.
Distâncias - Medição. I. Bisch, Sérgio Mascarello. II. Universidade
Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Exatas. III. Título.

CDU: 53



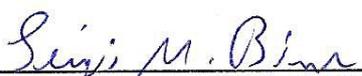
Medidas de Distância em Astronomia: uma proposta de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa para o Ensino Médio

Carlos Augusto Ferreira

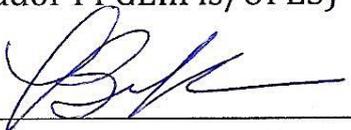
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física - Mestrado Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em 23 de fevereiro de 2018.

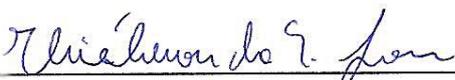
Comissão Examinadora



Prof. Dr. Sérgio Mascarello Bisch
(Orientador PPGEnFis/UFES)



Prof. Dr. Luiz Otávio Buffon
(Membro Externo/UFES)



Prof. Dr. Thieberson da Silva Gomes
(Membro Interno PPGEnFis/UFES)

DEDICATÓRIA

Aos pilares da minha vida:

Meus filhos LEONARDO, LARA e LAÍS,

Minha esposa BERNADETH,

que me apoiaram nesta jornada.

AGRADECIMENTOS

Aos professores do PPGE n Fis/UFES e, em especial, ao Prof. Dr. Laécio Ferracioli, por tornar possível um programa desse porte, direcionado aos professores de Física do Estado do Espírito Santo.

Aos estudantes do primeiro ano do Ensino Médio do Centro Educacional Charles Darwin de Guarapari, pela participação das atividades extraclasse da UEPS.

Aos estudantes do Centro Estadual do Ensino Médio em Tempo Integral São Pedro e, em especial, aos professores Thiago Pereira da Silva e Vinícius Zamprogno Mota, por terem cedido gentilmente suas aulas, para que a segunda parte da UEPS fosse aplicada.

Ao Prof. Dr. Sérgio Mascarello Bisch pela orientação, companheirismo e aprendizagem ao longo desta jornada.

Aos meus pais, irmãos e sobrinhos e, em especial, à minha saudosa mãe, que nos deixou durante o curso, pelo incentivo ao longo da caminhada.

RESUMO

O propósito da pesquisa foi desenvolver e avaliar uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) para o ensino de Astronomia no Ensino Médio, tendo como tema básico os métodos de medida de distâncias em Astronomia. A UEPS foi aplicada em duas partes. A primeira, com um grupo de 28 estudantes do Centro Educacional Charles Darwin de Guarapari, ES, sobre a técnica de determinação da circunferência da Terra utilizada pelo filósofo grego Eratóstenes. A segunda, com um grupo de 22 alunos do Centro Estadual do Ensino Médio em Tempo Integral São Pedro, Vitória, ES, sobre as técnicas de medidas de distâncias até os astros. Os estudantes do Centro Educacional Charles Darwin cursavam o primeiro ano do Ensino Médio, enquanto que os alunos do Centro Estadual do Ensino Médio em Tempo Integral São Pedro cursavam uma disciplina eletiva, na qual podiam matricular-se alunos das três séries do Ensino Médio. O principal marco teórico utilizado na elaboração da UEPS e na avaliação dos resultados foi a Teoria da Aprendizagem Significativa, de David Ausubel. A UEPS teve como principal eixo a busca de resposta à questão geral: “Qual é o tamanho do Universo?”. Procurou-se elaborar a sequência didática com base em atividades e materiais potencialmente significativos, envolvendo as técnicas históricas para determinar o raio da Terra, a distância da Terra à Lua, a distância da Terra ao Sol, o uso do sistema de magnitudes, o uso das variáveis Cefeidas como velas padrão e a Lei de Hubble. Durante a aplicação da proposta, foram realizados debates em sala de aula em torno das atividades desenvolvidas, utilizados vídeos motivadores, bem como o *software* astronômico *Stellarium*. A estruturação da segunda parte da UEPS foi planejada após a aplicação de um questionário que serviu para verificar o conhecimento prévio dos estudantes sobre os tópicos a serem abordados. Analisando os dados coletados por meio dos questionários aplicados antes e após as intervenções, foi possível averiguar indícios de uma aprendizagem significativa, como no caso de estudantes que antes da aplicação das sequências didáticas não conheciam as unidades parsec e UA (unidade astronômica). Após as atividades eles conseguiam não só fazer a conversão destas unidades para outras mais convencionais, como o metro e o quilômetro, como também aplicar logaritmos para calcular as distâncias da Terra até as estrelas. A análise também demonstrou dificuldades no processo ensino-aprendizagem com relação à unidade "radiano", ao conceito de onda e à compreensão da unidade "ano-luz", indicando que alguns pontos da sequência precisam ser revistos e aperfeiçoados. Uma descrição dos objetivos, estrutura, atividades e o material utilizado ao longo da aplicação da UEPS, são apresentados nos apêndices A e B deste trabalho, constituindo um produto que poderá servir de referência para outros docentes que desejarem desenvolver projetos de ensino de Astronomia na Educação Básica.

Palavras chaves: Astronomia, Ensino de Astronomia, Ensino Médio, UEPS, medidas de distâncias em Astronomia.

ABSTRACT

The purpose of the research was to develop and assess a Potentially Meaningful Teaching Unit (PMTU) for the teaching of Astronomy in High School, having as basic theme the methods of measuring distances in Astronomy. The PMTU has been implemented in two parts. The first, with a group of 28 students from the Centro Educacional Charles Darwin of Guarapari, ES, about the technique of determining the circumference of the Earth used by the Greek philosopher Eratosthenes. The second, with a group of 22 students from the Centro Estadual do Ensino Médio em Tempo Integral São Pedro, Vitória, ES, about techniques of measurements of distances to celestial objects. The students of the Centro Educacional Charles Darwin attended the first year of high school, while students at the Centro Estadual do Ensino Médio em Tempo Integral São Pedro were enrolled in an elective course in which students from the three high school grades could matriculate. The main theoretical framework used in the preparation of the PMTU and assessment of the results was David Ausubel's Theory of Meaningful Learning. The main purpose of the PMTU is to answer the general question: "What is the size of the universe?". We attempted to elaborate the didactic sequence based on potentially meaningful activities and materials involving historical techniques to determine the Earth's radius, the distance from Earth to the Moon, the distance from Earth to the Sun, the use of the magnitude system, the use of Cepheid variables as standard candles and the Hubble Law. During the application of the proposal were held classroom discussions around the activities developed, used motivational videos, as well as the *Stellarium* astronomical software. The structuring of the second part of the PMTU was planned following the application of a questionnaire that served to verify the prior knowledge of the students on the topics to be addressed. Analyzing the data collected through the questionnaires applied before and after the interventions, it was possible to ascertain signs of a meaningful learning, as in the case of students who did not know the parsec units and AU (astronomical unit) before the application of the didactic sequences. After the activities, they were able not only to convert these units to more conventional ones, such as meters and kilometers, but also to apply logarithms to calculate the distances of the Earth to the stars. The analysis also demonstrated difficulties in the teaching-learning process with respect to the "radian" unit, the waves concept and the understanding of light-year unit, indicating that some points in the sequence need to be reviewed and improved. A description of the objectives, structure, activities and the material used throughout the application of the PMTU are presented in the A and B appendices of this work, constituting a product that can serve as a reference for other teachers who wish to develop projects of astronomy teaching in Basic Education.

Keywords: Astronomy, Astronomy Teaching, High School Education, PMTU, distance measurements in Astronomy.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	11
1 INTRODUÇÃO	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA	19
3 DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DA UEPS EM DUAS ETAPAS	25
3.1 PROJETO ERATÓSTENES	25
3.1.1 Desenvolvimento e aplicação da sequência didática	28
3.1.2 Análise de resultados	42
3.1.3 Conclusões	46
3.2 PROJETO ESCOLA VIVA	47
3.2.1 Desenvolvimento e aplicação da sequência didática	47
3.2.2 Análise das respostas aos dois questionários aplicados	62
3.2.3 Conclusões	80
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	83
REFERÊNCIAS	90
APÊNDICE A: PROJETO ERATÓSTENES	93
INTRODUÇÃO	94
A.1 SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE A MEDIDA DO RAIO DA TERRA.....	94
A.2 AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA	96
A.3 ATIVIDADES DO STELLARIUM	98
A.4 AVALIAÇÃO RECURSIVA	100
A.5 OS MÉTODOS PROPOSTOS POR ERATÓSTENES E ARISTARCO	102
A.5.1 O Método de Eratóstenes	102
A.5.2 A distância da Terra à Lua	104
A.5.3 A distância da Terra ao Sol	106
REFERÊNCIAS	106

APÊNDICE B: PROJETO ESCOLA VIVA	107
INTRODUÇÃO	108
B.1 SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE MEDIDAS DE DISTÂNCIAS ATÉ OS ASTROS	109
B.2 QUESTIONÁRIO DIAGNÓSTICO	112
B.3 TEXTO SOBRE A DISTÂNCIA ATÉ A ESTRELA MAIS PRÓXIMA	113
B.4 A UNIDADE ASTRONÔMICA E O ANO-LUZ	115
B.4.1 A unidade astronômica (UA)	115
B.4.2 O ano-luz	116
B.5 SLIDES DO SEGUNDO ENCONTRO	117
B.6 MEDIDA DE DISTÂNCIA PELO MÉTODO DA PARALAXE	121
B.6.1 O cálculo de distância pelo método da paralaxe	121
B.6.2 Paralaxe estelar	122
B.6.3 O parsec	123
B.7 MAGNITUDES, LUMINOSIDADE E FLUXO	126
B.7.1 Magnitudes	126
B.7.2 Luminosidade	126
B.7.3 Fluxo de luz	127
B.7.4 Magnitude aparente	128
B.7.5 Magnitude absoluta	130
B.8 SLIDES DO TERCEIRO ENCONTRO	133
B.9 AS VARIÁVEIS CEFÉIDAS COMO RÉGUA PARA MEDIR DISTÂNCIAS	137
B.9.1 Cefeidas como “velas padrão”	137
B.10 SLIDES DO QUARTO ENCONTRO	142
B.11 A LEI DE HUBBLE PARA MEDIÇÃO DE DISTÂNCIAS	148
REFERÊNCIAS	151
APÊNDICE C: TRANSCRIÇÃO DAS RESPOSTAS DOS ESTUDANTES AOS QUESTIONÁRIOS INICIAL E FINAL DO PROJETO ESCOLA VIVA	152

APRESENTAÇÃO

A minha carreira docente começou quando estava cursando o segundo período do curso de Engenharia Civil na Universidade Federal do Espírito Santo. No dia 11 de agosto de 1980, ministrei a minha primeira aula na disciplina “Materiais de Construção” para o curso técnico de “Desenho em Arquitetura” no Colégio Estadual, situado no Forte São João, em Vitória. A partir desse dia, não parei mais de lecionar, passando por várias disciplinas em diversas escolas do Ensino Médio e do Ensino Superior da Grande Vitória. Em fevereiro de 2013, adquiri minha aposentadoria como professor do sistema particular de ensino, porém continuo lecionando até o presente momento. Nestas quase quatro décadas como professor, venho me dedicando, de modo especial, ao ensino das disciplinas Matemática e Física, aproveitando a minha formação no curso de Engenharia, iniciado em 1980 na UFES, e da minha vocação natural para o magistério, conforme passo a relatar nos parágrafos seguintes.

Quando concluí o curso de Engenharia Civil, em 1987, iniciei uma carreira como engenheiro na empresa Tracomal (Transportes e Comércio Machado Ltda.), atuando na área de pavimentação, drenagem e orçamento de obras. No início de 1989, deixei esta empresa para cursar Pós-Graduação Lato Sensu em Engenharia Ferroviária na UFES, curso concluído no mesmo ano. A esta altura, já era professor da Universidade de Vila Velha, conhecida como UVV, na qual fiz ainda um curso de Pós-Graduação Lato sensu em Administração de Empresas Públicas e Privadas.

Porém, não realizei o grande sonho da minha vida, que era me tornar engenheiro ferroviário da CVRD, o que me levou a tomar a decisão de ser professor em tempo integral. Permaneci como professor da UVV de 1989 até o ano 2000. Em 1990 fui contratado para Lecionar Física no Centro Educacional Leonardo da Vinci, ficando lá até o final do ano 2000. No mesmo ano de 1990, fui também contratado para lecionar Matemática no Centro Educacional Charles Darwin, onde permaneci até 2016. Entre 2000 e 2003 fiz o curso de Bacharelado em Teologia na Faculdade Teológica Unida de Vitória, vindo, logo em seguida, o desejo, e também a necessidade, de completar a minha formação com um curso de licenciatura. Isso ocorreu a partir de 2004, quando retornei à UFES para cursar Licenciatura em Física. Conclui a Licenciatura em 2008, sendo contratado, logo em seguida, pelo IFES de Vitória para uma cadeira de professor substituto, ficando neste instituto no período de 2009 a 2011. No segundo

semestre de 2011, retornei à UFES para concluir o meu Bacharelado em Física, completando o curso no primeiro semestre de 2014. Em 2015/2 ingressei no programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da UFES (PPGenFis/UFES) e, atualmente, leciono Física para os cursos de engenharia da Faculdade Pitágoras de Guarapari, pertencente ao Sistema Kroton de Ensino. Mas, afinal, o que me levou a ser um professor de Física? Em primeiro lugar, foi a paixão que sempre nutri por ensinar, principalmente assuntos que dizem respeito a este ramo das ciências, e por ser a disciplina na qual me saía melhor como professor.

Até hoje, dentre as inúmeras disciplinas que lecionei, sejam de natureza técnica (Materiais de construção, Construção Civil, Topografia, Ferrovias, Mecânica dos Solos, Geologia e Resistência dos Materiais), Humanas (Administração dos materiais, administração da produção e Teologia), ou até mesmo no campo da Matemática (Cálculo, Bioestatística, Estatística, Matemática Financeira, Geometria, Álgebra e Trigonometria), as relacionadas ao curso de Física sempre foram as que meus alunos me avaliavam melhor.

Em segundo lugar, sempre fui um apaixonado pela História da Ciência. Esta paixão me levou a “devorar” livros e mais livros de História da Astronomia, da Astrofísica e da Cosmologia, que eram os meus preferidos. Dentre estes, havia um, cujo título era “Supernovas e Cosmologia”, escrito pelo físico Antônio Manuel Alves Moraes. Tratava-se da parte científica da dissertação de mestrado em Ensino de Astronomia apresentada por ele, em 2003, na Universidade do Porto. Nessa dissertação, o autor narra a história da Astronomia tendo como pano de fundo a medida de distâncias. Inspirado por esta obra, elaborei a minha monografia para obter o grau de bacharel em Física, cujo título foi “Medidas de Distâncias em Astronomia e a Evolução de Nossa Concepção de Universo”, tendo sido orientado pelo professor Dr. Sérgio Mascarello Bisch.

Ao ingressar no PPGenFis/UFES, dando continuidade a essa linha de trabalho, propus, como projeto de dissertação, elaborar, aplicar e avaliar uma UEPS (Unidade de Ensino Potencialmente Significativa) tendo como tema básico os métodos de medida de distâncias em Astronomia, na qual buscava explorar os aspectos interdisciplinares das disciplinas Geometria, Trigonometria, Física e Astronomia no cálculo das distâncias até os astros, tendo, como referencial teórico, a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel. Parte desta UEPS foi aplicada no

Centro Educacional Charles Darwin de Guarapari. Porém, a minha saída desta escola no fim de 2016 obrigou-me a buscar outro local para completar a aplicação dessa Unidade. Uma oportunidade surgiu no Centro Estadual de Ensino Médio em Tempo Integral São Pedro, onde o professor Thiago Pereira da Silva já aplica uma sequência didática cujo título é “Nossa Posição no Universo”, tema de sua dissertação de mestrado, defendida em 2015. A segunda etapa da minha UEPS foi um complemento do trabalho que já vinha sendo realizado pelo professor Thiago, no projeto “Escola Viva”, do governo do estado do Espírito Santo.

Nesta dissertação, apresento, portanto, os resultados das duas etapas em que foi dividido o projeto original, que chamarei de “Projeto Eratóstenes”, aplicado em Guarapari, e de “Projeto Escola Viva”, aplicado na escola São Pedro.

Chamarei de UEPS à proposta de sequência didática aqui apresentada por ser este um termo mais adequado (MOREIRA, acesso em 15 nov. 2017) quando se usa, como referencial teórico, a Teoria da Aprendizagem Significativa proposta por Ausubel.

1 INTRODUÇÃO

No artigo “Astronomia, astrofísica e cosmologia para o ensino médio”, o professor André Luís Delvas Fróes (2014) destaca que temas relacionados à Astronomia, Astrofísica e Cosmologia são considerados de muito interesse por parte dos alunos em idade escolar. Estudos em diversos países, no âmbito do projeto ROSE– *The Relevance of Science Education*, avaliaram o interesse do estudante por temas científicos. Nesse projeto, foram colhidos dados por meio de um questionário aplicado a alunos da faixa de 15 anos de diversos países, inclusive o Brasil (TOLENTINO NETO, 2008) que nos auxiliam a confirmar hipóteses, entender padrões e a traçar tendências sobre o ensino de ciências e tecnologias. O ROSE foi financiado pelo conselho de pesquisa da Noruega, pelo Ministério de Educação da Noruega e pela Universidade de Oslo.

Uma perspectiva apontada por colaboradores suecos do projeto ROSE diz respeito à impossibilidade de concentrarmos, em um único aprendiz, a enorme quantidade de informações disponíveis, principalmente em bibliotecas virtuais, de todas as áreas do conhecimento humano. Portanto, cabe ao professor escolher conteúdos e estratégias de ensino de forma flexível e dinâmica, levando em consideração os diferentes níveis de interesses do estudante. Mesmo aqueles que não seguirão uma carreira científica devem ser conscientizados da enorme importância da aprendizagem de assuntos que, muitas vezes, não farão parte de seu futuro universo profissional, tais como a Matemática, a Química e a Física.

Durante os longos anos ensinando Geometria e Trigonometria para o Ensino Médio, me deparei muitas vezes com a pergunta: “Onde vou aplicar todos estes cálculos na minha vida?”, ou: “Por que eu preciso aprender o seno, o cosseno e a tangente?”, ou ainda: “Se eu serei um advogado, porque preciso aprender áreas e volumes?”. Fui percebendo, durante a minha carreira no magistério, em entrevistas informais com os meus alunos, que o ensino de disciplinas que envolvem cálculos matemáticos está, para muitos estudantes, desconectado do mundo real que estes estudantes vivem e das atividades profissionais que eles pretendem seguir no futuro. A maioria deles pensa que médicos e advogados não precisam saber Matemática e Física para serem vitoriosos profissionalmente.

O aluno, muitas vezes, deixa de escolher uma carreira na área das ciências exatas muito mais por medo da Física e da Matemática do que por falta de aptidão para o estudo de ciências e tecnologias. Hoje, o professor de Matemática e Ciências tem um grande desafio: criar estratégias de ensino que busquem conscientizar o estudante do Ensino Médio da importante ferramenta que a Matemática e a Física são para o desenvolvimento de todos os aspectos da vida humana, não ficando de fora as áreas médicas e jurídicas. O aluno precisa entender que, sem a ajuda da Matemática e da Física, as demais ciências, de um modo geral, não poderiam ter alcançado o desenvolvimento que elas atingiram nos nossos dias, e as tomadas de decisões, tão presentes no cotidiano das mais variadas profissões e no exercício da cidadania, seriam, em muito, dificultadas pela falta de um conhecimento mínimo dos conceitos desenvolvidos pelos matemáticos, pelos físicos e pelos químicos.

No mundo moderno, muitas decisões fundamentais ao exercício da cidadania, sejam elas na área jurídica, social, ambiental, médica e, principalmente, é claro, tecnológica, são tomadas com base no aprendizado de ciências. Um indivíduo bem informado poderá contribuir em muitos aspectos para esta sociedade que acaba de entrar no século XXI. Acrescento que o resultado da aplicação do questionário ROSE no Brasil, nas cidades de São Caetano do Sul (SP) e Tangará da Serra (MT), indicaram a preferência, por parte dos estudantes consultados, pelo estudo de temas ligados às ciências e tecnologias (TOLENTINO NETO, 2008).

No presente trabalho, apresentamos uma estratégia de ensino que busca alcançar os estudantes e despertar neles o interesse pelo estudo das disciplinas ligadas à área de ciências e tecnologias, independente da carreira profissional que ele vai escolher e seguir. Nesse sentido, nossa escolha foi desenvolver, aplicar e avaliar um módulo de ensino, uma UEPS, sobre o tema “Medidas de Distâncias em Astronomia”, tendo como eixo temático principal a busca de resposta à questão geral: “Qual é o tamanho do Universo?”, buscando tirar proveito da natureza fascinante, motivadora e interdisciplinar da Astronomia – ciência que envolve diversas áreas do conhecimento humano –, mostrando algumas de suas importantes articulações com a Matemática e a Física na busca de resposta à questão geral acima mencionada. Segundo Morais (2009), um dos problemas fundamentais, quando se estuda Astronomia e Cosmologia, é a medição de distâncias e a descoberta de padrões que permitam medir estas distâncias.

Mais especificamente, os objetivos do trabalho que desenvolvemos e apresentamos na presente dissertação foram:

- Objetivos gerais:

1º) Elaborar uma estratégia de ensino capaz de alcançar os estudantes e despertar neles o interesse pelo estudo das disciplinas ligadas às áreas de ciências e tecnologias, independente da carreira profissional que ele vai escolher e seguir;

2º) Desenvolver, aplicar e avaliar um módulo de ensino, uma UEPS, sobre o tema “Medidas de Distâncias em Astronomia”, tendo como eixo temático principal a busca de resposta à questão geral: “Qual é o tamanho do universo?”, e explorando os aspectos interdisciplinares que existem entre a Matemática, a Física e a Astronomia.

Principais objetivos didáticos:

1. Ensinar o método usado pelo filósofo, matemático e geômetra grego Eratóstenes por meio do qual, no século III a.C., conseguiu encontrar o raio da Terra;
2. Ensinar as técnicas usadas, historicamente, para medir distâncias da Terra até os astros, como o Sol, a Lua, as estrelas e as galáxias, tais como o método de Aristarco, o método da triangulação ou paralaxe, o sistema de magnitudes (magnitudes aparente e absoluta), o uso das variáveis Cefeidas como velas padrão para medidas de distâncias e a Lei de Hubble.
3. Conscientizar o aluno sobre a enorme importância da Matemática, principalmente da Geometria e da Trigonometria, para compreender e determinar as distâncias até os astros;
4. Mostrar a aplicação de conceitos de Matemática e Física, como os conceitos de luminosidade, fluxo, ondas eletromagnéticas e efeito Doppler, na Astronomia, explorando a interdisciplinaridade existente entre estas três disciplinas;
5. Contribuir, por meio do estudo da determinação das distâncias astronômicas, para uma melhor concepção a respeito da constituição do Universo, de seu tamanho e de nossa posição dentro dele.

Como subsídio e parte do material didático utilizado durante a aplicação da UEPS, foram utilizados e adaptados trechos do escrito paradidático em cujo desenvolvimento venho trabalhando desde a minha monografia de final de curso, que traz a História da Astronomia como tema central. Nesse escrito, trato da evolução e descobertas que dizem respeito à nossa concepção de Universo. Nele não trato apenas de assuntos históricos, mas busco responder a perguntas que vem despertando a curiosidade de muitos jovens em idade escolar. São exemplos destas perguntas: “Como surgiu o universo?”, “Como ele evoluiu no espaço e no tempo?”, “Quais descobertas foram mais marcantes para a sua compreensão?”, “Como o desenvolvimento tecnológico contribuiu para o seu estudo?” e, principalmente, “Como medi-lo?”.

A utilização de trechos desse escrito na presente proposta foi como material pedagógico cujo principal objetivo era ligar aquilo que o aprendiz já sabia ao que ele iria aprender no módulo de ensino, tornando-se assim, na linguagem de Ausubel, um organizador avançado, sendo apresentado antes de o aprendiz se confrontar com o próprio material de instrução (Ausubel, 2003, p.11).

Buscou-se então, em primeiro lugar, adaptar e preparar trechos do escrito paradidático que fossem capazes de despertar o interesse e a curiosidade do aluno, com o intuito de atraí-lo para a área de estudos das ciências, da qual a Astronomia constitui um de seus mais importantes pilares.

Em seguida, foi construído um módulo de ensino utilizando como ponto de partida o conhecimento prévio dos alunos, adicionalmente enriquecido com a leitura de textos baseados no escrito paradidático citado anteriormente. Na introdução de cada aula do módulo de ensino, foi planejada a utilização de tais textos, adaptados do escrito paradidático, como recurso para desenvolver as concepções iniciais dos alunos nas quais os novos conhecimentos poderiam ser ancorados.

Conforme será explicado mais detalhadamente na seção sobre o referencial teórico, Ausubel (2003) chama esses recursos de "organizadores avançados", enquanto Moreira chama de "organizadores prévios" (Moreira, 1999a). Ressalto que o ponto fundamental que buscamos investigar neste trabalho foi a eficácia do módulo de ensino “Medidas de Distâncias em Astronomia” na promoção de uma aprendizagem significativa acerca do Universo, especialmente em relação aos cinco objetivos didáticos anteriormente citados.

O módulo de ensino foi dividido em duas partes. A primeira parte, chamada “Projeto Eratóstenes”, foi constituída de uma sequência didática cujo tema central é a medida do raio da Terra, na qual é apresentada a técnica que o famoso geômetra grego Eratóstenes usou para determinar o raio do nosso planeta no sec. III a.C. (VERDET, 1991). Na segunda parte do módulo de ensino, chamada “Projeto Escola Viva”, foi desenvolvida uma segunda sequência didática cujo tema central foi a medida de distâncias até os astros, como o Sol, a Lua, as estrelas e até as galáxias, verdadeiros universos-ilhas, formado por milhões de estrelas (GROUEFF; CARTIER, 1978). Nessa parte são abordadas algumas das principais técnicas históricas para medir essas distâncias. As técnicas abordadas foram: o método de Eratóstenes para medir a circunferência da Terra; o método de Aristarco para medir as distâncias entre a Terra, a Lua e o Sol; o método da triangulação ou paralaxe; o sistema de magnitudes (magnitude absoluta e aparente); o uso das variáveis Cefeidas como velas padrão para medidas de distâncias e a Lei de Hubble.

Gostaria de destacar que a minha saída do Centro Educacional Charles Darwin, no final de 2016, inviabilizou a aplicação do módulo de ensino ao mesmo grupo de alunos. Daí a necessidade de dividir a UEPS em duas partes.

Na sequência desta dissertação, é relatado o desenvolvimento e os resultados obtidos por meio da aplicação da UEPS "Medidas de Distâncias em Astronomia", que foi subdividida nas etapas que denominamos de "Projeto Eratóstenes" e "Projeto Escola Viva.

Na elaboração e desenvolvimento desta UEPS, foram consideradas as concepções prévias que os alunos possuíam a respeito dos temas abordados. Este conhecimento prévio é fator determinante para a aquisição de uma aprendizagem significativa nos moldes apresentado por David P. Ausubel. Segundo a perspectiva ausubeliana, uma das condições para a ocorrência da aprendizagem significativa é que o conceito a ser aprendido seja relacionável (ou apropriado) à estrutura cognitiva do aluno, de maneira não arbitrária e não literal, ou seja, deve existir uma ligação lógica entre o novo conceito e a estrutura de conceitos que o aprendiz possui, o que tornaria o novo conceito “potencialmente significativo” (Ausubel, 2003, p.1). Pode-se citar outra condição que é a predisposição do aluno em aprender e efetivamente relacionar, de maneira substantiva e não arbitrária, o novo conceito, à sua estrutura cognitiva (Moreira, 1999a).

Logo, temos como objetivo de pesquisa desta dissertação, investigar a eficácia do módulo de ensino “Medidas de distâncias em Astronomia” na promoção de uma aprendizagem significativa acerca dos conceitos de Matemática e Física e dos métodos de determinação de distâncias abordados na UEPS.

A seguir, apresentamos o trabalho realizado dividido em seções nas quais se procura descrever todas as informações que envolveram a construção e aplicação do módulo de ensino, sua metodologia, os exercícios práticos, os questionários e a análise dos resultados obtidos em cada uma das etapas dos dois projetos.

Apresentamos também um relato a respeito da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), proposta por David P. Ausubel, tendo como seu principal divulgador e continuador, J. D. Novak. Citaremos também o professor Marco Antônio Moreira, seu grande divulgador em terras brasileiras. Após a apresentação dos referenciais teóricos utilizados, passamos a descrever a metodologia utilizada, onde indicamos o desenvolvimento, a aplicação, como ocorreu a coleta de dados, a análise destes dados, os objetivos de cada atividade e como ocorreu o seu desenvolvimento.

Deixamos para as seções derradeiras, a análise dos dados e dos resultados quando, à luz dos referenciais teóricos, buscamos responder se houve ou não aprendizado e se este foi significativo.

Ao longo do texto, citamos seções dos apêndices, onde o leitor, sempre que for necessário, poderá consultar os resultados obtidos e materiais utilizados ao longo das intervenções.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Todo trabalho de pesquisa e desenvolvimento metodológico que norteou esta dissertação teve como referencial teórico a Teoria da Aprendizagem Significativa de David P. Ausubel (AUSUBEL e NOVAK, 1980). Para Ausubel, aprendizagem significativa é um processo por meio do qual uma nova informação relaciona-se com um aspecto relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo, ou seja, este processo envolve a interação da nova informação com uma parte específica da estrutura de conhecimento, à qual Ausubel chama de "subsunçor", preexistente na estrutura cognitiva do indivíduo. A aprendizagem significativa vai ocorrer quando a nova informação se ancorar em conceitos relevantes que já existem na estrutura cognitiva do aprendiz. As informações adquiridas, segundo a TAS (Teoria da Aprendizagem significativa), organizam-se no cérebro do estudante de forma hierarquizada, de modo que elementos mais específicos de conhecimento são ligados a conceitos mais gerais e inclusivos.

Segundo Moreira (1999b), os subsunçores preexistentes na estrutura cognitiva podem ser bem desenvolvidos, ou pouco desenvolvidos. A medida que a aprendizagem significativa vai ocorrendo, esses subsunçores vão se tornando mais ricos em significados, os tornando mais capazes de propiciar a "ancoragem" das novas informações.

Para facilitar o desenvolvimento de conceitos subsunçores, Ausubel propõe a utilização de "pontes cognitivas" as quais ele chama de "organizadores avançados" (AUSUBEL, 2003, p.11), também denominados, por Moreira (1999a), de "organizadores prévios". Eles são materiais introdutórios apresentados antes do material a ser aprendido em si. A principal função do organizador prévio é a de servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e aquilo que ele deve saber. O termo "ponte cognitiva" retrata bem esta função específica dos organizadores prévios. Ausubel nos apresenta, de maneira resumida, os principais aspectos que envolve uma aprendizagem significativa.

Nas palavras de Ausubel:

[...] a aprendizagem por recepção significativa envolve, principalmente a aquisição de novos significados a partir de material de aprendizagem apresentado. Exige quer um mecanismo de aprendizagem significativa, quer a apresentação de material potencialmente significativo para o aprendiz. Por sua vez, a última condição pressupõe (1) que o próprio material de aprendizagem possa estar relacionado de forma não arbitrária (plausível, sensível e não aleatória) e não literal com qualquer estrutura cognitiva apropriada e relevante (i.e., que possui significado 'lógico') e (2) que a estrutura cognitiva particular do aprendiz contenha ideias ancoradas relevantes, com as quais se possa relacionar o novo material. A interação entre novos significados potenciais e ideias relevantes na estrutura cognitiva do aprendiz dá origem a significados verdadeiros ou psicológicos. Devido a estrutura cognitiva de cada aprendiz ser única, todos os novos significados adquiridos são, também eles, obrigatoriamente únicos. (AUSUBEL, 2003, p.1)

Moreira vai traduzir para uma linguagem mais clara o pensamento de Ausubel relatado no parágrafo anterior. Uma condição para ocorrência de uma aprendizagem significativa é, segundo Moreira, que o material a ser aprendido seja relacionável ou incorporável à estrutura cognitiva do aprendiz, de uma maneira não arbitrária e não literal. Um material com estas características é chamado por Moreira de "potencialmente significativo" (MOREIRA, 1999a).

Para que ocorra uma aprendizagem significativa, é fundamental que o aprendiz tenha em sua estrutura cognitiva os subsunçores adequados que venham a promover uma relação entre o material a ser utilizado e a estrutura cognitiva no que diz respeito à hierarquização dos conceitos que o aprendiz possui. Uma outra condição imposta pela Teoria da Aprendizagem Significativa é que o aprendiz manifeste o desejo e a disposição em aprender, ou seja, ele precisa estar disposto a relacionar-se de modo substantivo e não arbitrário com o material.

Um conceito que contrasta com o da aprendizagem significativa é a definição de aprendizagem mecânica, também chamada de aprendizagem automática (MOREIRA, 1999a). Nesta aprendizagem, Ausubel relata que existe pouca ou nenhuma interação entre as novas informações e conceitos relevantes existentes na estrutura cognitiva. Nesse caso, a nova informação é armazenada de maneira arbitrária. O conhecimento fica assim, distribuído arbitrariamente na estrutura cognitiva, sem ligar-se a conceitos subsunçores específicos.

A aprendizagem mecânica privilegia a memorização, muito comum em práticas educacionais, onde a lousa e o giz são os personagens centrais que direcionam a forma de ensinar. Ausubel relata que:

“A aprendizagem mecânica ocorre se a tarefa consiste de associações puramente arbitrárias, quando falta ao aluno o conhecimento prévio relevante necessário para tornar a tarefa potencialmente significativa, e também se o aluno adota estratégias apenas para internalizá-la de uma forma arbitrária e literal” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p.23).

Uma considerável diferença entre a aprendizagem significativa e a aprendizagem mecânica é que, nesta última, o novo conceito adquirido é temporário e transitório, sendo o aluno incapaz de relacioná-lo a situações que exijam o recurso de sua estrutura cognitiva. Moreira afirma que, na aprendizagem mecânica:

[...] o novo conhecimento é armazenado de maneira arbitrária e literal na mente do indivíduo. O que não significa que esse conhecimento seja armazenado em um vácuo cognitivo, mas sim que ele não interage significativamente com a estrutura cognitiva pré-existente, não adquirindo significados. Durante um certo período de tempo, a pessoa é inclusive capaz de reproduzir o que foi aprendido mecanicamente, mas sem significado para ela (MOREIRA, 2005, p.6).

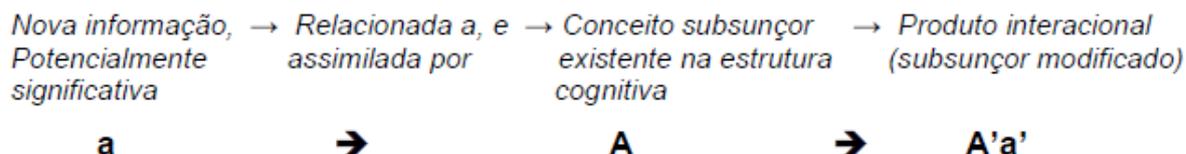
Ausubel propõe ainda a chamada "Teoria da Assimilação", cujo objetivo é tornar mais claro e preciso o processo de organização de significados na estrutura cognitiva. Nas palavras de Ausubel:

[...] a Teoria da Assimilação explica a forma como se relacionam de modo seletivo, na fase de aprendizagem, novas ideias potencialmente significativas do material de instrução com ideias relevantes, e, também, mais gerais e inclusivas (bem como mais estáveis), existentes (ancoradas) na estrutura cognitiva. Estas ideias novas interagem com as ideias relevantes ancoradas e o produto principal desta interação torna-se, para o aprendiz, o significado das ideias de instrução acabadas de introduzir. Estes novos significados emergentes são, depois, armazenados (ligados) e organizados no intervalo de retenção (memória) com as ideias ancoradas correspondentes (AUSUBEL, 2003, p.8).

Em outras palavras, a assimilação é um processo que ocorre quando um conceito ou proposição potencialmente significativo é assimilado sob uma ideia ou conceito mais

inclusivo, já existente na estrutura cognitiva. Podemos citar, por exemplo, o conceito de energia cinética que deve ser aprendido por um aluno que já possui o conceito de energia bem estabelecido em sua estrutura cognitiva. O novo conceito mais específico (energia cinética) será assimilado pelo conceito mais inclusivo (energia) já adquirido.

A teoria da assimilação proposta por Ausubel é representada por Moreira (1999a, p.157) da seguinte maneira:



De acordo com o esquema proposto, a nova informação “a”, potencialmente significativa, é assimilada sob uma ideia a conceito mais inclusivo, ancorando-se ao subsunçor “A”, com o qual se relaciona, e ambos são modificados pela interação, formando uma nova unidade, um novo produto que é o subsunçor modificado **A'a'**.

Em um segundo estágio da assimilação, denominado "assimilação obliteradora", as novas informações tornam-se espontâneas e progressivamente menos dissociáveis de seus subsunçores, até que não mais estejam disponíveis, ou seja, não mais reproduzíveis como entidades individuais. Atinge-se então, um grau nulo de dissociabilidade e **A'a'** se reduz a **A'**.

Pelo esquema, o conceito recém-assimilado **A'a'** que antes podia ser dissociado em **a'** e **A'**, passa a integrar o subsunçor definitivamente, não permitindo mais a sua dissociação, estando integrados na estrutura cognitiva de forma muito mais prática e econômica do que se o conceito fosse armazenado separadamente.

Ausubel também nos chama a atenção que o processo da assimilação implica não apenas na retenção de conhecimentos como também no esquecimento:

[...] durante o intervalo de retenção, armazenam-se (ligam-se) significados acabados de surgir em relação às ideias ancoradas que lhes correspondem. Contudo, enquanto entidades identificáveis separadamente e por si só, apenas são dissociáveis e reproduzíveis relativamente às ideias ancoradas por um determinado período de tempo limitado (a não ser que se aprendam bem através da repetição e do ensaio) (AUSUBEL,2003).

Quando a força de dissociabilidade dos mesmos chega abaixo de um determinado ponto crítico (o limite de disponibilidade), ocorre o esquecimento ou uma redução gradual em relação às ideias ancoradas em questão (subsunçores obliterantes) (AUSUBEL, 2003, p.8).

Dois processos intimamente ligados à aprendizagem significativa são a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora. Ocorre diferenciação progressiva do conceito subsunçor quando um novo conceito é aprendido por um processo de interação e ancoragem em um subsunçor e este também se modifica podendo este processo ocorrer uma ou mais vezes. Já a reconciliação integradora é uma recombinação de elementos previamente existentes na estrutura cognitiva. Assim, novas informações são adquiridas e elementos existentes na estrutura cognitiva podem organizar-se e adquirir novos significados.

Em relação à reconciliação integradora e a diferenciação progressiva, Moreira relata que:

[...] são dois processos relacionados que ocorrem no curso da aprendizagem significativa. Toda aprendizagem que resultar em uma reconciliação integradora resultará em diferenciação progressiva adicional de conceitos e proposições. A reconciliação integradora é uma forma de diferenciação progressiva da estrutura cognitiva. É um processo cujo resultado é o explícito delineamento de diferenças e similaridades entre ideias relacionadas. (MOREIRA, 2005).

A partir de tudo que foi exposto, chega-se à conclusão de que é papel do professor, ao buscar uma aprendizagem significativa, criar estratégias de ensino adequadas e materiais didáticos que sejam potencialmente significativos. Sendo assim, segundo Moreira (1999a, p.162), para facilitar o processo de aprendizagem significativa, quatro tarefas são fundamentais e precisam ser executadas pelo professor:

- 1) Identificar a estrutura conceitual e proposicional da matéria de ensino, isto é, identificar os conceitos e princípios unificadores, inclusivos, com maior poder explanatório e propriedades integradoras, e organizá-los hierarquicamente de modo que, progressivamente, abranjam os menos inclusivos até chegar aos exemplos e dados específicos;

- 2) Identificar quais os subsunçores (conceitos, proposições, ideias claras, precisas, estáveis) relevantes à aprendizagem do conteúdo a ser ensinado que o aluno deveria ter na sua estrutura cognitiva, para poder aprender significativamente este conteúdo;
- 3) Diagnosticar aquilo que o aluno já sabe; determinar, dentre os subsunçores especificamente relevantes (previamente identificados ao “mapear” e organizar a matéria de ensino), quais os que estão disponíveis na estrutura cognitiva do aluno;
- 4) Ensinar utilizando recursos e princípios que facilitem a aquisição da estrutura conceitual da matéria de ensino de uma maneira significativa. A tarefa do professor aqui é a de auxiliar o aluno a assimilar a estrutura da matéria de ensino e organizar sua própria estrutura de significados claros, estáveis e transferíveis. É óbvio que, para isso, deve levar em conta não só a estrutura conceitual da matéria de ensino, mas também a estrutura cognitiva do aluno no início da instrução e tomar providências adequadas (por exemplo, usando organizadores, ou “instruções-remédio”), se a mesma não for adequada.

Moreira (1999a, p.163) diz que, no fundo, tudo o que foi dito até agora acerca do processo instrucional segundo uma abordagem ausubeliana é, simplesmente uma diferenciação da ideia central que caracteriza essa abordagem, e cita Ausubel: “... o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe; descubra isso e ensine-o de acordo.” (AUSUBEL, 1968).

3 DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DA UEPS EM DUAS ETAPAS

Conforme já descrito na introdução, por questões circunstanciais (minha saída do Centro Educacional Charles Darwin, no final de 2016), o desenvolvimento e aplicação da UEPS "Medidas de Distâncias em Astronomia" foi dividido em duas etapas, a primeira, denominada "Projeto Eratóstenes", implementada com estudantes do primeiro ano do Ensino Médio do Centro Educacional Charles Darwin de Guarapari, ES, durante o primeiro semestre de 2016, e, a segunda, denominada "Projeto Escola Viva", realizada com estudantes do primeiro ao terceiro ano do Ensino Médio do Centro Integral de Ensino Médio São Pedro, Vitória, ES, durante o segundo semestre de 2017.

Nas subseções a seguir, detalhamos como se deu o desenvolvimento e aplicação da UEPS em cada uma dessas duas etapas.

3.1 PROJETO ERATÓSTENES

Esta primeira parte da UEPS tem como título "Projeto Eratóstenes". Nela foi trabalhada uma adaptação da famosa técnica usada pelo matemático e geômetra grego Eratóstenes (276-194 a.C.) por meio da qual conseguiu medir, no século III a.C, a circunferência da Terra e, por consequência, encontrar o raio do nosso planeta.

O público alvo deste projeto piloto foi constituído por 28 alunos de uma turma que cursava o primeiro ano do Ensino Médio no Centro Educacional Charles Darwin de Guarapari. O projeto foi aplicado entre os meses de maio e junho de 2016.

De acordo com o nosso referencial teórico, o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe. Com isto em mente, em um primeiro momento, elaborei e apliquei uma avaliação à qual chamei de "Avaliação Diagnóstica" que aparece na seção A.2, com o objetivo de colher as concepções iniciais desses alunos. Os dados colhidos com esta avaliação me informaram os subsunçores existentes na estrutura cognitiva dos alunos aos quais seriam, na linguagem de Ausubel, ancorados os novos conhecimentos.

O teste foi constituído por 5 questões de múltipla escolha e uma questão aberta, de cálculo, nas quais explorei os conhecimentos prévios do aluno a respeito das

operações de adição e subtração no sistema sexagesimal de unidades, da medida de ângulos em graus e radianos, da relação entre o raio e o perímetro de uma circunferência e se conhecia a definição de ângulo central. Abaixo, apresento a referida avaliação:

AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA

PROFESSOR: Carlos Augusto Ferreira

NOME:

TURMA:

- 1) Quando dividimos o comprimento de um arco pelo raio da circunferência que contém este arco, encontramos:
 - A) O ângulo central na unidade graus;
 - B) O ângulo central na unidade radianos;
 - C) O comprimento da circunferência;
 - D) O valor de π ;
 - E) Nada se pode afirmar.

- 2) O valor da expressão numérica abaixo é:
 $2 \times 63^{\circ}42'32'' - 90^{\circ} =$
A) $33^{\circ}08'36''$ B) $35^{\circ}12'40''$ C) $37^{\circ}25'04''$ D) $31^{\circ}07'36''$ E) $32^{\circ}09'23''$.

- 3) Em um determinado dia deste ano, o Sol nasceu às 5h 36min e se pôs às 17h 58min. Com estas informações, determine o instante em que ocorre o “meio dia solar”.
A) 12h52min B) 11h47min C) 12h52min D) 11h59min E) 12h20min.

- 4) Em uma circunferência de raio 18 cm, determine o comprimento do arco cujo ângulo central mede 120° . Use $\pi = 3$.
A) 24 cm B) 40 cm C) 36 cm D) 52 cm D) 60 cm.

- 5) Uma composição ferroviária descreve uma curva de modo que, a cada 100 metros, o ângulo central varia de 10° . O valor do raio desta curva, em metros, é:
A) 600 B) 800 C) 1200 D) 400 E) 90

- 6) Eratóstenes nasceu em Siena na Grécia e morreu em Alexandria no Egito aproximadamente no séc. III a.C. Ele era bibliotecário chefe da famosa biblioteca de

Alexandria, e foi lá que ele encontrou, num velho papiro, indicações de que, ao meio dia de cada 21 de Junho, solstício de verão, na cidade de Siena, um poço era iluminado até o fundo, não produzindo sombra. Isto indica que o Sol estava bem na direção vertical. Em compensação, em Alexandria, situada a 5.000 estádios de Siena, a sombra de um obelisco, medida neste mesmo dia de solstício, indicava um ângulo de $7,2^\circ$ entre a direção de incidência dos raios solares e a vertical (veja a Figura 1). Utilize este ângulo e a distância atual entre Siena e Alexandria, de 800 Km, para encontrar o valor do raio da Terra.

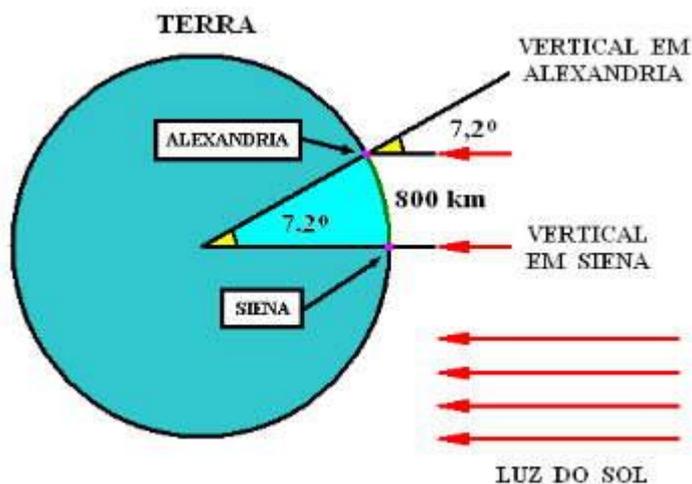


Figura 1: Comparação entre a incidência dos raios solares em Siena e Alexandria feita por Eratóstenes. Fonte: <<http://www.deviant.com.br/noticias/ciencia/astronomia-sem-telescopio/>>

Quero destacar que o projeto ocorreu durante o período no qual o cronograma de atividades da escola indicava o ensino de “ângulos na circunferência”. Um dos objetivos de aprendizagem era fornecer ao aluno uma aplicação daquele conteúdo que ele estava começando a estudar, no caso, arcos e ângulos na circunferência.

Abaixo passo a descrever o desenvolvimento de cada uma das seis aulas de 50 minutos utilizadas ao longo desta primeira parte da UEPS.

3.1.1 Desenvolvimento e aplicação da sequência didática

A) Primeira aula:

Nesta aula, apresentei aos alunos todas as etapas do projeto. Inclusive informei que se tratava de um projeto piloto, parte da aplicação de minha dissertação de mestrado profissional em Física, e que a participação deles seria muito importante para mim. Informei que eles seriam submetidos a um teste cujo objetivo era verificar os conhecimentos que eles estavam trazendo do Ensino Fundamental a respeito do conteúdo que iríamos ensinar a partir daquela aula. Expliquei a sua importância como forma de coleta das concepções iniciais, deixando claro que a nota não iria influenciar nos dois pontos aos quais cada um teria direito por participarem do projeto.

É importante informar que o Centro Educacional Charles Darwin exige que cada professor aplique um projeto, chamado “projeto integrado”, ao longo do primeiro semestre, focado nos conteúdos de sua disciplina. O aluno que cumprisse todas as etapas do projeto receberia dois pontos em sua nota apenas no término dos três bimestres letivos. No início do ano, propus à coordenação pedagógica da escola a aplicação do “Projeto Eratóstenes” como tema para o projeto integrado, o que foi prontamente aceito pela direção pedagógica do colégio.

Após ter explanado os pontos mais importantes do projeto, respondi às perguntas feitas pelos alunos a respeito da aplicação do projeto: *“Vale nota?”*, *“Eu sou obrigado a participar?”*, *“Meu nome vai aparecer na dissertação?”*, *“É muito difícil?”*, *“Vai ser em grupo ou individual?”*.

Em seguida, distribuí, entre eles, a avaliação diagnóstica e dei a cada um 30 minutos para resolverem as questões. Como a aula antecedia o recreio e ainda faltavam 20 minutos para o intervalo, todos tiveram tempo suficiente para responder às perguntas. Em média, gastaram de 20 a 30 minutos para responderem aos seis problemas propostos.

B) Segunda aula:

Nesta aula apresentei o capítulo “ângulos na circunferência”. Foi quando o aluno tomou conhecimento do conceito de ângulo central e sua relação com o arco de circunferência. Apresentei, também, as unidades de medida de ângulos. São elas, o grau e o radiano.

Expliquei que, conhecido o ângulo central α em graus e o comprimento ℓ do arco de circunferência correspondente a α , é possível encontrarmos o raio r da circunferência, pois:

$$\frac{\alpha}{360^{\circ}} = \frac{\ell}{2\pi r} \Rightarrow r = \frac{\ell \cdot 180^{\circ}}{\pi \cdot \alpha} \quad (1)$$

Ainda nesta aula, foi proposto, então, aos alunos o seguinte problema:

“Seria possível, com as informações adquiridas nesta aula, criarmos um método que permitisse encontrar, de maneira indireta, o raio do nosso planeta?”

A partir de um debate entre os alunos, do qual fui o mediador, fomos construindo no quadro um roteiro a ser seguido para chegarmos ao raio da Terra. Tomei o cuidado de, com o auxílio de um globo terrestre, lembrar o conceito de coordenadas geográficas e a localização de um ponto no globo terrestre através de sua latitude e longitude. O objetivo desta tarefa foi diagnosticar aquilo que o aluno já sabia, através da identificação dos subsunçores relevantes disponíveis na estrutura cognitiva do aluno. Abaixo, descrevo o roteiro criado a partir das sugestões e questões formuladas pelos alunos durante o debate:

1º) Precisamos conhecer a distância entre Guarapari e uma cidade que poderia estar em outro estado brasileiro para ser a medida ℓ . Escolhida essa outra cidade, a distância ℓ entre elas pode ser obtida utilizando o *software Google Earth*.

2º) Esta cidade precisa estar aproximadamente no mesmo meridiano que Guarapari, ou seja, na mesma longitude. Imediatamente alguém perguntou: “*Por que professor?*”. Então, com o auxílio do globo terrestre, consegui mostrar aos alunos, a necessidade de esta cidade estar, aproximadamente, no mesmo meridiano que Guarapari para podermos utilizar um método semelhante ao utilizado por Eratóstenes, na Antiguidade, baseado no fato de os raios solares chegarem praticamente paralelos à Terra. Para isto, apresentei a eles uma versão histórica do método de Eratóstenes,

apoiado no material didático que é apresentado na seção A.5, sobre o método de Eratóstenes para medir a circunferência da Terra (e de Aristarco, para medir as proporções de tamanhos e distâncias do sistema Sol-Terra-Lua), conforme relatado a seguir:

Eratóstenes fez seu cálculo fundamentado nas seguintes observações: era um fenômeno conhecido desde a antiguidade que em Siene, hoje Assuã, no Egito, no dia de solstício de verão, ao meio-dia, um poço era iluminado até o fundo, ou seja, os raios do Sol incidiam verticalmente à superfície terrestre, ao mesmo tempo que, em Alexandria, onde Eratóstenes era bibliotecário da famosa biblioteca, a sombra de um obelisco, medida neste mesmo dia de solstício, indicava que a distância zenital¹ do Sol era de $7,2^\circ$. Como Alexandria e Siena estavam no mesmo meridiano, bastava conhecer a distância linear (o comprimento do arco de circunferência da Terra) entre as duas cidades que o valor de toda a circunferência da Terra poderia ser encontrada (VERDET, 1991).

Esta distância era, aproximadamente, de 5.000 estádios. Este valor foi medido pelos bematistas, agrimensores que contavam seus passos. Segundo eles havia um milhão de passos entre Siena e Alexandria, o que equivalia aos 5.000 estádios citados (VERDET, 1991). O valor atualizado desta distância corresponde a cerca de 800 Km. No caso do ângulo central, o valor aproximado usado por Eratóstenes foi de $7^\circ 10'$. Para trabalhar com contas mais redondas, facilitar os cálculos e a compreensão dos alunos, usamos $7^\circ 12'$, ou seja, $7,2^\circ$, já que este ângulo corresponde, exatamente, a $1/50$ de uma volta completa (360°). Na Figura 1, equivalente à apresentada em sala de aula, indiquei a geometria e os dados utilizados por Eratóstenes para determinar o raio da Terra. Quero ressaltar que o valor de 5.000 estádios era visivelmente arredondado, e Eratóstenes sabia disso. O ângulo de $7^\circ 10'$ usado por ele, também era aproximado.

¹ Distância zenital é a distância angular de um ponto ao zênite, que corresponde ao complemento algébrico da altura deste ponto. O zênite é o ponto que fica exatamente na vertical, acima de nossas cabeças.

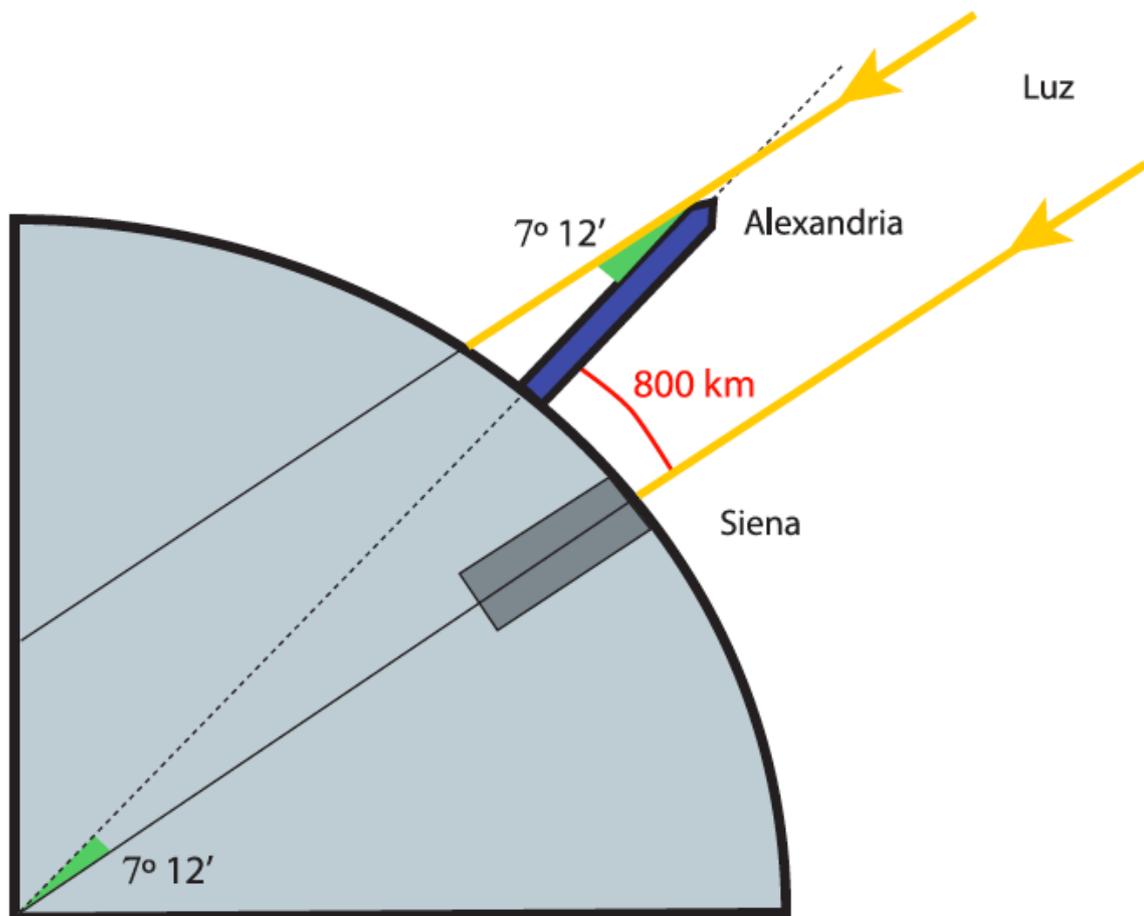


FIGURA 1: Diagrama indicando os dados e geometria utilizados por Eratóstenes para medir a circunferência da Terra. Fonte: PICAZZIO, 2011, p. 81.

3º) Em seguida, deveria ser calculado o ângulo central α entre duas cidades situadas no mesmo meridiano, uma delas Guarapari. Inspirados no método de Eratóstenes, a maneira a ser utilizada para determinar α seria através da medida da sombra produzida por uma vareta fincada na vertical em Guarapari e na outra cidade no meio-dia solar, o que permitiria determinar a distância zenital do Sol (ângulo entre a direção do Sol e a vertical) em cada uma delas, sendo o ângulo central α dado pela diferença entre estas distâncias zenitais, como seria demonstrado em detalhe na aula seguinte, aplicando Geometria.

4º) Finalmente, substituindo o comprimento ℓ e o ângulo central α na expressão (1), encontraríamos o raio da Terra.

C) Terceira aula:

Nesta aula, apresentei aos alunos o método geométrico, citado na aula anterior, para medirmos o ângulo α através da ilustração abaixo:

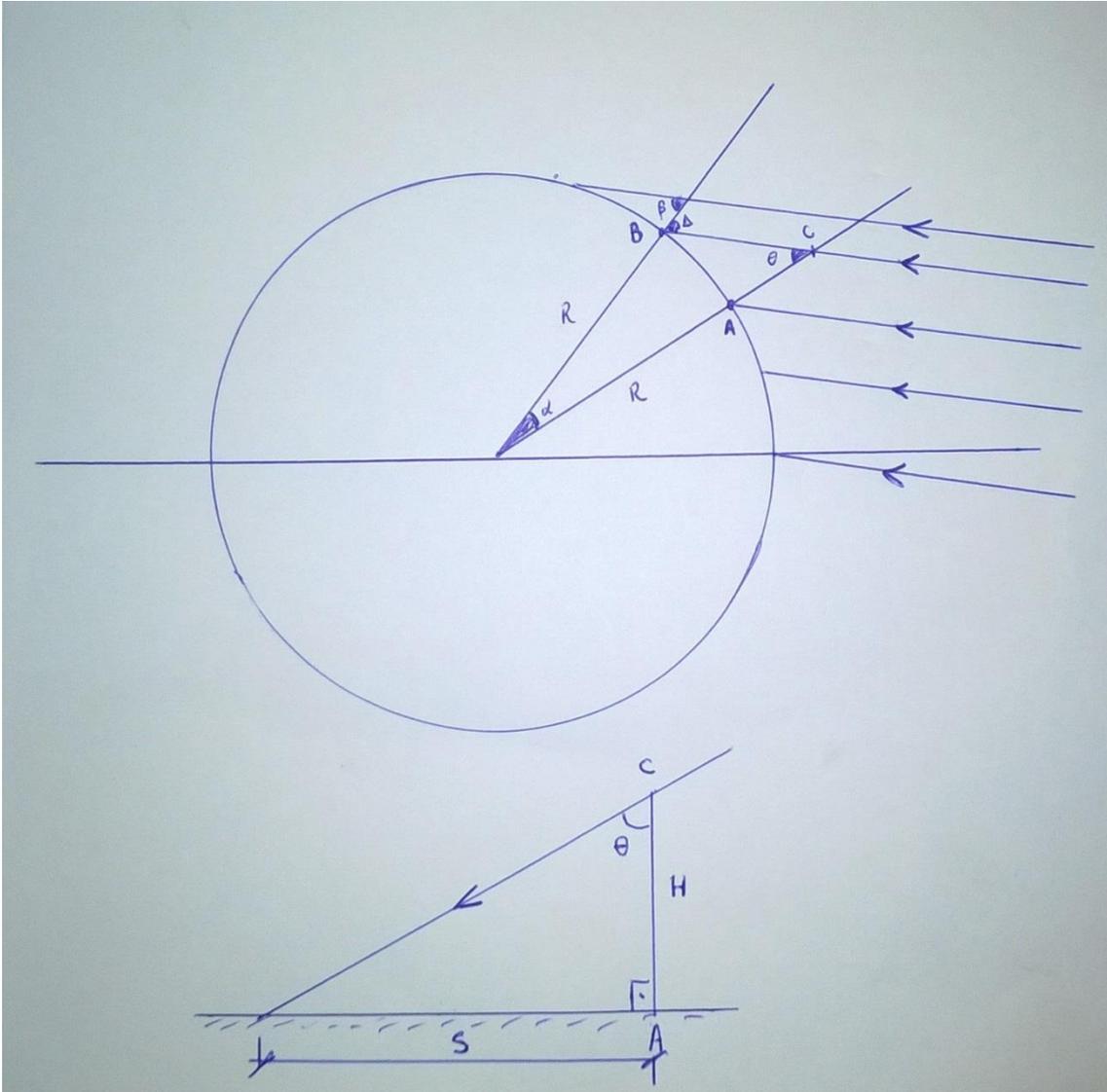


Figura 2: O método geométrico para encontrarmos o ângulo α . Fonte: o autor.

A cidade de Guarapari está representada pelo ponto **A** na Figura 2. Em uma certa hora do dia (escolhemos o meio dia solar), medimos a sombra “**S**” de uma haste com aproximadamente 80 cm de comprimento “**H**” e, usando a razão trigonométrica tangente, encontramos a tangente do ângulo Θ (Figura 2).

$$\text{Tg } \Theta = \frac{S}{H} \quad (2)$$

Com o uso de uma calculadora científica, encontramos o valor do ângulo Θ , que corresponderia à distância zenital do Sol em Guarapari.

De acordo com a Figura 2, o ângulo β , que corresponde à distância zenital do Sol na outra cidade, deve ser medido no mesmo instante que medirmos o ângulo Θ . Esse ângulo pode ser obtido por meio do uso de um excelente software astronômico, o *Stellarium*, a ser apresentado na aula seguinte.

Aproveitando-se do fato de que os raios de luz provenientes do Sol chegam até nós, paralelos, verificamos que os ângulos β e Δ da figura são alternos internos, logo iguais, $\beta = \Delta$. Com isso podemos escrever, utilizando o fato de que a soma dos ângulos internos de um triângulo é igual a 180° :

$$(180^\circ - \beta) + \Theta + \alpha = 180^\circ,$$

portanto: $\alpha = \beta - \Theta$ (3),

ou seja, o ângulo central α é dado pelo diferença entre as distâncias zenitais do Sol em Guarapari e na outra cidade, como havíamos falado na aula anterior.

Com isto, determinamos o ângulo α . O ângulo β seria determinado a partir do uso do *Stellarium*, pois a turma não poderia estar, ao mesmo tempo, nas duas cidades, nem seria viável o deslocamento de parte da turma para a cidade localizada no ponto **B**.

Numa eventual reaplicação do projeto, seria interessante o contato com uma escola situada na cidade **B** de modo que, em um trabalho de equipe, o ângulo β pudesse ser medido simultaneamente com a medição do ângulo Θ , por meio da sombra projetada por uma vareta vertical.

Inclusive, já existe, no Brasil, por iniciativa da Comissão de Ensino e Divulgação da Sociedade Astronômica Brasileira, o Projeto Eratóstenes Brasil (acesso em 27 out. 2017). Anualmente, professores e alunos de qualquer idade e nível escolar, além de clubes de Astronomia, fazem um trabalho semelhante a este que apresento nesta dissertação, em parceria com escolas e grupos localizados em outros países da América Latina e do mundo. Dessa forma, a reprodução do experimento de Eratóstenes, além de divulgar a grande importância histórica que este procedimento tem para a ciência, ainda traz uma rica experiência interdisciplinar para professores e alunos.

D) Quarta aula

Nesta aula, apresentei aos alunos o *Stellarium* (acesso em 18 dez. 2017). Trata-se de um programa computacional que simula o céu noturno, semelhante a um planetário, permitindo mostrar o céu como seria visto de qualquer parte do nosso planeta, em qualquer tempo, bastando apenas informar as coordenadas geográficas latitude e longitude, data e horário.

Solicitei que o mesmo fosse instalado na sala de aula e nos computadores particulares dos alunos para que eles pudessem praticar em casa o seu uso. Com esse intuito, entreguei para os alunos exercícios práticos preparados com o objetivo de propiciar uma rápida iniciação ao uso dos principais comandos deste software. Abaixo, apresento a atividade 1 destes exercícios que consiste em um minimanual de uso do programa:

ATIVIDADE 1

MINIMANUAL DE USO:

- 1) Abra o programa;
- 2) Existe 2 barras de menu (embaixo e lateral esquerda);
- 3) Clique na opção “Localização” do menu à esquerda para abrir a janela de localização e situe a localidade na qual você está;
- 4) Para alterar o campo de visão use o botão esquerdo do mouse e arraste-o;
- 5) Para fazer zoom use Page Up/down;
- 6) Botão esquerdo clicado em uma estrela aparece informações sobre ela. Botão direito clicado some informações;
- 7) Com o objeto marcado, tecle espaço e o campo de visão será centralizado no objeto;
- 8) Para fazer zoom num objeto marcado tecle / e \;
- 9) Na barra de menu embaixo, você pode colocar ou retirar o efeito da atmosfera ou o solo;
- 10) A tecla J reduz a taxa de passagem do tempo, a tecla L aumenta a taxa e a tecla K faz a taxa voltar ao normal.

Na seção A.3 apresento todas as atividades propostas para o uso do *Stellarium*.

Através do *Google Earth*, escolhemos a cidade de Salvador para ser o nosso ponto B, por ela estar aproximadamente na mesma longitude do Darwin de Guarapari.

As coordenadas geográficas de Guarapari são 20° 39' 35,56" S e 40° 30' 3,97" O. Já, a capital baiana possui coordenadas 12° 58' 48,90" S e 38° 31' 6,24" O. A distância em linha reta de Guarapari a Salvador obtida no *Google Earth* é de 875,72 Km. Através do programa *Stellarium*, encontramos o meio-dia solar subtraindo o instante em que o Sol se pôs do instante em que o Sol nasceu no dia da medição, dividindo o resultado

por dois e somando ao instante do nascimento. O *Stellarium* fornece o momento do nascimento e pôr do Sol, bastando informar a data (dia, mês e ano). O ângulo θ foi obtido medindo o comprimento da sombra projetada pela haste ao meio dia solar. O ângulo β , a distância zenital, corresponde ao complemento da altura do astro que emite a luz, no caso o Sol. A altura do astro é informada pelo *Stellarium* a cada instante do dia. Ao alimentarmos o sistema com o instante em que a medição seria realizada, o *Stellarium* fornece a altura no sistema sexagesimal.

A altura de um astro (Figura 3) é o ângulo medido no plano vertical do astro a partir do plano do horizonte até o astro (BOCZKO, 1984). No final desta aula, dividi a turma em 5 grupos: dois grupos com 5 alunos e três grupos com 6 alunos. Em seguida, solicitei a cada grupo que providenciasse um kit formado por uma haste de madeira com 80 cm de comprimento, uma fita métrica e um fio de prumo para, na aula seguinte, efetuarmos a medida da sombra da haste ao meio dia solar conforme explicado anteriormente. O meio-dia solar ocorreu durante a aula de Química, que foi cedida gentilmente pelo professor da disciplina para que a turma pudesse fazer a medição.

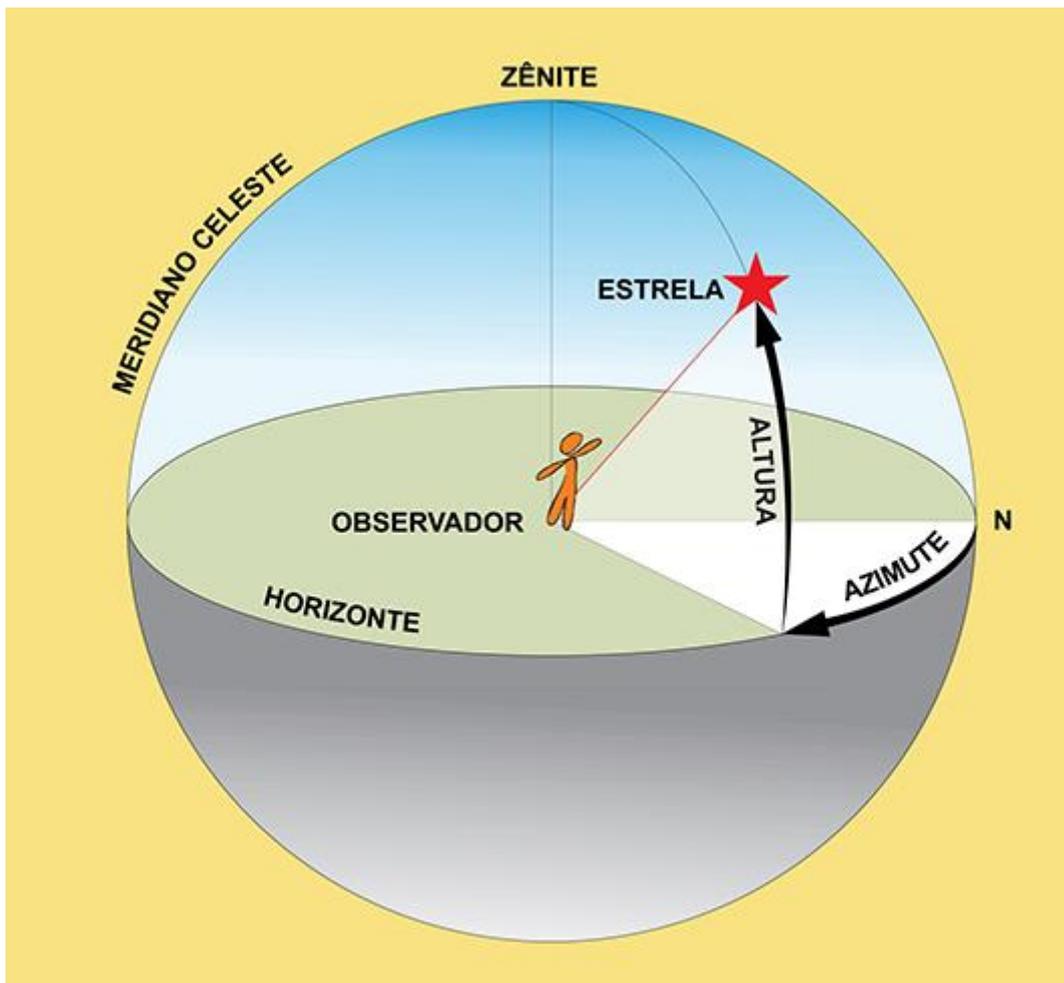


Figura 3: Altura de um astro. Fonte:

<http://site.mast.br/exposicoes_hotsites/exposicao_observacoes_do_recife_holandes/quadrante.html>.

E) Quinta aula

Esta foi a aula em que a turma realizou a medida da sombra. Cada aluno efetuou e anotou a sua medida ao meio-dia solar. O dia escolhido para a medição foi 13 de junho de 2016. Neste dia, o Sol nasceu às 5h 26min e iria se pôr às 17h 56min segundo o *Stellarium*. Subtraindo um valor do outro, dividindo por dois e somando o resultado ao horário do nascimento (ou calculando a média dos dois horários), foi descoberto que, ao meio-dia solar, o relógio (a hora legal, de Brasília) estaria marcando, 11h 41min.

Nesse horário, os 28 alunos já estavam posicionados no estacionamento, diante da escola, armados com haste, fita métrica, fio de prumo, lápis e papel. Na hora exata, pelo meu relógio, dei o sinal e as medidas foram obtidas e anotadas. A atividade, desde a saída da sala de aula até o retorno para a mesma, durou 20 minutos. Através

do Stellarium, obtivemos a altura do Sol na cidade de Salvador, escolhida para ser o nosso ponto B. Às 11h 41min, esta altura era de $54^{\circ} 10' 12''$. O ângulo β , usado pelos alunos, foi o complemento desta medida e igual a $35^{\circ} 49' 48''$, que, para fins de cálculo, foi transformado em $35,83^{\circ}$. A seguir temos fotos tiradas no dia da medida e, após elas, na Figura 6, apresento a planilha construída pelos alunos com as medidas dos ângulos, da sombra e do raio da Terra calculado por eles.



Figura 4: Medição da sombra no estacionamento da escola.



Figura 5: Medição da sombra no estacionamento da escola.

Na planilha apresentada na Figura 6, podemos observar que os valores dos raios calculados pelos alunos diferem do valor considerado como correto pela comunidade científica, que é 6.349 Km (OLIVEIRA FILHO e SARAIVA, 2004). Podemos citar alguns fatores que impediram os alunos de chegar a um resultado correto. Em primeiro lugar, a cidade de Salvador não está exatamente no mesmo meridiano que a cidade de Guarapari. Usamos Salvador por ser a cidade mais importante, próxima ao meridiano de Guarapari. Este fato deve ter contribuído para que houvesse erros no cálculo. Em segundo lugar, certamente houve incertezas e erros envolvidos na medida da sombra da haste. Este fato também acarreta em valores imprecisos para o raio da Terra.

ALUNO	SOMBRA (cm)	HASTE (cm)	Tan Θ	Θ (°)	$\alpha = \Theta - \beta$ (°)	h (Km)	RAIO (KM)
ALUNO 1	135	126,5	1,0672	46,86	11,03	875,72	4.551,27
ALUNO 2	78	80	0,975	44,27	8,44	875,72	5.947,93
ALUNO 3	78	80	0,975	44,27	8,44	875,72	5.947,93
ALUNO 4	78	80	0,975	44,27	8,44	875,72	5.947,93
ALUNO 5	78	80	0,975	44,27	8,44	875,72	5.947,93
ALUNO 6	78	80	0,975	44,27	8,44	875,72	5.947,93
ALUNO 7	78	80	0,975	44,27	8,44	875,72	5.947,93
ALUNO 8	78	80	0,975	44,27	8,44	875,72	5.947,93
ALUNO 9	78	80	0,975	44,27	8,44	875,72	5.947,93
ALUNO 10	78	80	0,975	44,27	8,44	875,72	5.947,93
ALUNO 11	78	80	0,975	44,27	8,44	875,72	5.947,93
ALUNO 12	78	80	0,975	44,27	8,44	875,72	5.947,93
ALUNO 13	78	80	0,975	44,27	8,44	875,72	5.947,93
ALUNO 14	78	80	0,975	44,27	8,44	875,72	5.947,93
ALUNO 15	78	80	0,975	44,27	8,44	875,72	5.947,93
ALUNO 16	122	126,5	0,9644	43,96	8,13	875,72	6.174,72
ALUNO 17	120	126,5	0,9486	43,49	7,66	875,72	6.553,59
ALUNO 18	75	80	0,9375	43,15	7,32	875,72	6.857,99
ALUNO 19	75	80	0,9375	43,15	7,32	875,72	6.857,99
ALUNO 20	75	80	0,9375	43,15	7,32	875,72	6.857,99
ALUNO 21	75	80	0,9375	43,15	7,32	875,72	6.857,99
ALUNO 22	75	80	0,9375	43,15	7,32	875,72	6.857,99
ALUNO 23	75	80	0,9375	43,15	7,32	875,72	6.857,99
ALUNO 24	74,5	80	0,9312	43,96	7,13	875,72	7.040,74
ALUNO 25	74,5	80	0,9312	43,96	7,13	875,72	7.040,74
ALUNO 26	74,5	80	0,9312	43,96	7,13	875,72	7.040,74
ALUNO 27	74,5	80	0,9312	43,96	7,13	875,72	7.040,74
ALUNO 28	74,5	80	0,9312	43,96	7,13	875,72	7.040,74

Figura 6: Planilha com os ângulos e raios medidos pelos alunos.

F) Sexta aula

Nesta aula, foi aplicada uma avaliação, apresentada na seção A.4, diferente da primeira, composta também por 5 testes de múltipla escolha e uma questão aberta, de cálculo, com o intuito de buscar verificar indícios de aprendizagem após a aplicação desta sequência didática. Abaixo apresento esta avaliação a qual chamo de avaliação recursiva:

AVALIAÇÃO RECURSIVA

Professor: Carlos Augusto Ferreira.

Aluno:

Turma:

Data:

- 1) Uma curva numa linha férrea deve ser traçada em círculo. O raio que deve ser dado ao círculo para que os trilhos mudem 25° de direção numa distância de 40π metros é:
A) 308 m B) 268 m C) 258 m D) 278 m E) 288 m

- 2) Em 20 de fevereiro de 2011, ocorreu a grande erupção do vulcão Bulusan nas Filipinas. A sua localização geográfica no globo terrestre é dada pelo GPS (sigla em inglês para Sistema de Posicionamento Global) com longitude $124^\circ 3' 0''$ a leste do meridiano de Greenwich. A representação angular da localização do vulcão com relação a sua longitude na forma decimal é:
A) $124,02^\circ$ B) $124,05^\circ$ C) $124,20^\circ$ D) $124,30^\circ$ E) $124,50^\circ$.

- 3) As cidades de Goiânia e Curitiba têm, aproximadamente, a mesma longitude. Goiânia fica a uma latitude de $16^\circ 40'$, enquanto a latitude de Curitiba é de $25^\circ 25'$. Considerando-se que a Terra seja aproximadamente esférica, com a linha do equador medindo aproximadamente 40.000 Km, a distância entre as duas cidades, em quilômetros, ao longo de um meridiano:
A) É menor que 700.
B) Fica entre 700 e 800.
C) Fica entre 800 e 900.
D) Fica entre 900 e 1000
E) É maior que 1000.

- 4) Uma família viaja para Belém(PA) em seu automóvel. Em um dado instante, o GPS do veículo indica que ele se localiza nas seguintes coordenadas: Latitude $21^\circ 20'$ Sul e longitude $48^\circ 30'$ Oeste. O motorista solicita a um dos passageiros que acesse a internet em seu celular e obtenha o raio médio da Terra, que é de 6370 Km, e as coordenadas geográficas de Belém, que são latitude $1^\circ 20'$ Sul e longitude $48^\circ 30'$ Oeste. A partir desses dados, supondo que a superfície da Terra é esférica, o motorista calcula a distância D, do veículo a Belém, sobre o meridiano $48^\circ 30'$ Oeste. Assinale a alternativa que apresenta, corretamente, o valor da distância D, em Km.

- A) $D = \frac{\pi}{9} 6370$
- B) $D = \frac{\pi}{18} (6370)^2$
- C) $D = \frac{\pi}{9} \sqrt{6370}$
- D) $D = \frac{\pi}{36} 6370$
- E) $D = \left(\frac{\pi}{3}\right)^2 6370$

- 5) A sombra produzida por uma haste de madeira com 60 cm de altura, fixada verticalmente no solo, foi determinada em um horário no qual os raios solares formavam um ângulo de 30° com a haste. O valor medido para a sombra em cm foi: (considere $\sqrt{3} = 1,7$)
A) 78 B) 34 C) 56 D) 64 E) 82
- 6) O sábio grego Posidonius (51 d.C. – 135 d.C.) também deu a sua contribuição para encontrar a circunferência da terra, porém usando a altura da estrela polar tomada nas cidades de Rodes e Alexandria. O valor encontrado por ele para a circunferência da Terra foi de 38.616 Km. Hoje sabemos que o raio médio da Terra é 6.371 Km. Determine o erro cometido por Posidonius calculando a diferença entre o raio médio atual e o valor encontrado por ele.

Na seção seguinte, faço uma análise de resultados comparando o número de questões respondidas de forma correta por cada estudante, na primeira avaliação, chamada de avaliação diagnóstica (seção A.2), com a quantidade de questões corretas na segunda avaliação, chamada de avaliação recursiva (seção A.4)

Como se trata de um projeto piloto, esta análise ocorreu de uma forma mais superficial, através da comparação de resultados em termos do número de respostas corretas apresentadas nas duas avaliações pelos alunos. A ideia inicial era retomar esta sequência para a turma de 2017, aperfeiçoando a sua aplicação. Inclusive, estava prevista, ao final da aplicação definitiva, a realização de uma análise mais detalhada por meio de uma entrevista com os alunos, que ajudaria na busca de indícios de ocorrência de uma aprendizagem significativa.

3.1.2 Análise dos resultados

Como já foi citado, os únicos dados colhidos para análise foram: a planilha com os cálculos do raio da Terra realizado por cada um dos 28 alunos que compunham o grupo de pesquisa (Figura 6) e a planilha de notas obtidas pelos alunos nas avaliações, apresentada na Tabela 1:

ALUNO	Nro. de Respostas Corretas	
	Avaliação Diagnóstica (AD)	Avaliação Recursiva (AR)
Aluno 1	5	6
Aluno 2	0	6
Aluno 3	4	6
Aluno 4	5	4
Aluno 5	2	3
Aluno 6	3	3
Aluno 7	5	4
Aluno 8	6	4
Aluno 9	6	5
Aluno 10	3	5
Aluno 11	4	2
Aluno 12	0	5
Aluno 13	1	3
Aluno 14	5	4
Aluno 15	4	4
Aluno 16	4	5
Aluno 17	3	3
Aluno 18	5	4
Aluno 19	1	4
Aluno 20	5	5
Aluno 21	3	3
Aluno 22	3	5
Aluno 23	2	6
Aluno 24	5	3
Aluno 25	4	3
Aluno 26	4	5
Aluno 27	4	5
Aluno 28	4	4
MÉDIA	3,6	4,3

Tabela 1: Número de respostas corretas de cada aluno às seis questões da avaliação diagnóstica (AD), realizada antes da aplicação da sequência didática, e às seis questões equivalentes da avaliação recursiva (AR), feita depois da aplicação da sequência.

Como é possível verificar na Tabela 1, 16 alunos do grupo de pesquisa tiveram um aumento da nota da segunda avaliação em relação à primeira, o que corresponde a 57% do grupo avaliado. 11%, ou 3 alunos, mantiveram a nota da primeira avaliação, enquanto que 32%, ou 9 alunos, tiveram na segunda avaliação uma nota menor que na primeira avaliação.

No Gráfico 1, a seguir, apresentamos um gráfico de barras do número (frequência) de estudantes que acertaram 0, 1, 2, 3, ..., 6 questões da avaliação antes (em azul) e depois (em vermelho) da aplicação da UEPS do Projeto Eratóstenes, para efeito de uma comparação de resultados nessas avaliações equivalentes, sobre o mesmo conteúdo, que pudesse evidenciar algum possível e esperado avanço na aprendizagem dos conceitos abordados durante a realização das atividades do projeto.

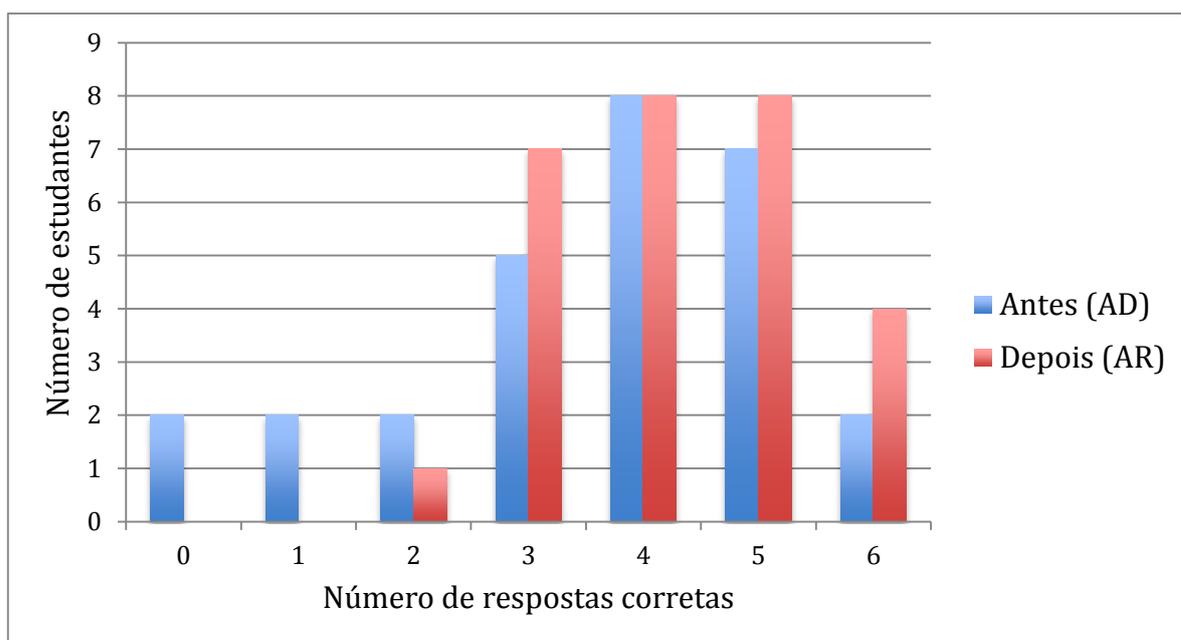


Gráfico 1: Número de estudantes que acertaram de 0 a 6 questões das avaliações diagnóstica (AD) e recursiva (AR), antes e depois da aplicação da sequência didática sobre a medida do raio da Terra.

A partir da Tabela 1 e do Gráfico 1, é possível perceber que houve uma melhoria no número de respostas corretas após a aplicação da sequência didática, porém esta melhoria não foi muito expressiva. Lembro que, na segunda avaliação, procurei ser fiel ao conteúdo ensinado, alterando apenas o formato das perguntas em relação à avaliação anterior. Ressalto que o fato de 100% das questões envolverem cálculos matemáticos dificultou o diagnóstico das causas do problema.

Mesmo assim, tento relacionar abaixo, alguns fatores que podem ter contribuído para a melhora pouco expressiva na nota dos alunos:

- a) O desinteresse de alguns alunos pela segunda avaliação, já que os dois pontos relativos ao projeto integrado já estavam garantidos;
- b) Esta avaliação foi aplicada na última aula do semestre, ocasião em que ocorre um relaxamento característico nesta faixa etária. Os alunos já se consideravam em recesso escolar;
- c) Todas as questões exigiam cálculos matemáticos. A experiência de muitos anos em sala de aula, me ensinou que um universo considerável de alunos não se sentem atraídos por questões desta natureza. Na aplicação definitiva do projeto, estas questões seriam substituídas por outras de natureza mais qualitativa. Essas perguntas devem buscar permitir um diagnóstico mais eficaz dos subsunçores necessários à compreensão dos novos conceitos que seriam implementados durante a intervenção. Esse objetivo não foi alcançado através dos problemas propostos nas avaliações aplicadas antes e depois do processo. Escolhendo perguntas mais adequadas, o trabalho de verificar se houve ou não uma aprendizagem significativa, ou seja, se os alunos assimilaram ou não o conteúdo aplicado, produziria resultados mais concretos. A assimilação ocorre quando novas ideias, potencialmente significativas, do material de instrução, se relacionam com ideias preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Respostas a questões que exigem memorização de fórmulas e de processos matemáticos, podem esconder a verdadeira relação entre aquilo que o aluno já sabe e aquilo que ele precisa aprender. Se houve apenas uma memorização, e não uma apropriação daquele conteúdo por parte do aprendiz, ele estará sujeito ao processo de esquecimento. Este fato pode ter ocorrido com os alunos que não conseguiram melhorar a sua nota após a aplicação da avaliação recursiva, ou tiveram, até mesmo, suas notas diminuídas;
- d) A própria resistência que alguns alunos demonstram em relação a problemas que envolvem cálculos geométricos e trigonométricos, podem ter influenciado o resultado das avaliações. Estes alunos não gostam de questões que os obriguem a "perder tempo" e raciocinar. Vivemos em um mundo onde a velocidade tornou-se um fator muito importante. O uso da informática permite a

realização de um número maior de tarefas em um intervalo de tempo muito menor. Isto acabou criando um tipo de estudante inquieto, incapaz de se debruçar sobre um problema durante o tempo necessário para a sua resolução. Este tipo de aluno prefere questões com respostas curtas e que o liberem mais rapidamente para outras atividades que ele considere mais atraentes. Este comentário é produto de minha experiência de 38 anos em uma sala de aula, tempo suficiente para observar as mais variadas naturezas juvenis. Tive o privilégio de assistir à mudança radical que o uso das redes sociais trouxe para dentro das salas de aula. Resta a nós, professores, canalizarmos estes recursos para uma educação que seja mais inclusiva e que envolva todos os alunos. Por isto, fazer o aluno gostar de aprender é o objetivo mais significativo deste meu trabalho. Este “gostar”, começa com a elaboração de questões mais adequadas a uma aprendizagem significativa.

- e) Como último fator de contribuição, ressalto a possibilidade de ter havido, por parte destes 9 alunos que diminuíram as suas notas, uma aprendizagem mecânica em detrimento a uma aprendizagem significativa. Ausubel nos chama a atenção que existe uma considerável diferença entre a aprendizagem significativa e a aprendizagem mecânica. Na aprendizagem mecânica o novo conceito adquirido é temporário e transitório, sendo o aluno incapaz de relacioná-lo a situações que exijam o recurso de sua estrutura cognitiva (AUSUBEL, 2003, p. 4). Durante a aprendizagem, existe um intervalo de retenção durante o qual armazenam-se significados que acabam de surgir em relação às ideias ancoradas que lhes são correspondentes. Quando a força de dissociabilidade dos mesmos chega abaixo de um determinado ponto crítico, ocorre o esquecimento ou uma redução gradual em relação às ideias ancoradas em questão (AUSUBEL, 2003, p.8). Este esquecimento pode ter ocorrido com estes 9 alunos em relação a alguns itens que foram desenvolvidos durante a intervenção.

Uma das mudanças que pretendo realizar em uma segunda aplicação do projeto é que as avaliações diagnóstica e recursiva não sejam mais constituídas por questões que envolvessem apenas cálculos matemáticos. O uso de questões desta natureza, dificulta a análise dos resultados, por valorizarem muito mais a memorização de fórmulas e processos matemáticos. Como já mencionamos no referencial teórico,

estes elementos caracterizam uma aprendizagem mecânica em detrimento de uma aprendizagem significativa.

A experiência adquirida através do diálogo com colegas cujas dissertações também utilizavam como referencial teórico a Teoria da Aprendizagem Significativa me fez ver que as avaliações antes e após a aplicação da sequência, sendo constituídas por questões mais qualitativas que quantitativas, iriam propiciar informações mais relevantes para uma tomada de decisão a respeito da ocorrência ou não de uma aprendizagem significativa ao longo do processo.

3.1.3 Conclusões

Como já mencionei anteriormente, o objetivo deste projeto piloto era servir de ponto de partida para a elaboração de um projeto muito mais abrangente a ser desenvolvido em 2017. Na reaplicação, muitas correções seriam efetuadas a partir da experiência adquirida durante a execução deste projeto preliminar. Por ser um projeto piloto, não foram coletados dados suficientes para analisar de maneira mais precisa se o objetivo de pesquisa foi atingido, ou seja, se houve ou não uma aprendizagem significativa por parte dos alunos. Contudo, a partir dos dados apresentados na Tabela 1 e Gráfico 1, é possível afirmar que parece ter havido um pequeno avanço no conhecimento dos estudantes acerca da medida de ângulos, da relação entre o raio e o perímetro e arcos de uma circunferência e de como o raio da Terra pode ser medido a partir de uma aplicação destes conceitos e da medida de sombras projetadas por objetos na vertical, como no método de Eratóstenes. Possivelmente o avanço não foi maior devido às razões elencadas na seção anterior, de análise de resultados, como a falta de interesse e a resistência dos estudantes quanto à realização de cálculos matemático e geométricos.

A partir de agora passo a descrever a aplicação do Projeto Escola Viva, quando tive a oportunidade de executar um trabalho mais completo, em que houve uma coleta de dados um pouco mais ampla, por meio de um questionário mais extenso que foi aplicado antes e após a realização da sequência didática.

3.2 PROJETO ESCOLA VIVA:

Conforme explicamos nas seções de apresentação e introdução, a segunda etapa da UEPS “Medidas de Distâncias em Astronomia” teve sua aplicação piloto, que denominamos “Projeto Escola Viva”, no Centro Estadual de Ensino Médio em Tempo Integral São Pedro, tendo como tema alguns dos principais métodos de determinação de distâncias até os astros.

O Centro Estadual de Ensino Médio em Tempo Integral São Pedro, também conhecido, de maneira mais abreviada, como “Escola São Pedro”, é a primeira unidade do programa “Escola Viva”, criado pelo governo do estado do Espírito Santo, por meio de sua Secretaria de Educação (SEDU). Ele fica localizado no bairro Inhaguetá, na rodovia Serafim Derenzi, em Vitória (ES), e possui um período letivo cuja duração diária é de 9 horas e 30 minutos, com refeições incluídas (almoço e lanche). Nesse espaço de tempo, além das disciplinas obrigatórias, os estudantes podem escolher matérias para enriquecer o currículo, como música, teatro, cinema, empreendedorismo e fotografia. Ao todo, são 800 vagas ofertadas aos estudantes que desejarem ingressar em uma escola com estas características.

A sequência didática sobre medidas de distâncias em Astronomia foi aplicada em uma turma composta inicialmente por 50 alunos que se matricularam em uma disciplina eletiva cujo objetivo é apresentar temas extracurriculares nas áreas de Física e Química.

Esses temas são apresentados na forma de palestras, oficinas, aulas em laboratório ou ao ar livre, quando usam-se instrumentos para medidas e observações como, por exemplo, o telescópio. Essas aulas são ministradas pelos professores das disciplinas e por professores convidados especialistas em vários assuntos, com o intuito de dar ao estudante uma formação bastante eclética, o que não seria possível em um regime semi-integral. A sequência didática, em sua aplicação piloto, foi ministrada em quatro encontros com duas aulas de 50 minutos, das 10:20 às 12:00.

3.2.1 Desenvolvimento e aplicação da sequência didática

Vou agora relatar cada um desses encontros com o auxílio de dados colhidos em um “diário de bordo” escrito ao longo da aplicação.

A) Primeiro encontro: 26/09/2017

Este encontro foi dedicado a uma abordagem histórica dos métodos usados por Eratóstenes, para a determinação do raio da Terra, e por Aristarco de Samos, para encontrar as distâncias da Terra à Lua e da Terra ao Sol, sendo esta última medida, a primeira tentativa de se encontrar o valor da UA, ou "unidade astronômica", que corresponde à distância média da Terra ao Sol. O método de Eratóstenes foi apresentado apenas teoricamente, pois a parte prática do experimento já havia sido realizada na primeira parte desta sequência didática com os alunos do Centro Educacional Charles Darwin de Guarapari. Na seção A.5 do Apêndice A faço uma descrição destes métodos, desenvolvidos por estes dois sábios.

Nos primeiros 20 minutos de aula, foi aplicado um questionário composto por 13 questões abertas, que se encontra na seção B.2, com o intuito de coletar as concepções iniciais dos alunos participantes. Abaixo apresento este questionário:

QUESTIONÁRIO DIAGNÓSTICO

Nome:

- 1) Quantos graus possui uma circunferência? E quantos radianos?
- 2) Faça a figura de um triângulo retângulo, coloque nele um ângulo de 30° e em relação a este ângulo identifique com a letra "a" a hipotenusa, com a letra "b" o cateto oposto e com a letra "c" o cateto adjacente.
- 3) Usando o triângulo retângulo da questão anterior, escreva as razões trigonométricas do seno, do cosseno e da tangente de 30° .
- 4) Qual é a expressão matemática que fornece o comprimento de uma circunferência?
- 5) Cite três unidades da grandeza comprimento.
- 6) Quantos segundos tem uma hora?
- 7) O que você entende por uma onda? Cite dois exemplos.
- 8) O que é um ano-luz?
- 9) O que é um satélite natural? Cite um exemplo.
- 10) Qual a diferença entre um planeta e uma estrela? Cite o nome de uma estrela que você conheça.
- 11) O que é uma galáxia? Cite pelo menos um exemplo.

- 12)** Quando olhamos para o céu noturno, observamos que a Lua se apresenta muito maior que as estrelas. Ela é, de fato, maior que as estrelas? Sim ou não? Se você acha que não, porque, então, ela parece maior?
- 13)** Um estudante disse que muitas estrelas que vemos hoje no céu já não existem mais. Será que ele está certo? Sim ou não? Por quê?

Este questionário tinha por objetivo diagnosticar os subsunçores presentes, e também ausentes, na estrutura cognitiva dos alunos. Para suprir a carência de subsunçores essenciais à compreensão da sequência didática, ao longo da sequência didática foram apresentados aos alunos textos introdutórios contendo informações necessárias ao preenchimento das lacunas cognitivas identificadas na correção desse questionário inicial.

No decorrer dos encontros, muitas dúvidas relacionadas a conteúdos já ensinados no Ensino Fundamental iam sendo sanadas pelo professor investigador no próprio quadro. Ao final do último encontro, este questionário foi reaplicado para verificar se houve ou não uma aprendizagem significativa por parte destes alunos.

Durante a aplicação do questionário, um aluno perguntou o que era a unidade “radiano”. Solicitei que o mesmo deixasse a questão em branco, pois durante a explanação do tema, eu explicaria o conceito desta unidade.

Encerrados os 20 minutos, foi passado um vídeo que é uma versão do clássico *Powers of Ten* (WIKIPEDIA, acesso em 18 dez. 2017), disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=4pZDUfLMVmM>>, para que o aluno meditasse sobre o tamanho do nosso universo, servindo também como um organizador prévio para o tema da determinação de distâncias astronômicas, a ser abordado na sequência didática.

Este vídeo mostra, em uma escala logarítmica, o tamanho do universo, passando do nosso planeta para o sistema solar, daí para as galáxias, para os aglomerados de galáxias e assim sucessivamente, até 10 bilhões de anos-luz, dando ao estudante uma noção da imensidão do nosso Universo.

Em seguida, li com eles um texto que redigi que busca ser desafiador e introdutório aos assuntos, sobre a distância, em anos-luz, até a estrela mais próxima de nós (depois do Sol, é claro), a Próxima Centauri, e os planos, em andamento, de uma

possível viagem até ela. Esse texto é apresentado abaixo e na seção B.3 do apêndice B:

TEXTO SOBRE A DISTÂNCIA ATÉ A ESTRELA MAIS PRÓXIMA

Em 1915, o astrônomo britânico Robert Innes (1861-1933), do observatório astronômico de Johannesburgo na África do Sul, encontrou a estrela mais próxima do Sol de que se tem conhecimento. Ela foi batizada como “Próxima do Centauro” ou “Alpha Centauri C” ou simplesmente “Próxima”. Trata-se de uma estrela anã vermelha, situada na constelação do Centauro, e que fica a uma distância de, aproximadamente, 4,2 anos-luz da Terra. Ela orbita outras duas estrelas, a Alpha Centauri A e a Alpha Centauri B, formando um sistema triplo de estrelas. No dia 24 de agosto de 2016, foi anunciada a descoberta de um exoplaneta que orbita Próxima do Centauro, batizado de “Próxima Centauri b”. Esse planeta está tão próximo de sua estrela quanto Mercúrio está do Sol.

Como Próxima do Centauro é bem menor que o Sol, a distância coloca Próxima Centauri b dentro de uma faixa de temperatura entre 0°C e 100°C, o que possibilita a existência de água no estado líquido, e onde tem água pode ter vida. (WIKIPEDIA, acesso em 19 dez. 2017).

Próxima do Centauro tem sido apontada como um possível primeiro destino para uma viagem interestelar. Atualmente, essa estrela está se movimentando na direção à Terra a uma velocidade de 21,7 Km/s. Em aproximadamente 26.700 anos, Próxima Centauri atingirá uma máxima aproximação de nosso planeta, passando a 3,11 anos-luz da Terra. Uma viagem em uma espaçonave comum, de propulsão não nuclear, duraria milhares de anos até se chegar a um planeta orbitando Próxima Centauri. Uma espaçonave de propulsão nuclear pode reduzir o tempo de viagem para aproximadamente 100 anos, chegando na estrela no próximo século. Um projeto chamado “Missão Breakthrough Starshot”, financiado pelo empreendedor milionário russo Yuri Milner, estuda fazer pequenas espaçonaves, do tamanho de um biscoito recheado, impulsionadas por um potente feixe de laser disparado da Terra. Com pouca massa e muita potência, essas naves poderiam alcançar 20% da velocidade da luz ou 216 milhões de Km/h e fazer a viagem até Próxima do Centauro com uma duração entre 20 e 25 anos. Quem viver verá.

Assim como o vídeo, a intenção foi que o texto servisse como aquilo que, no referencial teórico da Teoria da Aprendizagem Significativa, é chamado de “organizador avançado” (AUSUBEL, 2003) ou “organizador prévio” (MOREIRA, 2008), por meio do qual se busca constituir uma ponte cognitiva entre aquilo que o aluno já sabe e os novos conceitos que seriam abordados na UEPS, como, por exemplo, a unidade ano-luz, mencionada no texto. Acrescentei ainda a este texto as cinco perguntas abaixo, com o intuito de avaliar os conhecimentos prévios dos alunos:

- 1) O que é o ano-luz?
- 2) Como foi obtida esta unidade de medida de distâncias?
- 3) Como foi possível descobrir que Próxima do Centauro, a estrela mais próxima da Terra depois do Sol, está a 4,2 anos-luz do nosso planeta?
- 4) O texto diz que Próxima do Centauro se aproxima da Terra com uma velocidade de 21,7 Km/s. Como foi possível medir esta velocidade?
- 5) Qual a diferença entre um planeta e uma estrela?

Em seguida, expliquei o método de Eratóstenes. Durante a exposição, um aluno, já demonstrando um certo grau de aprendizagem, concluiu que a ausência de sombra indica uma inclinação de 90° dos raios do Sol.

O passo seguinte foi expor os métodos de Aristarco de Samos para o encontro da distância da Terra à Lua utilizando os eclipses e aplicando geometria, com base no texto apresentado na seção A.5.2.

Informei aos alunos que a Lua é vista da Terra sob um ângulo de $0,5^\circ$ (tamanho angular da Lua), e que um objeto precisa ser afastado cerca de 120 vezes o seu diâmetro para ser visto sob este ângulo. Um aluno perguntou como se chegou a estes valores. Solicitei que em casa, fizessem uma pesquisa para tentar descobrir a origem desses números.

Tanto o raio da Terra, quanto a distância da Terra à Lua foram calculadas no quadro pelos métodos historicamente usados por estes dois sábios (VERDET, 1991) e, na etapa seguinte, estes resultados foram aplicados na determinação da distância da Terra ao Sol, tendo como referência o texto que é apresentado na seção A.5.3.

Encontrado o valor da UA e informado o seu valor atual em Km, fizemos uma comparação entre o valor real e o valor encontrado por Aristarco. Discuti com os alunos os fatores que poderiam ter influenciado nas medidas. Foram unânimes em dizer que a ausência de equipamentos mais precisos foi determinante para a ocorrência de erros na medição, mas que isto não diminuiu em nada a genialidade dos antigos sábios, concluíram eles.

Finalizei o encontro discutindo com os alunos o conceito de ano-luz (seção B.4), determinando, com eles, o valor desta unidade em Km e resolvendo um exercício que pedia a relação entre o valor da UA com o valor do ano-luz, sempre solicitando a participação deles no cálculo. Eu executava os exercícios no quadro com a participação dos estudantes.

B) Segundo encontro, 10/10/2017:

Iniciei o encontro discutindo o conceito de paralaxe. Usei a técnica de mirar o dedo indicador colocado na direção do nariz. Pedi aos alunos que fizessem o mesmo e fechassem alternadamente, o olho direito e, em seguida, o olho esquerdo para que pudessem perceber o deslocamento aparente do dedo. Este deslocamento angular do dedo é o que chamamos de paralaxe. Por intermédio da Figura 7, mostrei que a paralaxe era medida pelo exame de fotografias tiradas de um astro em dias diferentes. Observando o deslocamento aparente do astro em relação às estrelas fixas, ao fundo, era possível encontrar o valor da paralaxe (OLIVEIRA FILHO e SARAIVA, 2004). Neste ponto, lancei o seguinte questionamento:

O que acontece com o valor da paralaxe à medida que o astro vai ficando cada vez mais distante?

Alguns alunos responderam que o deslocamento aparente ia ficando cada vez menor até um limite que seria impossível medi-lo a olho nu. Foi quando alguém sugeriu fazer a medida a partir de um veículo no espaço.

Isto permitiria encontrar a paralaxe de astros que estivessem muito mais distantes da Terra. Citei então, como exemplo, o telescópio Hubble que já faz estas medidas lá no espaço e nos envia os valores encontrados das paralaxes de estrelas muito afastadas de nós.

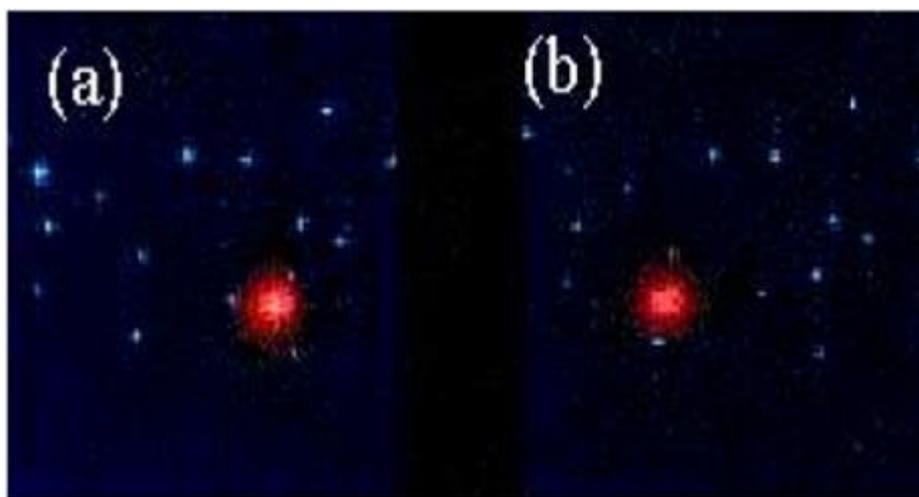


FIGURA 7: Imagens de uma mesma região do céu obtidas com seis meses de diferença, mostrando o movimento aparente de uma estrela, com relação às estrelas fixas, ao fundo. Fonte: <<http://astroweb.iag.usp.br/~dalpino/AGA215/APOSTILA/cap08cor.pdf>>

Fixado o conceito de paralaxe, passei a mostrar que a distância entre a Terra e um astro podia ser encontrada pelo método da triangulação, desde que se conheça a paralaxe heliocêntrica deste astro. Utilizei a figura 8 para melhor explicar o processo.

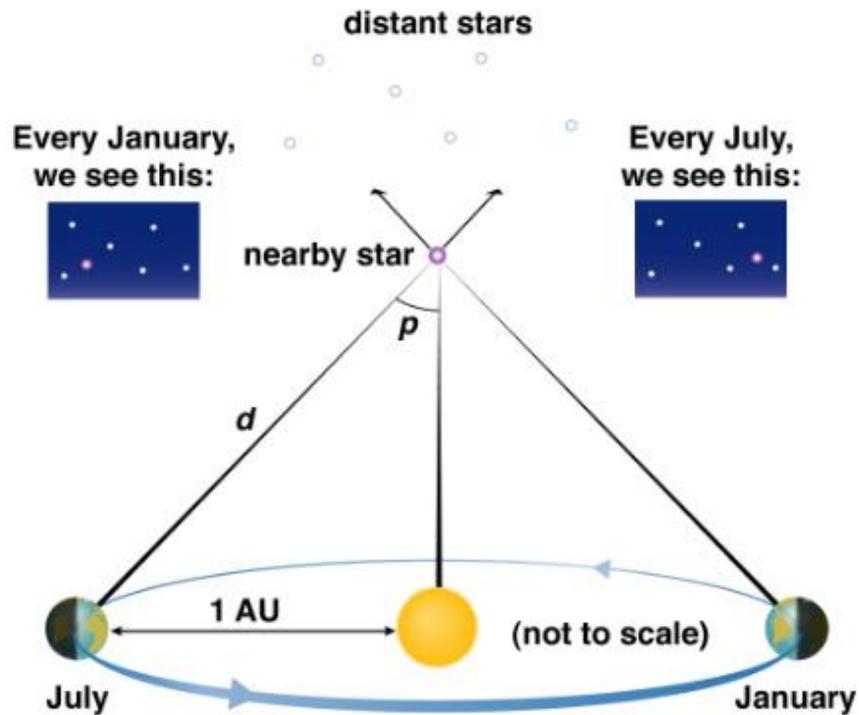


FIGURA 8: Determinação da distância até uma estrela próxima pelo método da triangulação ou paralaxe. Fonte: <<https://medium.com/o-universo-em-2-minutos/as-distancias-das-estrelas-ad066d1f885d>>

Usando o valor do ângulo p em segundos de arco (p é a metade da paralaxe heliocêntrica medida) acompanhado do valor de da UA (Unidade astronômica) e da razão trigonométrica seno, é possível encontrar a distância d da Terra até a estrela indicada por *nearby star* conforme a figura 7 acima.

Os alunos entenderam um detalhe interessante neste cálculo. Como o ângulo p é muito pequeno, é possível considerar: $\text{sen } p = p$, com p expresso em radianos.

Maiores detalhes deste processo podem ser consultado no Apêndice B, onde exponho o material didático que pode ser usado na aplicação da sequência didática.

Em seguida, projetei no quadro, à guisa de exercício, um slide com a paralaxe heliocêntrica de várias estrelas e solicitei aos alunos que conferissem o valor das distâncias usando uma calculadora eletrônica e a expressão $d = 1/p$, lembrando ao

aluno que, ao usarmos o valor de p em segundos de arcos, o resultado da distância seria em parsecs. Aproveitei este momento para introduzir o conceito da unidade “parsec” (tomando a figura 8 como referência) e o conceito da unidade radianos, cobrada no primeiro encontro por um dos alunos. Expliquei aos alunos que, se usarmos a paralaxe em radianos, o resultado da medida da distância, seria em UA.

Fechamos este momento de aprendizagem resumindo no quadro as relações entre as unidades UA, ano-luz e parsec e também a relação entre radianos e segundos de arco. Neste momento um dos alunos fez um comentário que me deixou muito recompensado:

Professor, para estrelas muito distantes até para o “Hubble” ficaria difícil medir a paralaxe, não é mesmo?

Após elogiar a ótima intervenção do aluno, comentei que novas técnicas precisariam ser acrescentadas para medir distâncias maiores e que estas técnicas seriam apresentadas nos próximos encontros.

A parte final do encontro foi dedicada ao conceito de magnitude e da classificação estabelecida por Hiparco em seu “Sistema de magnitude” que vai de 1 a 6 (MORAIS, 2009).

Expliquei aos alunos que, nesse sistema, quanto maior a magnitude, menor o brilho da estrela. Para ter certeza de que haviam entendido, perguntei quais fatores poderiam influenciar na magnitude de uma estrela. A maioria dos alunos respondeu: o tamanho da estrela e a sua distância até nós.

O segundo encontro foi fechado com os conceitos de luminosidade e fluxo de luz. Após apresentar as expressões matemáticas para o cálculo destes parâmetros, perguntei a eles quais fatores influenciariam na luminosidade ou brilho de uma estrela. Responderam que o tamanho da estrela era um fator que influenciava bastante e a distância da estrela até nós também influenciava no brilho da estrela. Foi quando um dos alunos falou que a temperatura na superfície da estrela também era fator preponderante para o brilho do astro. Em relação ao fluxo de luz, perguntei se a distância do astro podia influir. Foram unânimes em dizer que “quanto mais distante a estrela menor o fluxo de luz que chega até nós”. Pude ver neste comentário, um indício de que talvez tenha ocorrido uma aprendizagem significativa destes conceitos.

Acrescentei que eles estavam cobertos de razão, pois o fluxo luminoso diminui com o quadrado da distância.

Muito feliz com o debate, resolvi um exemplo numérico onde calculamos, para o Sol, qual seria sua luminosidade e o seu fluxo de luz na superfície da Terra e encerrei o segundo encontro.

Na seção B.5, os slides construídos para esta aula podem ser consultados. Nas seções B.6 e B.7 seguem textos, respectivamente, sobre medida de distância pelo método da paralaxe e sobre magnitudes, luminosidade e fluxo, utilizados como referência para este encontro

C) Terceiro encontro, 07/11/2017:

O terceiro encontro foi iniciado com uma revisão de alguns conceitos estabelecidos no encontro anterior. Conceitos de luminosidade e fluxo de luz foram comentados e, para ter a certeza de que não foram esquecidos, durante o intervalo entre o segundo e terceiro encontro, perguntei outra vez que fatores poderiam influenciar no brilho de uma estrela. Além das respostas dadas no encontro anterior, ou seja, tamanho, distância e temperatura, um dos alunos citou a composição química da estrela, que, na verdade, não afeta diretamente a luminosidade da mesma, mas apenas o seu espectro. Ao repetir a pergunta: "Qual a relação entre fluxo luminoso e distância do astro", um aluno respondeu que o fluxo aumenta com a distância, porém a maioria respondeu que diminui com a distância. Lembrei o conceito de magnitude. Frisei que quanto maior a magnitude menor o brilho da estrela. Apresentei a expressão que fornece a magnitude aparente de uma estrela (Seção B.7.4) e resolvi o seguinte exercício no quadro:

"Qual é a magnitude aparente de uma estrela dez vezes menos brilhante que *Vega*?"

Abaixo a solução apresentada no quadro aos alunos:

A partir da expressão da magnitude aparente temos:

$$m = -2,5 \text{ Log } (F_v/F_o)$$

$$m = -2,5 \text{ Log } (0,1F_o/F_o)$$

$$m = -2,5 \text{ Log } (1/10)$$

$$m = 2,5 \text{ Log } 10$$

$m= 2,5$

Em seguida, coloquei no quadro a magnitude aparente do Sol (-26,7) e a de β crucis (+1,25). Perguntei quem era mais brilhante. Uma parte dos alunos não percebeu que o sinal negativo ao lado da magnitude do Sol faz esta magnitude ser menor que a magnitude de β crucis, mesmo tendo valor maior em módulo. Devido a este detalhe, a maior parte dos alunos respondeu que o Sol é menos brilhante.

Uma menina corrigiu seus colegas lembrando que -26,7 é menor que +1,25, logo o Sol deveria ser mais brilhante, de acordo com o sistema de magnitudes criado por Aristarco de Samos. Fui então ao quadro e mostrei, pela expressão de magnitude aparente, que o Sol é 10^{11} vezes mais brilhante que β crucis. Todo este momento do encontro, inclusive o cálculo realizado no quadro, foi filmado pela equipe jornalística do programa “Cidade Alerta”, da TV Vitória, que fazia uma reportagem sobre o “Projeto Escola Viva” do governo do nosso estado. Essa reportagem foi apresentada no programa do dia 9 de novembro de 2017, às 17:30 horas.

Fechei este momento do encontro falando sobre magnitude absoluta e módulo de distância (seção B.7.5), importantíssimo para a técnica que viria a seguir: o uso das variáveis Cefeidas como velas padrão para medir distâncias (seção B.9).

No momento seguinte, expliquei o que era uma variável Cefeida, fiz uma rápida abordagem histórica a respeito do método criado pela astrônoma Henrietta Leavitt no início do século XX. Mostrei, então, o gráfico abaixo (Figura 9) que mostra a variação do brilho (magnitude) de uma variável Cefeida com o tempo (slide 9 da seção B.8).

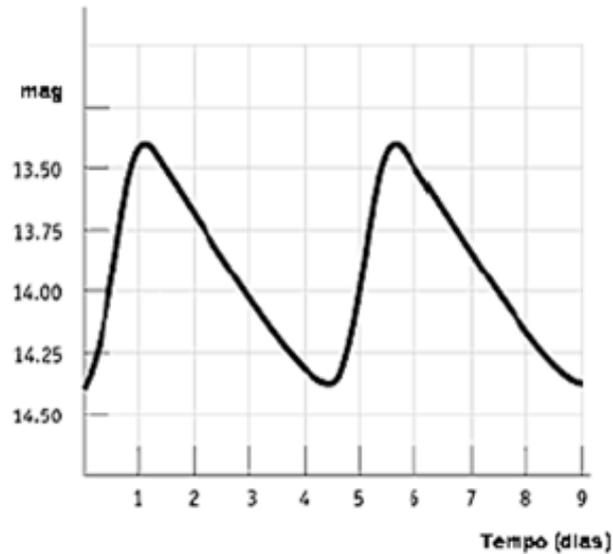


FIGURA 9: Gráfico que mostra a variação do brilho (magnitude) de uma variável Cefeida com o tempo. Fonte: <<https://www.if.ufrgs.br/cref/gtpp/exercicios/cefeidas/Cefeidas2-professor.pdf>>

Um aluno perguntou como Henrietta descobriu esta variação. Expliquei que ela examinou centenas de fotografias nas quais verificou a variação do brilho de dezenas de variáveis Cefeidas descobertas na Pequena Nuvem de Magalhães. Em seguida mostrei o gráfico período-luminosidade (Figura 10, abaixo, e slide 10 da seção B.8) estabelecido por ela.

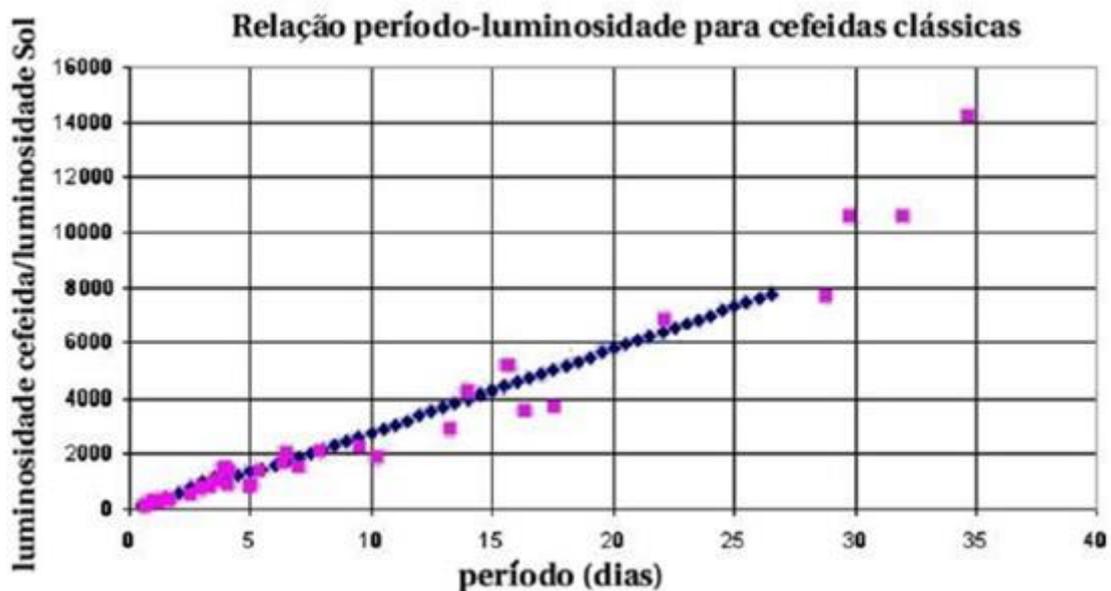


Figura 10: Gráfico período-luminosidade. Fonte: <<https://www.if.ufrgs.br/cref/gtpp/exercicios/cefeidas/Cefeidas2-professor.pdf>>

A partir daí, propus a atividade prática abaixo que consistia na determinação da distância até a Pequena Nuvem utilizando o método desenvolvido por Leavitt:

Aplicação do método das variáveis Cefeidas como velas padrão:

- 1) Encontrou-se, na Pequena Nuvem, uma Cefeida cujo período era de 10 dias e cujo fluxo luminoso era de $1,4672 \times 10^{-14} \text{ W/m}^2$;
- 2) Próxima a esta Cefeida, havia uma estrela cuja magnitude aparente era de 15,16 e seu fluxo luminoso era de $1,31 \times 10^{-14} \text{ W/m}^2$;
- 3) A magnitude absoluta do Sol é de 4,74;
- 4) Determine a que distância a Pequena Nuvem encontra-se de nós.

Os dados para a determinação da distância foram: o período e o fluxo luminoso, ou magnitude aparente, de uma variável Cefeida da Pequena Nuvem, a relação período-luminosidade das Cefeidas (slide 10) e a magnitude absoluta do Sol. O roteiro utilizado no cálculo é apresentado abaixo e no slide 13 da seção B.8.

Roteiro para o cálculo da distância pelo método das variáveis Cefeidas como velas padrão:

- 1º) Obter o período e a magnitude aparente m_{cef} da Cefeida (isso pode ser obtido por meio de medidas diretas, com telescópios);
- 2º) Procure no gráfico período-luminosidade a relação $L_{\text{cef}}/L_{\text{sol}}$;
- 3º) Calcule a magnitude absoluta da Cefeida pela expressão:
$$M_{\text{cef}} - M_{\text{sol}} = -2,5 \text{ Log } (L_{\text{cef}}/L_{\text{sol}});$$
- 4º) Encontre agora a distância pela expressão do módulo de distância:
$$m_{\text{cef}} - M_{\text{cef}} = 5 \text{ Log } (d/10).$$

Durante o período em que concebi esta UEPS, fiquei muito preocupado com o fato de ter que usar cálculos envolvendo logaritmos. Isto porque eu desconhecia as habilidades dos alunos em relação a esta parte da Matemática, que é ensinada no primeiro ano do Ensino Médio. Antes de resolver no quadro o primeiro exercício envolvendo logaritmo, fiz uma rápida revisão do conceito de logaritmo e das suas

principais propriedades, percebendo que os alunos tinham o conhecimento necessário à compreensão dos exercícios.

Na seção B.8, os slides construídos para esta aula podem ser consultados. Na seção B.9, segue o texto de referência sobre o uso das variáveis Cefeidas para medir distâncias.

D) Quarto encontro, 21/11/2017:

Este encontro foi dedicado ao estudo da expansão do universo e da lei de Hubble. Iniciei a prática discutindo o conceito de onda. Perguntei aos alunos a diferença entre ondas mecânicas e eletromagnéticas. Fiquei surpreso com o conhecimento que tinham a respeito deste conceito. Eis algumas das respostas colhidas após ter feito esta pergunta: “*ondas transportam energia sem transporte de matéria*”, “*ondas mecânicas dependem de um meio material para se propagar*”, “*o som é uma onda mecânica*”, “*a luz é uma onda eletromagnética*” e “*a onda eletromagnética se propaga em qualquer meio*”. O professor Thiago explicou que os alunos haviam tido uma aula sobre ondas na semana anterior.

Passei a discutir com eles o efeito Doppler. A esse respeito também demonstraram conhecimento. Perguntei a eles: Com o observador parado, o que acontece com a frequência da fonte que se aproxima?

Resposta: *aumenta*.

E quando a fonte se afasta?

Resposta: *diminui*.

Expliquei a eles que o efeito Doppler pode ocorrer também com ondas eletromagnéticas. Apresentei a eles uma figura (Figura 11) com a representação do espectro eletromagnético (slide 4 da seção B.10), dando ênfase ao espectro da luz visível. Como a velocidade da luz no vácuo permanece constante, pela expressão $v = \lambda \times f$, o aumento no comprimento da onda (λ) implica na queda da frequência (f). Aproveitei para acrescentar, fazendo uma analogia com o efeito Doppler para o som, que à medida que nos deslocamos para o vermelho, o comprimento da onda aumenta e a frequência diminui, indicando que, se a luz visível emitida por um dado objeto

aparece deslocada para o vermelho, isso significa que o objeto está se afastando do observador.

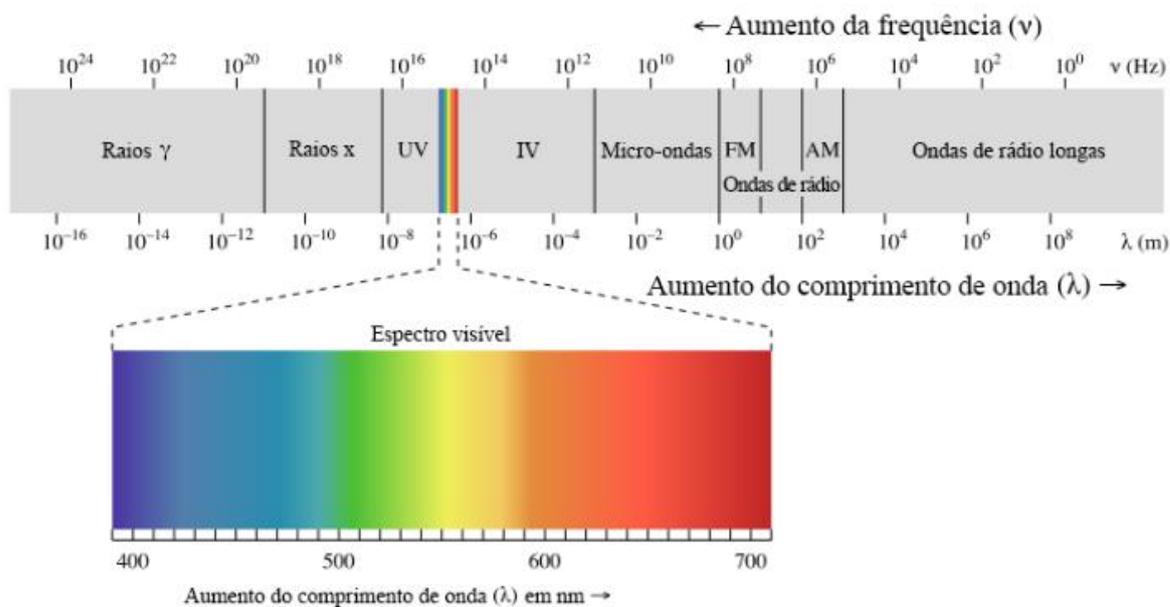


FIGURA 11: Região visível do espectro eletromagnético. Fonte: <<https://pt.khanacademy.org/science/physics/light-waves/introduction-to-light-waves/a/light-and-the-electromagnetic-spectrum>>

O uso do slide 4 apresentado na Figura 11 acima, com o espectro da luz visível e a variação dos valores da frequência e do comprimento de onda para a luz visível, facilitou a realização desta analogia. O aluno pode verificar também que ocorre o contrário quando a luz visível emitida por um objeto se desloca para o azul. Isso significa que o objeto está se aproximando.

Meu intuito era diagnosticar e relembrar os conhecimentos prévios destes alunos com relação ao efeito Doppler em ondas sonoras com o intuito de ligar, a estes conhecimentos, os novos conceitos, quando fosse falar sobre o *redshift* (desvio para o vermelho) das galáxias.

Passei, em seguida, a fazer uma abordagem histórica sobre a espectroscopia, Edwin Hubble e o debate Shapley-Curtis sobre a natureza das nebulosas elípticas (slides de 5 a 13 da seção B.10). Falei sobre a noite em que Hubble, utilizando o Observatório de Monte Wilson, localizou uma Cefeida na nebulosa de Andrômeda, aplicou o método criado por Henrietta Leavitt e descobriu, pela distância calculada por este método, que

Andrômeda estava fora da nossa galáxia. Sendo assim, estava encerrado o grande debate entre Harlow Shapley e Herbert Curtis. Na opinião de Shapley, não existia nenhum objeto astronômico fora da Via-Láctea, todo o Universo se resumia a ela, enquanto Curtis afirmava que fora e além da nossa galáxia havia uma infinidade de mundos, dos quais as nebulosas eram apenas um dos elementos. (GROUEFF; CARTIER, 1978). A descoberta de Hubble deu razão à Curtis, mostrando que inúmeras nebulosas espirais são, na verdade, universos-ilhas, formados por milhões de estrelas, semelhantes à Via Láctea e situados fora dela.

Abordei também, historicamente, a importância da espectroscopia para descoberta da expansão do universo.

Expliquei como Hubble descobriu o *redshift* das galáxias mais distantes e, neste ponto, aproveitei para questionar os alunos com a seguinte pergunta:

Qual o significado do desvio para o vermelho das galáxias?

A resposta veio no ato: “as galáxias estão se afastando de nós”.

Por quê?

Resposta dos alunos: “Desvio para o vermelho indica aumento de comprimento e queda da frequência, indicando que o objeto está se afastando de nós”.

Com esta resposta, os alunos parecem ter demonstrado uma boa compreensão e indícios de uma aprendizagem significativa em relação ao efeito Doppler e ao desvio para o vermelho ou *redshift*.

Em seguida, apresentei a Lei de Hubble, dando ênfase à importância da constante de Hubble, e exemplifiquei seu uso mediante um exercício de aplicação desta lei (slide 14, seção B.10). Abaixo apresento este exercício:

Aplicação da lei de Hubble:

O aglomerado de Virgem está a 23 milhões de anos-luz da Terra. Utilize a lei de Hubble para determinar sua velocidade de afastamento em Km/s.

Por fim, distribuí o mesmo questionário diagnóstico aplicado na primeira aula (seção B.2), com o objetivo de avaliar uma esperada evolução e diferenciação das concepções iniciais dos estudantes em consequência de sua participação nos quatro encontros do Projeto Escola Viva.

Os alunos levaram em média 30 minutos para responder ao questionário e, encerrada a elaboração das respostas, dirigi a todos os meus sinceros agradecimentos pela colaboração, participação e êxito alcançado durante os quatro encontros.

Em seguida, faço uma análise comparativa das respostas dadas pelos alunos aos dois questionários, inicial e final, e busco analisar se é possível, ou não, perceber indícios de uma aprendizagem significativa.

3.2.2 Análise das respostas aos dois questionários aplicados

Cabe ressaltar aqui que os dados colhidos por meio do questionário após os encontros e a sua análise, apresentada nesta seção, não deveriam ser os últimos. Estava previsto um complemento através da análise das respostas dadas pelos alunos em uma entrevista que seria realizada no ambiente da própria escola onde a UEPS foi aplicada. Contudo, o encerramento do ano letivo e as obras realizadas na escola, que foram iniciadas logo após a intervenção, impediram a realização da entrevista.

Ressalto também que, no dia do último encontro, 28 alunos da turma estavam participando de uma atividade pedagógica fora da escola. Devido a este fato, não participaram do último momento de aprendizagem.

Esses contratemplos, difíceis de serem previstos, principalmente porque não faço parte da equipe pedagógica do estabelecimento de ensino, fez com que a análise, a seguir, fosse realizada apenas com os questionários respondidos pelos 22 estudantes que participaram do primeiro e do último encontro.

O objetivo do primeiro questionário foi diagnosticar quais eram os subsunçores relevantes que estavam disponíveis na estrutura cognitiva dos alunos avaliados.

Colhidas estas concepções prévias, passei a seguir uma orientação do próprio Ausubel: descubra o que o aluno já sabe e ensine-o de acordo (Ausubel, 2003).

Segundo Ausubel, o fator mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe. A partir deste princípio, à medida que ia apresentando os assuntos,

procurava dar ênfase aos temas abordados pelo questionário inicial, de modo a reforçar, desenvolver e diferenciar os possíveis subsunçores preexistentes, aos quais as novas informações pudessem ser ancoradas. Os subsunçores necessários à ancoragem da nova informação iam sendo trabalhados durante o processo na forma de uma revisão dos assuntos já estudados no Ensino Fundamental e Médio. Operações no sistema sexagesimal, regra de três e noções de logaritmos são exemplos destes assuntos.

A minha expectativa era que o aluno evoluísse em relação aos conhecimentos demonstrados previamente, na primeira avaliação. Ao analisar as respostas da segunda avaliação percebi que isto não ocorreu com todos os alunos avaliados, mas, em muitos deles, pude perceber a apropriação de novos significados por parte dos alunos avaliados, caracterizando indícios de uma aprendizagem significativa por parte destes estudantes.

Ressalto também que a não realização da entrevista após a aplicação da sequência didática impediu uma análise mais ampla e profunda a respeito do objetivo desta pesquisa. Se realizada, essa assumiria um papel bastante relevante na avaliação para saber se houve ou não uma aprendizagem significativa após a aplicação desta UEPS.

Passo, então, aos comentários sobre cada uma das treze questões do questionário com as suas respectivas análises. A transcrição das respostas destes 22 alunos podem ser consultadas no Apêndice C. A partir de agora, passo a chamar de Q1 à primeira avaliação, e de Q2 à segunda avaliação.

1) Quantos graus possui uma circunferência? E quantos radianos?

O objetivo desta questão era verificar se o aluno conhecia as unidades de ângulo, graus e radianos, muito úteis para a compreensão da unidade parsec.

Conforme podemos perceber pelo Gráfico 2, abaixo, a grande maioria dos alunos avaliados demonstraram já conhecer, previamente, o fato de que uma circunferência possui 360° , sendo que, após a aplicação da UEPS, o número de respostas corretas foi ainda um pouco maior.

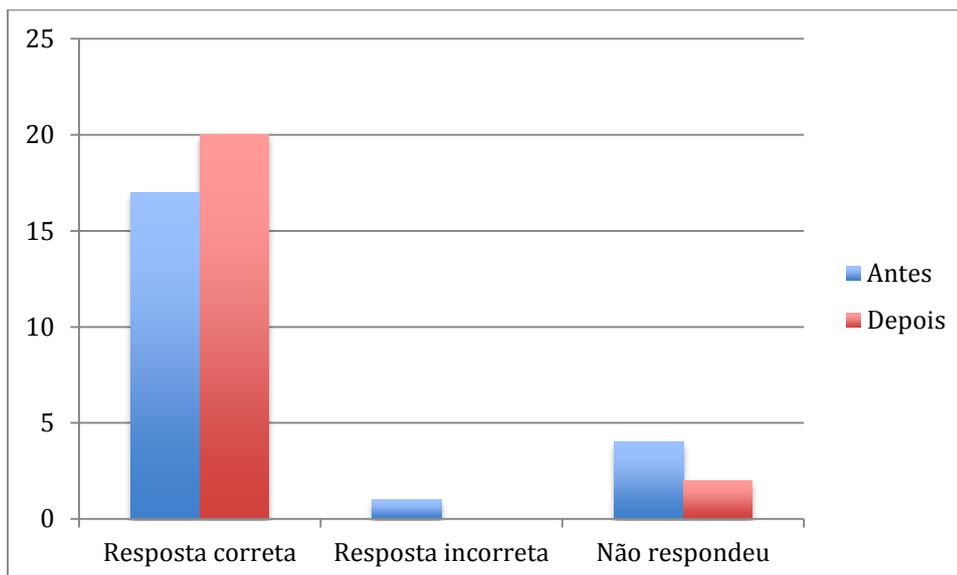


Gráfico 2: Frequência de respostas corretas, respostas incorretas e ausência de resposta ao item que perguntava quantos graus possui um circunferência na questão 1 do questionário Q1.

Contudo, quanto à segunda parte da questão, que perguntava sobre a medida da circunferência em radianos, o resultado foi bem diferente, conforme pode ser percebido no Gráfico 3:

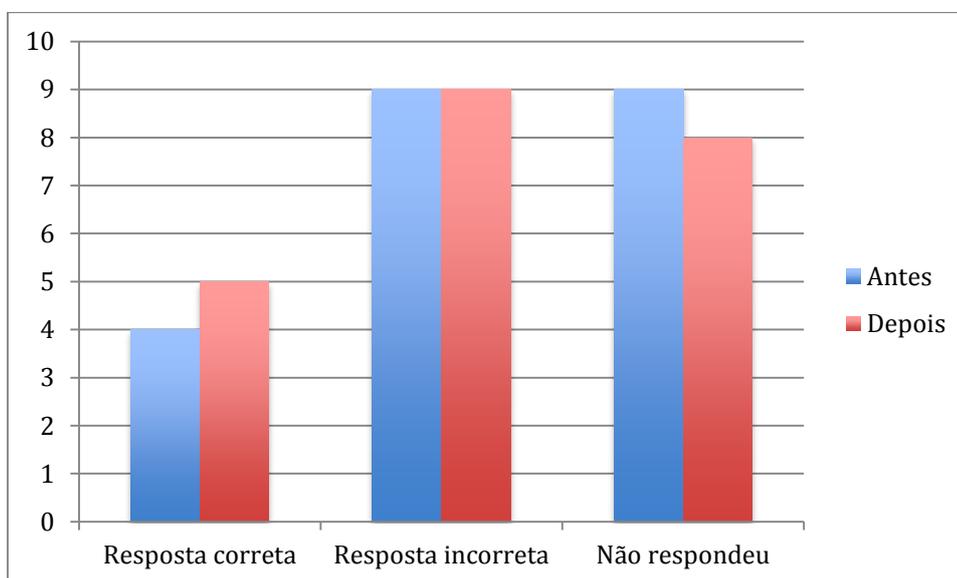


Gráfico 3: Frequência de respostas corretas, respostas incorretas e ausência de resposta ao item, da questão 1, que perguntava sobre quantos radianos possui um circunferência.

O resultado expresso no Gráfico 3 parece evidenciar que a maioria dos estudantes desconhecia o que seria uma medida da circunferência em radianos, pois muitos sequer responderam à pergunta, e, dos que responderam, a maioria deu respostas

incorretas, sendo que isso ocorreu tanto antes, quanto depois da aplicação da sequência.

Esse resultado indica, por um lado, que o conceito de medida de ângulos em radianos é pouco familiar aos estudantes e precisa ser melhor trabalhado no Ensino Médio, e, por outro lado, que a UEPS não foi nada efetiva quanto a conseguir promover uma aprendizagem a respeito, necessitando ser aprimorada neste aspecto, já que esse conceito é importante para uma boa compreensão de um dos métodos mais básicos de medida de distâncias em Astronomia – o método da paralaxe.

2) Faça a figura de um triângulo retângulo, coloque nele um ângulo de 30° e em relação a este ângulo, identifique com a letra “a” a hipotenusa, com a letra “b” o cateto oposto e com a letra “c” o cateto adjacente.

O objetivo desta questão era verificar se o aprendiz reconhece os elementos de um triângulo retângulo e as suas posições no mesmo. Sem a presença deste subsunçor na estrutura cognitiva do aluno, a assimilação do método da triangulação ou paralaxe para a determinação de distâncias seria muito comprometida.

Como é possível perceber no Gráfico 4, a maioria (dezesesseis) dos alunos avaliados evidenciaram já possuir, inicialmente, os conceitos relativos aos elementos de um triângulo retângulo, acertando à questão proposta. Depois da aplicação da proposta, houve um pequeno aumento no número de acertos e de respostas parcialmente corretas, e mais nenhum aluno deixou de responder ao item, indicando que parece ter havido um leve progresso nesse reconhecimento de elementos de um triângulo após a aplicação da UEPS.

As respostas parcialmente corretas mais frequentes foram as em que houve uma troca de posição entre o que deveria ser o cateto adjacente e o oposto, ou de um deles com a hipotenusa

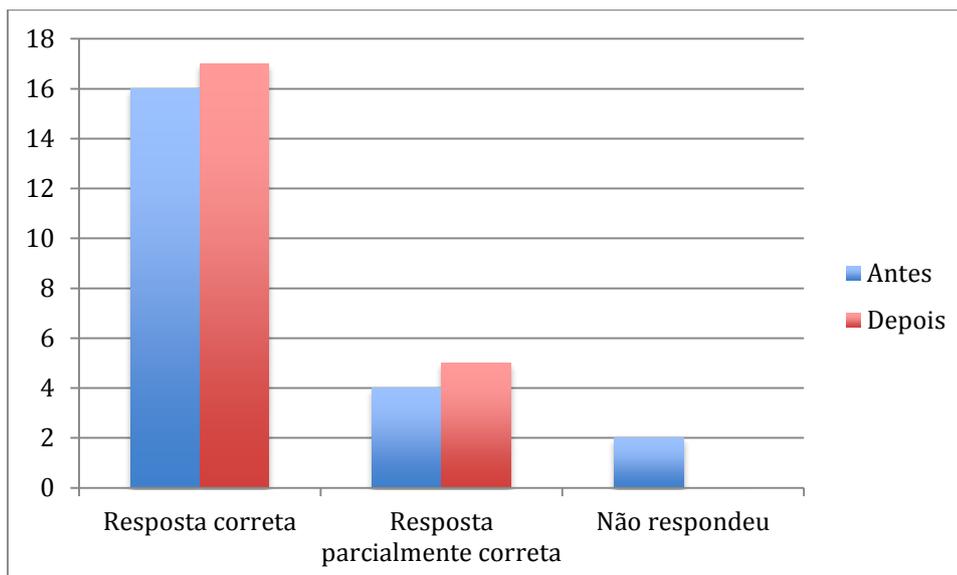


Gráfico 4: Frequência de respostas corretas, parcialmente corretas e de ausência de resposta à questão 2.

3) Usando o triângulo retângulo da questão anterior, escreva as razões trigonométricas do seno, do cosseno e da tangente de 30° .

Como já comentei na questão anterior, construir corretamente a razão trigonométrica de um ângulo é requisito essencial para aplicar o método de triangulação e paralaxe, daí a presença desta pergunta na avaliação.

Contudo, a análise das respostas indicou que houve uma falha na formulação da pergunta, pois vários estudantes (6 no questionário inicial e 7 no final) ao lerem “escreva as razões trigonométricas do seno, cosseno e tangente de 30° ”, deram suas respostas escrevendo os valores do seno, cosseno e tangente de 30° , e não as razões trigonométricas entre os elementos do triângulo (catetos “b” e “c” e hipotenusa “a”).

Deixando de lado as respostas desse tipo, que remetem apenas a uma memorização de valores, no Gráfico 5 é apresentado o resultado obtido em termos da maior ou menor correção das respostas dadas em termos, efetivamente, das razões trigonométricas, e também a quantidade de ausência de resposta:

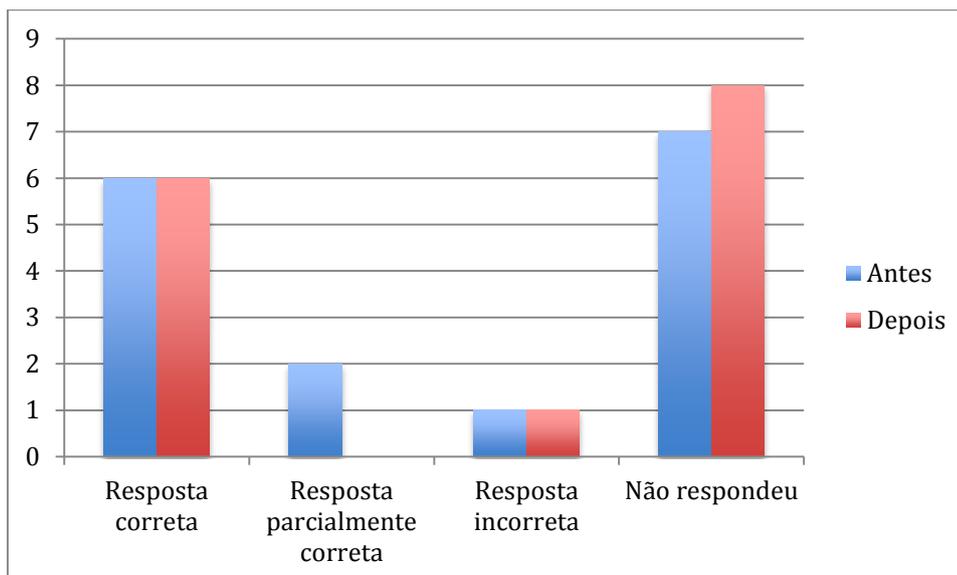


Gráfico 5: Frequência de respostas corretas, parcialmente corretas e incorretas por parte dos estudantes que expressaram suas respostas de acordo com o esperado, em termos de razões trigonométricas, e da ausência de resposta à questão 3, antes e depois da aplicação da UEPS.

O Gráfico 5 indica que, comparando as respostas dadas antes e depois da aplicação da sequência, não houve nenhum avanço, sendo que a fração de ausência de resposta foi muito grande, cerca de metade da amostra: 7 alunos, no início, e 8 no final.

Esse resultado parece evidenciar, por um lado, que, previamente, a maioria dos estudantes tinha pouco conhecimento acerca das razões trigonométricas, e que a UEPS foi totalmente ineficaz com relação a isso, não conseguindo contribuir para a promoção de uma maior aprendizagem com relação a este conteúdo.

Há que se ressaltar, também, o problema ocorrido na redação da questão, que gerou a interpretação equivocada de que o que se pedia seriam os valores do seno, cosseno e tangente do ângulo de 30° , necessitando ser revisada.

De qualquer modo, esse resultado negativo é muito importante, pois mostra que, numa nova aplicação dessa UEPS, esse é um ponto que merece ser bem melhor trabalhado, enfatizando a aplicação e utilidade desses conceitos básicos de trigonometria em algo tão importante quanto a determinação das distâncias dos astros até a Terra, explorando a interdisciplinaridade entre a Matemática e a Astronomia.

4) Qual é a expressão matemática que fornece o comprimento de uma circunferência?

A resposta a esta pergunta, bem direta, é um item essencial para encontrarmos o raio de Terra pelo método de Eratóstenes. A ausência deste subsunçor na estrutura cognitiva do aluno indica que este aluno ainda não seria capaz de determinar o raio do nosso planeta a partir do comprimento de um dos seus meridianos.

No Gráfico 6, a seguir, são apresentadas as frequências das respostas corretas, incorretas e de ausência de resposta a essa pergunta:

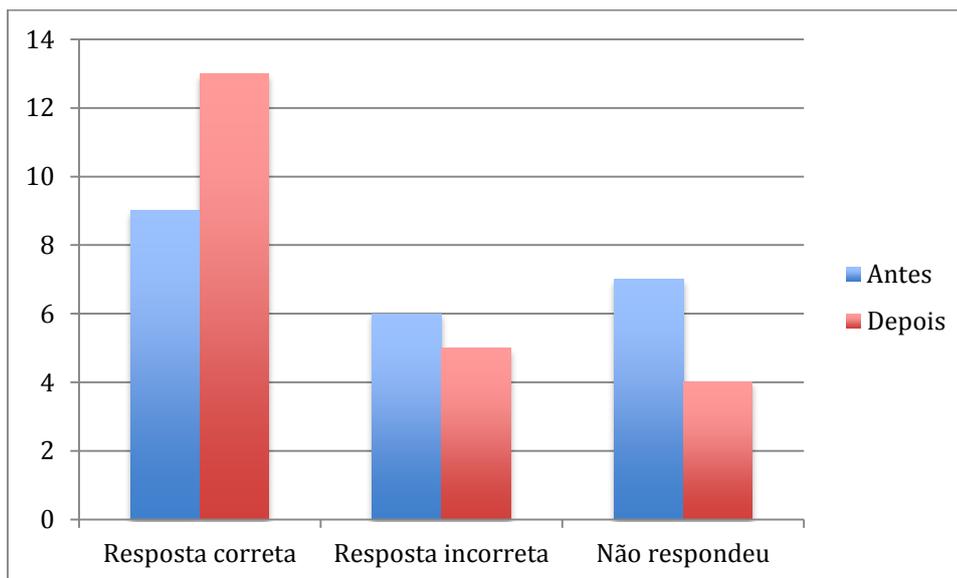


Gráfico 6: Frequência de respostas corretas, incorretas e de ausência de resposta à questão 4, antes e depois da aplicação da UEPS.

Antes da intervenção, 13 alunos demonstraram não conhecer esta expressão, deixando de responder à pergunta, ou respondendo de maneira incorreta. Após a intervenção, mais quatro alunos acertaram a questão na avaliação Q2. Eu esperava um número bem maior, já que esta expressão " $2\pi r$ " deveria ser bem conhecida pelos alunos que cursam as séries finais do Ensino Fundamental. Mais uma vez, podemos ter aqui o fenômeno do esquecimento, processo que ocorre em uma aprendizagem automática, que prioriza a memorização em detrimento de uma aprendizagem significativa.

5) Cite três unidades da grandeza comprimento.

O meu objetivo, ao colocar esta pergunta na avaliação, foi verificar uma eventual mudança e maior diferenciação no universo de unidades da grandeza comprimento existente na estrutura cognitiva destes alunos. Esperava o surgimento de elementos

novos na resposta à avaliação Q2, já que, durante a intervenção, seriam mencionadas unidades até então desconhecidas por parte dos alunos avaliados. Ao citar unidades "parsec", "UA" e "ano-luz", o estudante estaria dando um indicativo de que elementos novos, mais específicos, haviam se ligado ao conceito mais geral e inclusivo de "unidade de medida de comprimento" e a unidades mais frequentemente utilizadas, como, por exemplo, a unidade metro. Este enriquecimento que ocorre no conceito subsunçor é aquilo que Ausubel chama de diferenciação progressiva. Esta diferenciação parece ter ocorrido com oito dos alunos avaliados, que, no questionário final, citaram unidades como o parsec, o ano-luz e a UA (unidade astronômica). A grande maioria demonstrou conhecer unidades mais comumente usadas, como metro, centímetro e decímetro, mas apenas aqueles oito alunos, evidenciaram ter ocorrido um enriquecimento do universo de unidades presentes em suas estruturas cognitivas, citando novas unidades trabalhadas durante a sequência.

Gostaria de relatar um fato que me chamou a atenção: o aluno 8, além de citar algumas unidades de comprimento comuns, como o metro e a polegada, escreveu na avaliação Q1, a unidade "acre" e, na avaliação Q2, a unidade "hectare" que não são unidades da grandeza comprimento, e sim da grandeza área, aparentemente evidenciando que a diferença entre a grandeza área e a grandeza comprimento ainda não estava bem assimilada. Contudo, esse aluno também escreveu "ano-luz" na avaliação Q2, demonstrando, ao menos, ter aprendido ser o "ano-luz" uma unidade de comprimento.

6) Quantos segundos tem uma hora?

Para compreender o significado de uma das unidades de distância mais utilizadas em Astronomia – o ano-luz – o aluno precisa possuir em sua estrutura cognitiva a informação relevante de que uma hora possui 3600 segundos. Foi para diagnosticar a eventual carência deste subsunçor que elaborei esta questão.

Conforme é possível verificar no Gráfico 7, a maioria dos estudantes soube responder corretamente à pergunta desde o questionário inicial, alguns, inclusive, indicando o cálculo que é necessário fazer, multiplicando o número de minutos de uma hora pelo de segundos em um minuto, ou seja, calculando $60 \times 60 = 3.600$, mostrando que este conceito está muito bem assimilado na estrutura cognitiva destes alunos.

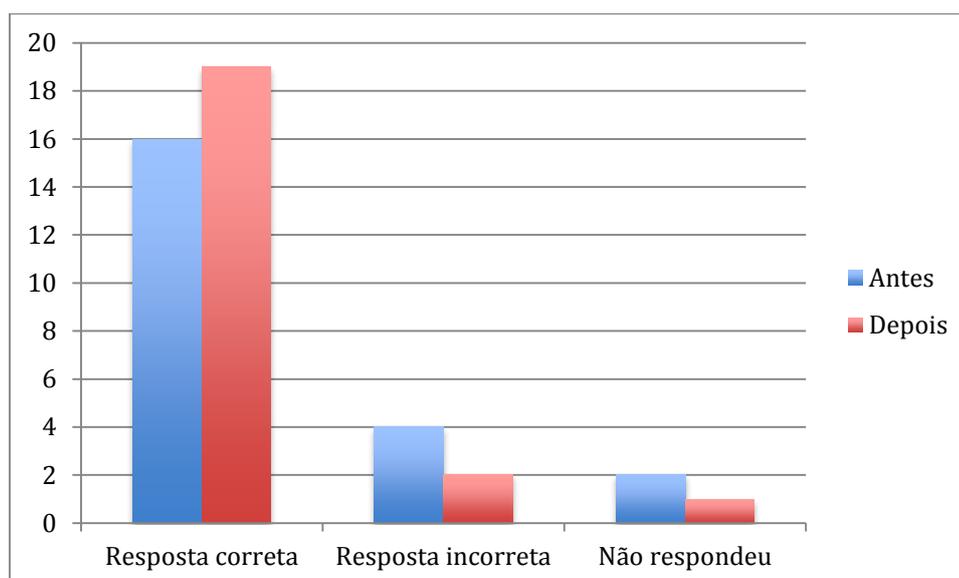


Gráfico 7: Frequência de respostas corretas, incorretas e de ausência de resposta à questão 6, antes e depois da aplicação da UEPS.

Após a intervenção, o número de respostas corretas ainda aumentou um pouco mais, evidenciando que a intervenção contribuiu para ampliar a noção de alguns dos alunos acerca das unidades básicas de tempo que utilizamos, que servem de ponto de partida para o cálculo do valor de um ano-luz.

Portanto, o resultado obtido com esta questão parece indicar que o subsunçor associado às unidades básicas de tempo que usamos se acha presente na estrutura cognitiva da maioria dos alunos, o que é essencial para uma boa compreensão do significado da unidade “ano-luz”.

7) O que você entende por uma onda? Cite dois exemplos?

Antes da exposição do tema “expansão do universo e a lei de Hubble”, era necessário diagnosticar o conhecimento dos alunos a respeito do efeito Doppler, tanto para o som, quanto para o espectro eletromagnético, essenciais para a compreensão do desvio para o vermelho que ocorre na expansão das galáxias, também chamado de *redshift*. Este fato justifica a elaboração de uma questão que explorava o conceito de onda.

A questão proposta pode ser dividida em dois itens: o primeiro que perguntava sobre qual o entendimento que o aluno tinha sobre o que seria uma onda e o segundo que pedia dois exemplos de ondas.

As respostas mais frequentes à primeira parte da pergunta foram classificadas em três categorias: as que se referem ao fato de uma onda transportar energia, de que uma onda corresponde a uma perturbação em um meio e a de que ela é algo que apresenta vales e cristas. No Gráfico 8 são apresentadas as frequências desses tipos de respostas, antes e depois da intervenção. Chama a atenção o fato de que, no questionário inicial, a maioria (13 alunos) simplesmente não respondeu a esse primeiro item, sobre o que seria uma onda, o que parece indicar pouco conhecimento inicial sobre as características de uma onda, ou uma grande dificuldade de os estudantes expressarem suas concepções a respeito. Mesmo após a intervenção, 6 alunos ainda continuaram sem dar resposta a este item, indicando que este é um tema que merece ser bem trabalhado durante a sequência.

As respostas à segunda parte da questão corroboram essa impressão. Como pode ser observado no Gráfico 9, novamente, no questionário inicial, mais de metade da turma (12 alunos) não deu resposta a esse item que pedia exemplos de ondas, e, mesmo após a intervenção, 6 alunos ainda continuaram sem responder, o que, mais uma vez, parece indicar o pouco conhecimento inicial dos alunos a respeito das ondas, que é um tema de grande importância para o entendimento de obtenção de dados astronômicos.

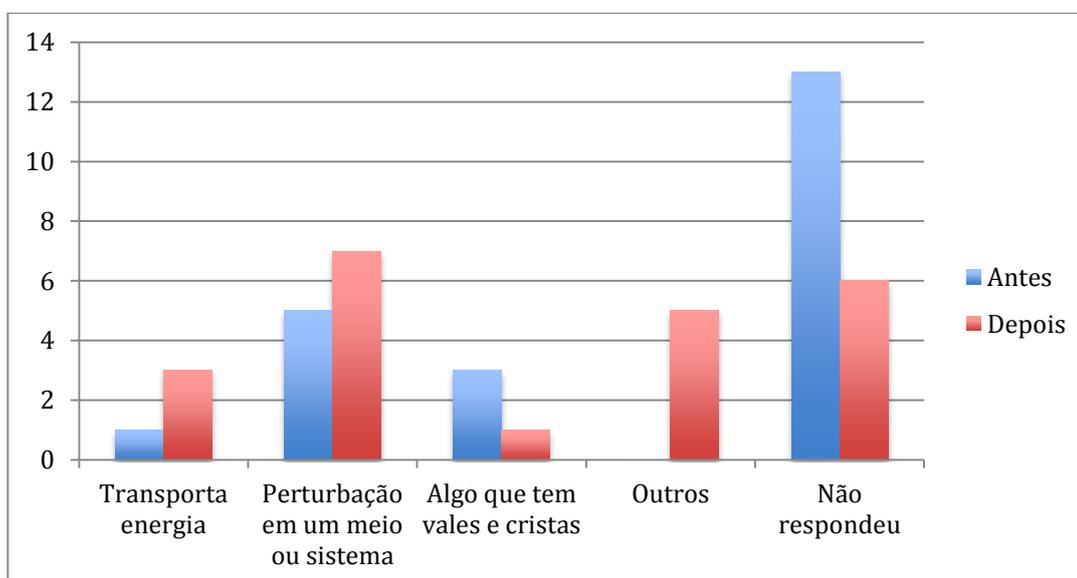


Gráfico 8: Frequência de respostas à primeira parte da questão 7, que perguntava sobre o que seria uma onda. As respostas mais frequentes foram classificadas em três categorias: as que se referem ao fato de uma onda transportar energia, de que uma onda corresponde a uma perturbação em um meio ou sistema e a de que ela é algo que apresenta vales e cristas. Chama atenção à falta de respostas à pergunta, especialmente no questionário inicial, quando mais de metade da turma não respondeu a este item.

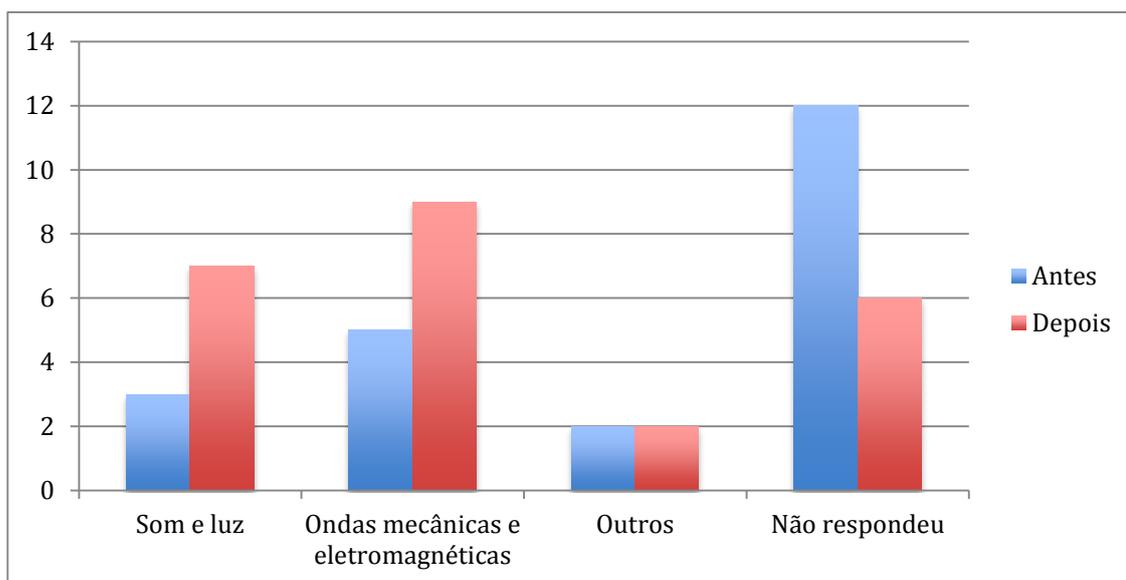


Gráfico 9: Frequência de respostas à segunda parte da questão 7, que pedia dois exemplos de ondas. Novamente chama a atenção a falta de respostas à pergunta, especialmente no questionário inicial, quando mais de metade da turma não respondeu a este item.

Contudo, também é possível perceber, nos gráficos 8 e 9, que a participação nos encontros do projeto Escola Viva conseguiu promover uma evolução nas concepções de boa parte dos estudantes. Cerca de metade dos que não haviam dado qualquer resposta ao questionário inicial, passaram a dar respostas, mesmo que ainda parciais, ao final. Em alguns casos, a mudança foi bem significativa, como no caso do aluno A3, cuja resposta inicial à questão 7 foi apenas:

“A3: É a perturbação de um sistema.”

Na qual a onda é caracterizada apenas como uma perturbação em um sistema, sem outros atributos, e não é dado nenhum exemplo. Já sua resposta ao questionário final, partindo do que foi dito no inicial, torna-se muito mais completa e elaborada, com várias outras características das ondas sendo especificadas e sendo dados exemplos:

“A3: É a perturbação em um meio. Onda mecânica: precisa de um meio material para se propagar. Ex: ondas sonoras e ondas em uma corda. Ondas eletromagnéticas não precisam de um meio material para se propagar. Ex: luz e ondas de rádio.”

O caso acima parece ser um bom exemplo do processo que Ausubel denomina de “diferenciação progressiva” dos conceitos, quando novos atributos são associados e

ancorados ao conceito subsunçor original e ele vai se transformando, tornando-se mais elaborado e inclusivo.

É interessante notar também que as duas primeiras categorias de respostas, tanto à primeira como à segunda parte da pergunta, não são excludentes, embora as respostas dos estudantes tenham sido classificadas em apenas uma delas. Isso aconteceu sobretudo nas respostas ao questionário final, quando os alunos, em geral, passaram a apresentar respostas um pouco mais elaboradas, a descrever mais características das ondas e a detalhar mais os exemplos, como no caso do aluno A2, cuja resposta inicial foi:

“A2: Uma onda é uma perturbação que se propaga por um meio. Ondas mecânicas e ondas eletromagnéticas.”,

e cuja resposta final foi:

“A2: Uma perturbação que se propaga por um meio e transporta apenas energia. Mecânica (som) e eletromagnética (luz),”

onde a onda é caracterizada tanto como perturbação que se propaga, mas também como transportadora apenas de energia (parecendo ficar subentendido “e não de matéria”) e exemplificada por meio tanto de sua classificação geral, ondas mecânicas e eletromagnéticas, como também por meio de tipos específicos, som e luz (visível). Novamente, neste caso, parece se evidenciar o processo da diferenciação progressiva.

8) O que é um ano-luz?

O ano-luz é uma das unidades de medida em Astronomia que seriam discutidas durante a aplicação da UEPS. A escolhi para tema desta questão por ser a unidade astronômica mais conhecida pelos estudantes que cursam o Ensino Médio.

Como pode ser observado no Gráfico 10, metade da turma (11 alunos), tanto antes como depois da intervenção, respondeu corretamente que o ano-luz é uma medida de distância, sendo que, dentre esses, a maioria (8 alunos no questionário inicial e 7 no final) complementou sua resposta dizendo, também corretamente, que o ano-luz é a distância percorrida pela luz em um ano, ou seja, metade da turma parecia já ter uma concepção inicial em acordo com o conceito científico do que é um ano-luz.

Contudo, chama a atenção o fato de as frequências de respostas corretas, antes e depois da intervenção, serem praticamente iguais, o que nos leva a concluir que a sequência não foi nada efetiva no sentido de contribuir para um melhor esclarecimento do que seria a unidade ano-luz junto aos estudantes que, inicialmente, desconheciam o significado desta unidade. Portanto, o assunto necessita ser melhor trabalhado em futuras aplicações da UEPS.

Nesta questão, também chama a atenção o fato, já esperado, de que alguns (4 alunos antes e 4 depois), evidenciaram interpretar o ano-luz como sendo uma medida de tempo, não de comprimento. Isso era esperado, uma vez que o próprio nome da unidade, que começa com a palavra “ano”, remete a uma associação com o tempo, mas, além disso, também é muito interessante observar a ocorrência de diversas outras concepções alternativas, como:

- O ano-luz seria uma unidade, simultaneamente, de tempo e distância. Como é dito pelo aluno A6 no questionário inicial:

“É uma unidade de medida que mede tempo e distância no espaço”.

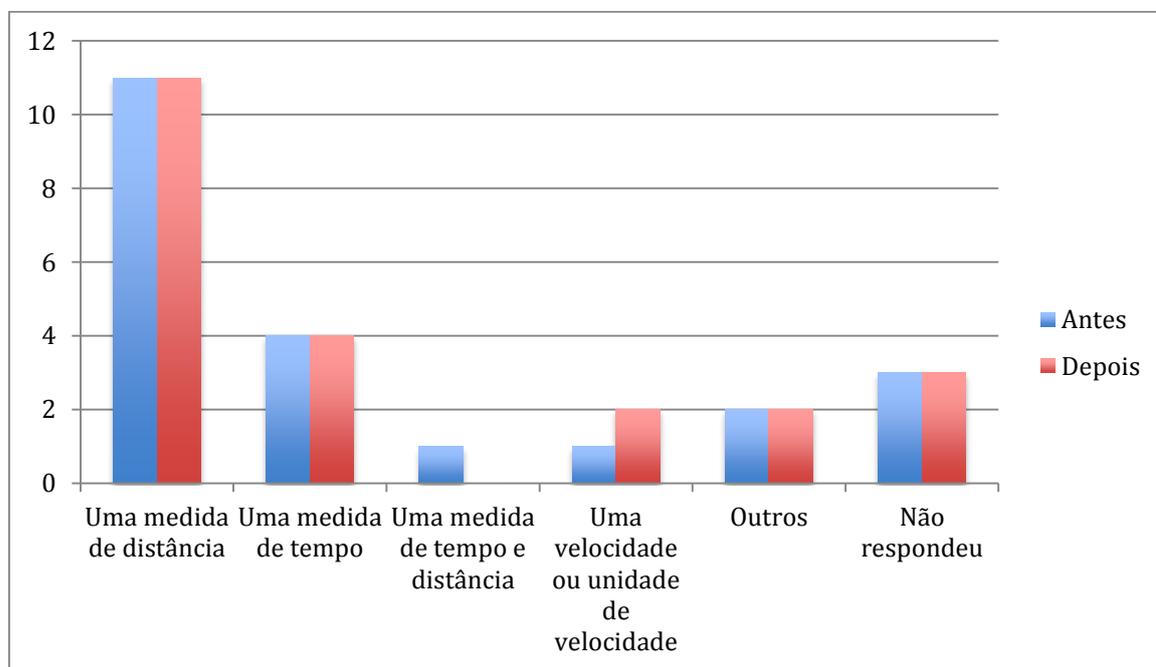


Gráfico 10: Frequência de respostas à questão 8, que perguntava o que é um ano-luz. É possível notar que as frequências são praticamente iguais, antes e após a aplicação da sequência didática.

- Ele seria uma velocidade ou unidade de velocidade, conforme é dito, p. ex., pelo aluno A16 no questionário final:

“Uma unidade para medir velocidade”.

- Uma concepção em que se associa o ano-luz a realização de uma viagem, como é expresso pelo aluno A10 no questionário inicial:

“Um ano-luz é uma viagem com a velocidade da luz”;

e pelos alunos A13 e A14, respectivamente, no questionário final:

“Quantidade de tempo em que se viaja na velocidade da luz”;

“É o tempo que uma coisa leva para alcançar outra coisa na velocidade da luz” .

Talvez esse tipo de associação do ano-luz com viagem, evidenciada no questionário final, tenha sido, em parte, motivada pelo trabalho com o texto apresentado na seção B.3, que discute a possível realização de uma viagem até *Proxima Centauri*, situada a 4,2 anos-luz, que poderia ser o primeiro destino de uma viagem interestelar.

É fundamental que a existência dessas concepções espontâneas seja considerada pelo professor, pois elas estão presentes na estrutura cognitiva dos estudantes e certamente interagirão com os novos conceitos a serem ensinados. Novamente, como diz Ausubel (1968): o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe; descubra isso e ensine-o de acordo.

Pelo resultado desta análise, certamente o conceito de ano-luz precisa ser melhor trabalhado em futuras aplicações da UEPS, para esclarecer seu significado e importância como uma das unidades de comprimento mais utilizadas na medida de distâncias em Astronomia.

9) O que é um satélite natural? Cite um exemplo.

Esta questão teve por objetivo diagnosticar se o aluno possui em sua estrutura cognitiva o conceito mais geral do que é um satélite natural. Durante a intervenção, seria exposto o método desenvolvido pelo filósofo grego Aristarco de Samos para encontrar a distância entre a Terra e a Lua e a distância entre a Terra e o Sol, expressas indiretamente em número de raios terrestres (seção A.5.3). Este fato, motivou a elaboração desta questão.

Quase todos os alunos avaliados reconheceram e citaram a Lua como o satélite natural da Terra, mas boa parte deles não soube expressar em palavras o conceito de um satélite natural. Acredito que este seja um dos muitos gargalos da educação no Brasil. O baixo gosto pela leitura e pela escrita demonstrado por nossos jovens estudantes faz com que eles, mesmo possuindo o subsunçor em sua estrutura cognitiva, não possuam o vocabulário necessário para passar do pensamento para as palavras.

Observe a resposta do aluno 9 na avaliação Q2:

“É algo que orbita alguma coisa, que depende de outra coisa”.

Além de ser hilário, podemos perceber que o aluno sabe a função de um satélite natural, mas não possui vocabulário disponível em sua estrutura cognitiva onde se possa ancorar o conceito.

Apenas os alunos 12, 13 e 17 demonstraram uma diferenciação progressiva no conceito de satélite natural. Observei que nenhum destes três alunos respondeu Q1 porém, em Q2, o aluno 13 escreveu a Lua como exemplo e os alunos 12 e 17, além de citarem a Lua como exemplo, ainda definiram satélite natural como sendo *“Um corpo celeste que orbita um planeta”*. Vale destacar que o aluno 18 fugiu do lugar comum e citou Fobos e Deimos como satélites naturais do planeta Marte, demonstrando possuir um conceito mais amplo e diferenciado sobre o que seria um satélite natural em sua estrutura cognitiva.

10) Qual a diferença entre um planeta e uma estrela? Cite o nome de uma estrela que você conheça.

Um dos métodos que seriam abordados na intervenção seria o da triangulação ou paralaxe, que busca determinar a distância da Terra a corpos celestes cuja paralaxe heliocêntrica possa ser medida. Daí a necessidade de elaborar uma questão com o intuito de diagnosticar o conhecimento do aluno a respeito da diferença entre uma estrela e um planeta.

Ainda durante a intervenção seria exposto o tema “magnitude”, para o qual o conceito “brilho de um astro” é muito importante, o que fortalece a justificativa desta questão. Para confirmar o aspecto relevante do que foi exposto na frase anterior, os alunos 5 e 16 citaram a *“estrela Dalva”* como exemplo de estrela. Porém, sabemos que, apesar

do nome, não se trata de uma estrela, e sim do planeta Vênus, que, a olho nu, apresenta aparência semelhante a de uma estrela de brilho intenso.

O aluno 4 citou como exemplo uma estrela cadente. Contudo sabemos que as popularmente denominadas "estrelas cadentes", não são estrelas de verdade, mas apenas meteoros: pequenos objetos que, ao penetrarem na atmosfera terrestre, ficam incandescentes e brilhantes, devido ao atrito com o ar, nos dando a impressão de ser uma estrela que cai.

Durante a intervenção, considerando essas respostas iniciais, tomei o cuidado de refazer estes conceitos buscando desenvolver subsunçores adequados a uma aprendizagem significativa. A maior parte dos alunos avaliados, usou os termos "possui luz própria" e "não possui luz própria" para diferenciar o planeta das estrelas, mostrando possuírem, aparentemente, subsunçores relevantes para compreender os assuntos magnitude de uma estrela, luminosidade e fluxo de luz.

O Sol foi o exemplo de estrela mais citado, porém tivemos o aluno 11 que citou, na avaliação Q2, além do Sol, Andrômeda, uma galáxia, confundida, por este aluno, com uma estrela. Gostaria de encerrar a análise desta questão, destacando o rico conhecimento demonstrado pelo aluno 2, a respeito da produção de energia no núcleo de uma estrela. Sua resposta ultrapassou o conhecimento esperado para um aluno do Ensino Médio. Ao responder Q1, este aluno escreveu: *"Uma estrela é um corpo massivo formado por hidrogênio que colide estes átomos em alta velocidade através de enorme aceleração de sua gravidade formando hélio e gerando energia liberada em forma de luz e calor. Já os planetas são compostos por muitos materiais mas mesmo assim, não possuem tanta massa nem liberam tanta energia. Ex: Sol."*

11) O que é uma galáxia? Cite um exemplo.

Um dos tipos de objetos de estudo desta UEPS são as galáxias. Durante a intervenção, seria discutida a sua distância até nós, seus componentes e a expansão das distâncias entre elas, em consequência da expansão do Universo. O objetivo desta questão foi verificar se o conceito de galáxia estava disponível na estrutura cognitiva dos alunos avaliados.

A maioria reconhece galáxia como sendo um aglomerado ou um conjunto de estrelas e planetas. Sabemos que não é simples assim, mas já se percebe a existência dos

subsunçores adequados, aos quais poderia ser feita a ancoragem dos novos conhecimentos e que poderiam ser desenvolvidos e diferenciados. Quanto aos exemplos, a Via Láctea foi o mais citado. Na avaliação Q2, os alunos 8, 12 e 22 citaram também Andrômeda, demonstrando um enriquecimento de suas concepções iniciais após a realização da intervenção.

12) Quando olhamos o céu noturno, observamos que a Lua se apresenta muito maior do que as estrelas. Ela é, de fato, maior do que as estrelas? Sim ou não? Se você respondeu não, justifique.

O objetivo desta questão é verificar se o aluno possui disponível, em sua estrutura cognitiva, os subsunçores aos quais o novo conceito de paralaxe heliocêntrica seria ancorado. Devido ao movimento da Terra em torno do Sol, uma estrela mais próxima seria vista, ao longo do ano, em posições diferentes em relação às estrelas mais distantes, que serviriam como fundo de referência. A paralaxe heliocêntrica então é definida como sendo o ângulo, com vértice na estrela, dentro do qual se observaria a unidade astronômica de distância (Figura 8). Quanto mais distante de nós a estrela estiver, menor será sua paralaxe heliocêntrica (slide 5 da seção B.4). Um dos subsunçores necessários à apropriação deste conceito, diz respeito ao tamanho aparente dos astros ou tamanho angular. Quanto mais distante um astro estiver da Terra, menor será o seu tamanho aparente e menor será a sua paralaxe heliocêntrica. Com o objetivo de verificar se este subsunçor fazia parte da estrutura cognitiva dos alunos avaliados, elaborei esta questão esperando como resposta: a Lua parece maior porque está mais próxima de nós do que as estrelas.

Dos alunos avaliados, 13 atenderam as minhas expectativas nas duas avaliações. Os alunos 18 e 19 deixaram a avaliação Q1 em branco mas responderam corretamente na avaliação Q2. A presença deste subsunçor facilitou a compreensão por parte dos alunos, do método da triangulação ou paralaxe, pois a maior parte já possuía os conceitos prévios necessários à sua assimilação.

13) Um estudante disse que muitas estrelas que vemos hoje no céu, já não existem mais. Será que ele está certo? Por quê?

A medida que a distância de um astro até nós vai ficando maior, novas técnicas precisam ser implementadas para a determinação destas distâncias. O método das variáveis Cefeidas e a Lei de Hubble são exemplos destas técnicas. Ao olharmos para o céu, estamos vendo o seu passado, pois a luz que parte de astros muito afastados leva milhares de anos para chegar até nós. Ao elaborar esta questão, tive como objetivo verificar o conhecimento que o aluno tem a respeito deste assunto antes de apresentar as técnicas mais elaboradas para determinar as distâncias em Astronomia. Dos alunos avaliados, oito responderam corretamente às duas avaliações. Sete cometeram erros ou deixaram de responder à avaliação Q1, mas responderam corretamente à avaliação Q2. As respostas dadas por estes alunos nos mostra que há indícios de que, talvez, tenha ocorrido uma aprendizagem significativa a respeito deste tema. Observe a mudança nas concepções iniciais do aluno 20. Este aluno respondeu na avaliação Q1:

“Não, pois a poluição acaba impedindo de vermos as estrelas no céu”.

Já na avaliação Q2, ele respondeu:

“Sim, pois mesmo que já não existam, a luz viaja a anos-luz até nós”.

Note que ele diz apenas que a luz viaja uma grande distância, mas não completa afirmando que, então, ela levará muito tempo para fazer a viagem e, talvez, a estrela já tenha morrido. Em sua resposta, parece que o aluno confunde o ano-luz com uma unidade de tempo. Observamos aqui um indício de que, possivelmente, houve uma aprendizagem, porém não podemos afirmar de que esta foi significativa. O aluno 18 avançou um pouco mais em relação ao seu colega. Este aluno não respondeu Q1, mas, em Q2, ele deu uma resposta mais completa:

“Sim. Porque, pela distância, a luz da estrela demora muito até nos alcançar. Quando ela nos alcança, a estrela já pode ter morrido”.

Sua resposta mostra, mais uma vez, um enriquecimento do conceito subsunçor que, no caso, trata-se do tempo que a luz precisa gastar, a partir das estrelas mais longínquas, para percorrer as grandes distâncias que as separam de nós, caracterizando uma diferenciação progressiva.

3.2.3 Conclusões

A pergunta que precisa ser respondida após a análise das respostas dadas às treze questões aplicadas no questionário Q1 e repetidas no questionário Q2 é: esta UEPS foi ou não capaz de proporcionar aos alunos investigados uma aprendizagem significativa? Descobrir se houve ou não uma aprendizagem significativa da sequência didática aplicada aos estudantes faz parte do objetivo de pesquisa desta dissertação.

É importante frisar que as informações colhidas ao longo dos dois projetos propostos não foram suficientes para que pudéssemos afirmar, categoricamente, se houve ou não uma aprendizagem significativa. Outros parâmetros devem ser acrescentados em futuras aplicações desta UEPS. Um destes parâmetros seria a realização de uma entrevista com os alunos. Uma conversa particular com cada aluno poderia permitir uma melhor avaliação se houve ou não uma aprendizagem significativa, a partir de perguntas previamente formuladas para esta finalidade. Uma pergunta que poderia ser feita em uma entrevista seria: *“Cite algumas unidades para medidas de distâncias que você aprendeu ao longo do curso?”*. Quando o aluno responde a esta pergunta, citando pelo menos uma das unidades apresentadas na aplicação do projeto, como por exemplo a UA (unidade astronômica), é possível perceber um enriquecimento do conceito subsunçor, uma diferenciação progressiva que é uma importante característica da aprendizagem significativa. Porém, é possível dizer que foram detectados vários indícios de que pode ter havido uma aprendizagem com esta característica. Na questão 8, por exemplo, quando perguntou-se o conceito de ano-luz, metade da turma (11 alunos), respondeu corretamente a esta questão, tanto antes quanto depois da intervenção (gráfico 10), ou seja, metade da turma demonstrou conhecer o conceito científico de ano-luz. Porém, tivemos 4 alunos que interpretaram a unidade ano-luz como uma unidade de tempo e não de distância. Isto significa que a ocorrência de uma aprendizagem significativa deve ser analisada individualmente, para cada aluno, devido às diferenças cognitivas existentes entre eles. Uma entrevista permite analisar cada caso isolado.

De um modo geral, é importante destacar os pontos positivos da aplicação do “Projeto Escola Viva”. A receptividade por parte dos alunos, o interesse que a maioria demonstrou pelos assuntos apresentados, a existência de um aluno do terceiro ano que teve o seu desejo de tornar-se um físico reforçado ao debruçar-se sobre o material de estudos deste projeto, o aperfeiçoamento que o projeto proporcionou à minha

carreira como professor de Física e, principalmente, a oportunidade que eu tive de testar e aperfeiçoar parte do texto paradidático em que venho trabalhando nestes últimos anos.

Como pontos negativos desta aplicação, destaco o fator esquecimento detectado nas respostas de alguns questionários, o que mostra que a UEPS ainda carece de aperfeiçoamento em muitos de seus aspectos, principalmente naquilo que diz respeito aos subsunçores sem os quais o estudante não conseguirá apropriar-se das mais diversas técnicas para medir distâncias em Astronomia. A unidade radiano, a identificação dos elementos de um triângulo retângulo, os conceitos de onda e ano-luz são alguns conteúdos que necessitam ser mais bem tratados em futuras aplicações desta UEPS. Destaco também que, ao corrigir a avaliação Q1, fiz um levantamento dos pontos que deveriam ser reforçados durante a intervenção. Porém, não dei a ênfase necessária a estes pontos durante a aplicação. Muito preocupado com o tempo disponível para concluir cada encontro, acabei negligenciando esta ênfase. Esta atitude acabou contribuindo, em parte, para a ocorrência do fator esquecimento verificado durante a aplicação da avaliação Q2. Todos nós, quando vamos aplicar pela primeira vez um projeto, ainda não temos a experiência necessária que só é adquirida após futuras reaplicações. É com os erros que conseguimos alcançar resultados mais sólidos e consistentes em nossas atividades. Ausubel já havia me alertado: “descubra aquilo que o aluno já sabe e ensine-o de acordo”. Em futuras aplicações, mesmo com a escassez de tempo, vale a pena deter-se nos subsunçores carentes na estrutura cognitiva dos alunos e só passar para o tópico seguinte quando este subsunçor estiver bem reforçado. Se tivesse seguido rigorosamente aquilo que Ausubel nos ensina, certamente não haveria alunos confundindo a unidade ano-luz, que é uma unidade para medir distâncias, com unidade de tempo ou de velocidade.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Passo, agora, a fazer algumas considerações a respeito do desenvolvimento deste trabalho.

A primeira destas considerações é o fato de não ter sido possível a realização da entrevista, prevista como fechamento do projeto desta dissertação. Os alunos avaliados realizaram as avaliações finais e entraram em férias. Além disso, a escola entrou em obras, o que impossibilitou a realização desta última atividade. Porém, os resultados colhidos após a análise das respostas aos questionários Q1 e Q2 nos mostrou a presença de indícios que parecem indicar uma grande dificuldade em se promover uma aprendizagem significativa para toda a população de alunos participantes desta parte do projeto.

À guisa de comparação, é importante frisar que a turma investigada na primeira parte desta UEPS aplicada em Guarapari, era formada por alunos do primeiro ano do Ensino Médio, todos aproximadamente com o mesmo nível de conhecimento, facilitado pelo fato de a maioria já vir estudando na mesma sala, desde as séries iniciais do Ensino Fundamental. Já a turma da Escola Viva, para a qual foi aplicada a segunda parte da UEPS, era bem heterogênea, formada por alunos das três séries do Ensino Médio. Nem todos possuíam, previamente disponíveis em sua estrutura cognitiva, os conceitos, relevantes necessários à obtenção de uma aprendizagem significativa. O conceito de radiano e noções básicas de geometria plana, como, por exemplo, o domínio das razões trigonométricas no triângulo retângulo, são exemplos de subsunçores ainda ausentes identificados pela aplicação do questionário Q1 aos alunos do Projeto Escola Viva. Trabalhar com uma turma mais homogênea, como ocorreu em Guarapari, facilitou bastante a aplicação da sequência didática. Ressalto também que a não obrigatoriedade de resolver as atividades em casa, compostas por exercícios já resolvidos e exercícios de fixação colocados estrategicamente ao longo da sequência didática, com o intuito de fortalecer a assimilação dos conteúdos, fez com que muitas informações ficassem perdidas ao longo do processo. Esta parece ter sido uma das causas para a ocorrência do fator esquecimento, já mencionado na análise das respostas aos questionários.

Durante a aplicação do Projeto Escola Viva, também percebi uma falta de interesse por parte de alguns alunos pelo assunto apresentado. Vale a pena refletir um pouco

sobre este fato, o qual considero de elevada importância para o sucesso de futuras edições deste projeto. Afinal de contas, a disciplina não era obrigatória, os alunos a escolheram voluntariamente. Sabemos também, e isto foi mencionado na introdução deste trabalho, que Astronomia é um assunto que desperta a curiosidade e o interesse dos estudantes. Então, por que a falta de interesse que alguns alunos demonstraram ao longo das atividades?

O objetivo principal das disciplinas eletivas propostas pela Escola Viva é fugir do lugar comum: o uso do quadro e do giz, ou seja, das aulas apenas expositivas. A aula, em uma disciplina eletiva, deve ser motivadora, prendendo a atenção do estudante. Deve privilegiar atividades mais práticas que, de preferência, retirem o aluno da sala de aula e o levem para um ambiente no qual o aprendizado se torne mais prazeroso. Isto ocorreu no Projeto Eratóstenes, mas não no Projeto Escola Viva. A sequência didática proposta neste segundo trabalho foi apresentada através de uma exposição bastante teórica e matemática, insuficiente para atrair a atenção da maioria dos alunos, principalmente daqueles que trazem uma dificuldade natural em disciplinas que exigem a realização de cálculos. Se faz necessário, em futuras edições deste projeto, enriquecer esta sequência didática com atividades mais práticas, que propiciem momentos mais participativos por parte dos alunos. Com relação à utilização de vídeos motivadores, eu usei apenas um vídeo, e isto é muito pouco. É preciso criar atividades e experimentos novos que estimulem a participação ativa e a criatividade destes alunos.

Agora, mesmo com todo o cuidado que se tenha no planejamento da sequência didática, é possível que não consigamos alcançar 100% dos nossos alunos. A experiência adquirida ao longo de muitos anos regendo uma sala de aula me ensinou que não importa o quanto a aula seja divertida e rica de estratégias pedagógicas, o coração de muitos alunos é terra que o professor as vezes não consegue andar. Em algumas ocasiões, fatores estranhos ao professor, relacionados com a vida privada do aluno, são parâmetros imprevisíveis que podem causar o chamado escapismo em sala de aula. Ocorrendo isto, aproxime-se de seu aluno. Converse com ele. Use sua experiência para descobrir o que está havendo. Seja amigo do seu estudante. Muitas vezes, uma boa conversa é tudo que se precisa para resgatar o interesse daquele jovem que se mostra arreado, irritado ou desinteressado pelos assuntos que você está tentando ensinar em suas aulas.

De um modo geral, a intervenção não foi capaz de prover alguns dos alunos avaliados dos conceitos mais gerais e inclusivos tão importantes para uma efetiva ligação com os novos conceitos, mais específicos, apresentados pela sequência didática. Esta ligação é essencial em um processo de assimilação dos conteúdos, pois esta ponte cognitiva produz um enriquecimento do conceito subsunçor, enriquecimento este chamado por Ausubel de diferenciação progressiva. Esta diferenciação foi identificada nas respostas de vários alunos aos questionários do Projeto Escola Viva. Repito aqui que a excessiva preocupação de concluir o cronograma dentro do tempo disponível em cada encontro deste projeto, fez com que não fosse dada a ênfase necessária aos conceitos subsunçores essenciais à compreensão das técnicas para medir distâncias colhidos após a correção da avaliação Q1. Isto acabou influenciando de forma negativa nos resultados da avaliação Q2.

Outros fatores totalmente imprevisíveis que ocorreram ao longo da intervenção impediram que se alcançasse o êxito esperado. A saída de uma escola, a mudança da população de alunos avaliados, a mudança da realidade pedagógica (parte do projeto foi realizado com alunos da rede particular de ensino, e parte com alunos da rede pública de ensino) e o fato de não ser membro da equipe de professores da escola, onde a parte mais importante da UEPS foi aplicada, influenciaram no resultado final desta pesquisa. O tempo de aplicação dos dois projetos também merece uma análise mais profunda. Quanto maior for o número de aulas disponíveis à aplicação dos projetos, mais tempo teria o professor para reforçar os conceitos subsunçores necessários a uma boa aprendizagem dos conteúdos.

Os encontros foram programados de acordo com a disponibilidade permitida pelo programa da disciplina Matemática II, no caso do Projeto Eratóstenes, e da disciplina eletiva, no caso do Projeto Escola Viva. No Centro Educacional Charles Darwin, a necessidade de cumprir o cronograma de ensino influenciou no cronograma de aplicação do Projeto Eratóstenes. No Darwin de Guarapari, as avaliações são unificadas para toda a rede Darwin do Espírito Santo. Se houver atraso no programa, poderá haver questões na prova cujo conteúdo não foi ensinado. No caso do Projeto Escola Viva, o fator tempo não seria um problema para um professor dono da cadeira. Este professor teria a chance de planejar a aplicação do projeto com mais antecedência e poderia dispor de um número maior de encontros, de modo que os conhecimentos prévios necessários fossem reforçados com mais segurança. Concluo

este parágrafo dizendo que os projetos foram planejados e executados de forma completa sem atraso nos cronogramas, mas uma reserva maior de encontros seriam essenciais para a eficácia de suas aplicações no que diz respeito ao objetivo principal que é alcançar uma aprendizagem significativa do tema “medidas de distâncias em Astronomia”.

Numa reaplicação destes projetos em um futuro próximo, além dos fatores já mencionados no início destas considerações finais, seria importante, com base naquilo que foi exposto no parágrafo anterior, a confecção de um cronograma que permita a realização destes dois projetos durante um ano letivo. As atividades poderiam ser distribuídas ao longo dos bimestres ou trimestres letivos, adaptando os conteúdos ao cronograma da disciplina. Quero frisar que, na verdade, tratamos aqui de um único projeto dividido em duas etapas, daí a sugestão de distribuir as atividades ao longo de um ano letivo. Lembro ainda que, nas escolas da rede particular de ensino, este cronograma é bastante rígido se comparado a uma escola de horário integral da rede pública, do tipo “Escola Viva”, onde se pode criar uma disciplina específica para assuntos que, normalmente, não fazem parte dos programas oficiais do Ensino Básico, muito voltado para o vestibular/ENEM.

Um cuidado que, com certeza, tomaria ao reaplicar este projeto diz respeito à forma de ensino dos conteúdos. Neste sentido, evitaria aulas totalmente expositivas. A criação de experimentos capazes de promover uma maior participação do aluno tornaria as aulas menos cansativas e mais interessantes. A elaboração dos questionários também receberia, de minha parte, uma atenção mais cuidadosa.

Uma das coisas que eu evitaria, seria criar questões cujas respostas dependam de memorização. Em uma próxima aplicação, pretendo não utilizar questões semelhantes às quatro primeiras do questionário apresentado no apêndice B2 do Projeto Escola Viva. Estas questões estão muito mais relacionadas a uma aprendizagem mecânica do que a uma aprendizagem significativa.

Outro cuidado que deve ser tomado, ao elaborar as questões, é construir perguntas que sejam claras e que possam ser bem interpretadas pelos alunos. Ao elaborar a questão nº 3 do questionário aplicado no Projeto Escola Viva, pedi aos alunos que escrevessem as razões trigonométricas de 30° utilizando o triângulo retângulo construído na questão nº 2. Alguns alunos em vez de escreverem as frações b/a , c/a

e b/c, escreveram os valores do seno, cosseno e tangente de 30° . Se a pergunta fosse: “*Escreva as razões trigonométricas usando as letras a, b e c que representam os lados do triângulo retângulo*”, talvez os alunos não tivessem trocado as frações pelos valores.

Ao elaborar a pergunta é fundamental termos em mente o objetivo que pretendemos alcançar. O processo de assimilação exige ligar conceitos mais específicos a conceitos mais gerais ou inclusivos existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. É muito mais fácil verificar se houve ou não assimilação de um conteúdo ao analisar a resposta de um aluno quando temos bem estabelecidos os objetivos gerais e específicos do assunto que será cobrado na pergunta.

No mais, fico profundamente gratificado com a acolhida que recebi por parte dos alunos a este projeto e ao aprendizado que eles me proporcionaram, que resultou em um valioso enriquecimento da minha experiência profissional. Sinto-me, agora, um professor muito mais completo e consciente daquilo que devo realizar para que o meu aluno alcance uma aprendizagem significativa em Física. Quando elaborei o projeto piloto aplicado no Centro Educacional Charles Darwin de Guarapari, eu estava no início do curso e ainda não tinha estudado o suficiente a Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel. Sabia que ela se encaixava muito bem nas minhas concepções prévias daquilo que um professor deveria realizar para que o aluno aprendesse Física, contudo me faltava o conhecimento teórico da importância dos subsunçores. Da importância de descobrir aquilo que o aluno já sabe. Elaborar uma aula buscando preencher as lacunas que impedem irmos para águas mais profundas no ensino dos conteúdos.

Devido aos muitos anos como professor de Pré-Vestibular, a minha forma de ensinar estava muito voltada para uma aprendizagem mecânica dos conteúdos. Valorizava demais o uso de fórmulas para resolver problemas em detrimento do ensino da velha Física, na qual é de fundamental importância compreender primeiro o fenômeno físico, para só depois pensar nos aspectos matemáticos deste fenômeno.

A ausência deste pré-requisito tirou um pouco da eficácia da primeira parte da UEPS, a qual chamei de Projeto Eratóstenes. Quando elaborei o Projeto Escola Viva, já estava mais experiente no uso da teoria proposta por Ausubel. Já tinha me apropriado com mais clareza do referencial teórico e pude elaborar um projeto que se aproximou

mais daquilo que consideramos ideal para a ocorrência de uma aprendizagem significativa.

Aconselho aos professores que forem usar este material: 1º) estabeleçam inicialmente os objetivos que devem ser alcançados na aula; 2º) identifiquem os subsunçores necessários; 3º) verifiquem se eles estão presentes na estrutura cognitiva dos alunos e, caso haja lacunas, preenche-as antes de partir para o conteúdo; 4º) ensinem fazendo pontes cognitivas ao longo da aula, entre aquilo que o aluno já sabe e aquilo que ele precisa aprender, se necessário, use organizadores prévios; 5º) ensine questionando o aluno de modo que ele participe da aula. A aula deve ser construída com a parceria do aluno, sem ela, torna-se muito difícil para o aluno alcançar uma aprendizagem significativa.

Em resumo, descubra aquilo que o aluno já sabe, ensina Ausubel, e o ensine de acordo. Este foi o maior e mais importante ensinamento que levo deste mestrado. Diagnosticar os subsunçores disponíveis na estrutura cognitiva dos alunos passou a ser uma tarefa obrigatória todas as vezes que vou introduzir conceitos novos, seja no Ensino Médio, seja no Ensino Superior. Isto tem tornado as minhas aulas muito mais atrativas, em um mercado cada vez mais exigente quanto a novos métodos de ensino, principalmente na área das ciências e, em especial, do Ensino de Física.

Quando iniciei a minha carreira de professor, ensinava com paixão, porém de forma amadora. Por não possuir um curso de licenciatura, me faltava o conhecimento das diversas teorias de aprendizagens que, se seguidas, facilitam o aprendizado dos estudantes. A licenciatura em Física e o mestrado profissional vieram complementar esta minha carência. Deixo de ser um professor amador e passo a ser um profissional da educação, preocupado com as inovações proporcionadas pelos novos métodos de ensino, buscando deixar um legado que será de muita valia para outros educadores.

Além dos fatores positivos acima citados, entre eles a melhora ocorrida no aspecto didático de minhas aulas, a confecção de um material que, se aperfeiçoado, poderá se tornar potencialmente significativo, gostaria de destacar a possibilidade que o mestrado me ofereceu de testar e aperfeiçoar parte de um texto paradidático no qual venho trabalhando nestes últimos anos. No cumprimento desta meta, darei continuidade à elaboração deste escrito paradidático, que serviu de pilar essencial ao presente trabalho, o qual conta a história da Astronomia, desde a Mesopotâmia até os

nossos dias. A existência deste texto em desenvolvimento, iniciado em minha monografia de final de curso, foi essencial para a elaboração e desenvolvimento das sequências didáticas aplicadas nos projetos Eratóstenes e Escola Viva.

Finalmente, espero com este trabalho, ter contribuído para tornar o ensino de Física muito mais prazeroso, não só para os alunos, mas também para todos aqueles que, como eu, são apaixonados por ensinar.

REFERÊNCIAS:

AUSUBEL, D. P. **Educational Psychology: a cognitive view**. Nova York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.

AUSUBEL, D.P. **Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma perspectiva cognitiva**. Lisboa: Plátano, 2003.

AUSUBEL, D. P. NOVAK, J.D. & HANESIAN. **Psicologia Educacional**. Rio de Janeiro: Interamericana Ltda, 1980.

BOCZKO, Roberto. **Conceitos de Astronomia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1984.

BARROW, JOHN D. **A Origem do Universo**. Rio de Janeiro: Rocco, 1995.

CÂMARA, Airtón Lugarinho de Lima. **Introdução à Astronomia do Sistema Solar**. São Paulo: Editora Brasiliense, 1985.

FARIA, Romildo Póvoa (Org). **Fundamentos de Astronomia**. Campinas: Papyrus, 1987.

FRÓES, André Luís Delvas. Astronomia, astrofísica e cosmologia para o ensino médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 36, n. 3, 3504, 2014.

GROUEFF, Stéphane; CARTIER, Jean-Pierre. **O Enigma do Cosmo**. Rio de Janeiro: Primor, 1978. 169 p.

GINGERICH, OWEN. **O Livro que Ninguém Leu**. Rio de Janeiro: Record, 2008.

GREENE, BRIAN. **O Universo Elegante: Supercordas, Dimensões Ocultas e a Busca da Teoria Definitiva**. São Paulo: Companhia das Letras, 2001.

HAWKING, STEPHEN. **O Universo Numa Casca de Noz**. São Paulo: Arx, 2002.

HAWKING, S.W. **Uma Nova História do Tempo**. Rio de Janeiro: Ediouro, 2005.

KUHN, THOMAS S. **A Revolução Copernicana**. Rio de Janeiro: Edições 70, 1957.

MARAN, STEPHEN P. **Astronomia para leigos**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2011.

MATSUURA, Oscar T. **Cometas: do Mito à Ciência**. São Paulo: Ícone Editora Ltda, 1985.

MORAIS, Antônio Manuel Alves. **Supernovas e Cosmologia**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2009.

MORAIS, Antônio Manuel Alves. **Gravitação e Cosmologia: Uma Introdução**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2010.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999a.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa**. Brasília: Editora da UnB, 1999b.

MOREIRA, M. A. **Unidades de Ensino Potencialmente Significativas**. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~moreira/UEPSport.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

MOREIRA, M. A. Organizadores Prévios e Aprendizagem Significativa. **Revista Chilena de Educación Científica**, vol. 7, nº. 2, 2008. Disponível em: <<http://moreira.if.ufrgs.br/ORGANIZADORESport.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2017.

MOURÃO, Ronaldo Rogério de Freitas. **O Universo Inflacionário**. Rio de Janeiro: Livraria Francisco Alves Editora S/A, 1983.

NOVELLO, Mário. **Do Big Bang ao Universo Eterno**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2010.

OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. **Astronomia e Astrofísica**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2004.

PANCK, Richard. **De que é Feito o Universo**. Rio de Janeiro: Zahar, 2014.

PICAZZIO, Enos, Org. **O céu que nos envolve: introdução à Astronomia para educadores e iniciantes**. São Paulo: Odysseus Editora, 2011.

POTTER, Christopher. **Você Está Aqui: Uma História portátil do Universo**. São Paulo: Companhia das Letras, 2010.

PROJETO ERATÓSTENES BRASIL. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/projetoerato>>. Acesso em: 27 out. 2017.

ROONEY, Anne. **A História da Física**. São Paulo: M. Books do Brasil Editora Ltda, 2013.

SEIFE, Charles. **Alfa e Ômega: A Busca Pelo Início e o Fim do Universo**. Rio de Janeiro: Rocco, 2007.

SINGH, Simon. **Big Bang**. Rio de Janeiro: Editora Record, 2000.

SILVA, Thiago Pereira da. **Nossa posição no Universo: Uma Proposta de Sequência Didática para o Ensino de Astronomia no Ensino Médio**. 2015. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física – Mestrado Profissional, Centro de Ciência Exatas da Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2015.

STELLARIUM. Software livre do tipo planetário. Disponível em: <<http://stellarium.org/pt/>>. Acesso em 18 dez 2017.

TOLENTINO NETO, Luiz Caldeira Brant de. **Os Interesses de Jovens Alunos Frente às Ciências: Resultados do Projeto Rose Aplicado no Brasil**. 2008. 172 p. Tese de Doutorado. Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

VERDET, JEAN-PIERRE. **Uma História da Astronomia**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed, 1991.

WIKIPEDIA. **Powers of Ten**. Disponível em: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Powers_of_Ten_\(film\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Powers_of_Ten_(film))>. Acesso em: 18 dez. 2017.

APÊNDICE A
PROJETO ERATÓSTENES

INTRODUÇÃO

A sequência didática aqui apresentada teve como pilar principal a adaptação da famosa técnica usada pelo matemático e geômetra grego Eratóstenes (276-194 a.C.) por meio da qual conseguiu medir, no século III a.C., a circunferência da Terra e, por consequência, encontrar o seu raio. Grande parte do material apresentado neste trabalho foi extraído do livro paradidático, sobre medidas de distâncias em Astronomia, que venho desenvolvendo desde minha monografia de final de curso. A sequência aqui proposta é baseada na que foi implementada, de forma piloto, durante a execução do projeto associado à presente dissertação, porém já incorpora algumas correções e aprimoramentos com base na experiência desta aplicação piloto.

A sequência envolve uma série de atividades na sala de aula e extraclasse, tais como o uso de dois *softwares*, o *Stellarium* e o *Google Earth*, bem como a medida da sombra produzida por uma vareta com 80 cm de comprimento ao meio-dia solar.

Inicialmente, houve a aplicação de uma “Avaliação Diagnóstica”, apresentada na seção A.2, que consistiu numa série de seis perguntas, cinco delas de múltipla escolha e uma aberta, envolvendo a realização de um cálculo para determinação do raio da Terra, destinadas a verificar os conhecimentos prévios dos alunos, de modo a verificar se eles já tinham noção de alguns conceitos básicos necessários à compreensão do método de Eratóstenes, conceitos estes relacionados ao tema principal, tais como:

1. Arcos e ângulos em uma circunferência;
2. Unidades de medidas de arcos e ângulos;
3. Operações de adição, subtração, multiplicação e divisão no Sistema Sexagesimal;
4. Expressão que fornece a relação entre o raio e o perímetro de uma circunferência.

Ao final, foi realizada uma nova avaliação, que denominamos de "Avaliação Recursiva", novamente com seis questões, cinco de múltipla escolha e uma aberta, equivalentes e envolvendo a aplicação dos mesmos conceitos que as questões da Avaliação Diagnóstica, porém distintas delas.

Busca-se, por meio da sequência didática, explorar os aspectos interdisciplinares entre a Matemática, a Física e a Astronomia, através de uma integração e articulação entre as atividades realizadas em sala de aula e também extraclasse, de modo que as mesmas se complementem no intuito de promover uma aprendizagem significativa do método proposto por Eratóstenes.

A.1 SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE A MEDIDA DO RAIOS DA TERRA

A proposta de sequência didática aqui apresentada foi pensada para ser desenvolvida ao longo de seis aulas de 50 minutos, como na aplicação piloto. Abaixo apresento resumidamente, as atividades a serem desenvolvidas em cada uma destas aulas:

- A) **Primeira aula:** Apresentação das etapas do projeto e aplicação da avaliação diagnóstica (seção A.2) para colher as concepções prévias dos alunos;

- B) **Segunda aula:** Apresentação do capítulo “Ângulos na Circunferência” e elaboração do roteiro que seria utilizado para determinar o raio da Terra, conforme descrito na seção 3.1.1 da dissertação, na parte referente à segunda aula, tendo, também, como referência o texto sobre os cálculos de Eratóstenes e Aristarco, apresentado na seção A.5 deste apêndice;
- C) **Terceira aula:** Apresentação detalhada do método geométrico, semelhante ao utilizado por Eratóstenes, para determinar a circunferência da Terra a partir da medida de sombras projetadas por hastes verticais ao meio-dia solar em cidades distintas situadas no mesmo meridiano terrestre, conforme descrito na seção 3.1.1 da dissertação, na parte referente à terceira aula;
- D) **Quarta aula:** Apresentação do *Stellarium*, programa computacional que simula o céu noturno e do *Google Earth*. Estes dois programas fornecem as coordenadas geográficas dos pontos escolhidos, a distância entre estes dois pontos e o horário em que deve ser realizada a medição da sombra da haste. As atividades do *Stellarium*, apresentadas na seção A.3, podem ser propostas para que os alunos treinem o uso de seus principais comandos. Deve ser solicitado aos alunos que instalem o programa em seus computadores pessoais, de modo que possam exercitar este *software* em casa. A intenção, com esta atitude, é acelerar o processo de assimilação da metodologia que deve ser apresentada em sala de aula;
- E) **Quinta aula:** Munidos de um kit formado por uma haste de 80 cm, uma fita métrica e um fio de prumo, os alunos devem realizar as medições da sombra no pátio da escola no horário do meio-dia solar. O cálculo do raio a partir dos dados colhidos deve ser realizado em casa pelo aluno, e o memorial deste cálculo deve ser entregue na aula seguinte.
- F) **Sexta aula:** Nesta aula pode-se aplicar uma segunda avaliação, como a apresentada na seção A.4, com o intuito de verificar se houve ou não aprendizagem por parte dos alunos.

A apresentação da sequência didática, no que diz respeito à sua estrutura, não deve ser encarada de forma rígida. Os eventuais professores da Educação Básica interessados em aplicá-la podem adaptar as atividades apresentadas ao contexto da realidade da sua escola e região. Inclusive já existe, no Brasil, por iniciativa da Comissão de Ensino e Divulgação da Sociedade Astronômica Brasileira, o "Projeto Eratóstenes Brasil", que reproduz, a cada ano, o experimento de Eratóstenes em conjunto com escolas do Brasil e do mundo. Dessa forma, a reprodução deste experimento, além de divulgar a importância histórica do mesmo para a ciência, ainda pode trazer uma rica experiência interdisciplinar e intercultural para professores e alunos. Nas referências deste apêndice, o professor interessado poderá consultar o site que recebe inscrições de escolas interessadas em participar do projeto (PROJETO ERATÓSTENES BRASIL, acesso em: 19 dez. 2017).

Nas seções a seguir é apresentado o material didático e de apoio a ser utilizado na aplicação desta sequência.

A.2 AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA

PROFESSOR: Carlos Augusto Ferreira

NOME:

TURMA:

- 1) Quando dividimos o comprimento de um arco pelo raio da circunferência que contém este arco, encontramos:
 - F) O ângulo central na unidade graus;
 - G) O ângulo central na unidade radianos;
 - H) O comprimento da circunferência;
 - I) O valor de π ;
 - J) Nada se pode afirmar.

- 2) O valor da expressão numérica abaixo é:
 $2 \times 63^{\circ}42'32'' - 90^{\circ} =$
A) $33^{\circ}08'36''$ B) $35^{\circ}12'40''$ C) $37^{\circ}25'04''$ D) $31^{\circ}07'36''$ E) $32^{\circ}09'23''$.

- 3) Em um determinado dia deste ano, o Sol nasceu às 5h 36min e se pôs às 17h 58min. Com estas informações, determine o instante em que ocorre o “meio dia solar”.
A) 12h52min B) 11h47min C) 12h52min D) 11h59min E) 12h20min.

- 4) Em uma circunferência de raio 18 cm, determine o comprimento do arco cujo ângulo central mede 120° . Use $\pi = 3$.
A) 24 cm B) 40 cm C) 36 cm D) 52 cm E) 60 cm.

- 5) Uma composição ferroviária descreve uma curva de modo que, a cada 100 metros, o ângulo central varia de 10° . O valor do raio desta curva em metros é:
A) 600 B) 800 C) 1200 D) 400 E) 90

- 6) Eratóstenes nasceu em Siena na Grécia e morreu em Alexandria no Egito aproximadamente no séc. III a.C. Ele era bibliotecário chefe da famosa biblioteca de Alexandria, e foi lá que ele encontrou, num velho papiro, indicações de que, ao meio dia de cada 21 de Junho, solstício de verão, na cidade de Siena, um poço era iluminado até o fundo, não produzindo sombra. Isto indica que o Sol estava bem na direção vertical. Em compensação, em Alexandria, situada a 5.000 estádios de Siena, a sombra de um obelisco, medida neste mesmo dia de solstício, indicava um ângulo de $7,2^{\circ}$ entre a direção de incidência dos raios solares e a vertical (veja a Figura 1). Utilize

este ângulo e a distância atual entre Siena e Alexandria, de 800 Km, para encontrar o valor do raio da Terra.

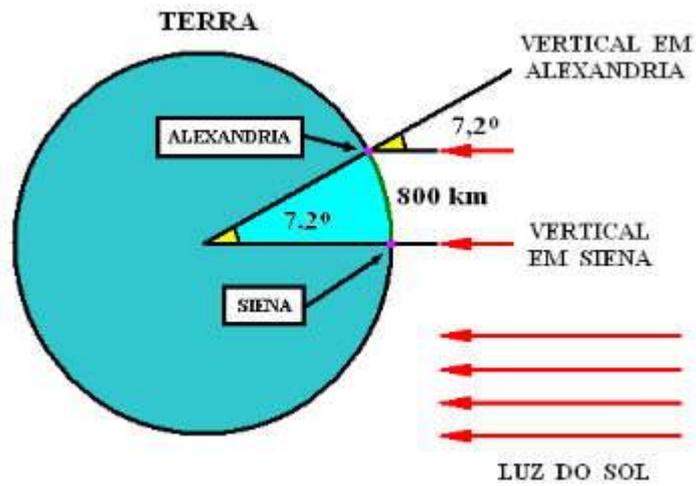


Figura 1: Comparação entre a incidência dos raios solares em Siena e Alexandria feita por Eratóstenes. Fonte: <<http://www.deviant.com.br/noticias/ciencia/astronomia-sem-telescopio/>>

A.3 ATIVIDADES DO *STELLARIUM*

ATIVIDADES PARA USO DO STELLARIUM (Prof. Carlos Augusto Ferreira)

ATIVIDADE 1

MINIMANUAL DE USO:

- 11) Abra o programa;
- 12) Existe 2 barras de menu (embaixo e lateral esquerda);
- 13) Clique na opção “Localização” do menu à esquerda para abrir a janela de localização e situe a localidade na qual você está;
- 14) Para alterar o campo de visão use o botão esquerdo do mouse e arraste-o;
- 15) Para fazer zoom use Page Up/down;
- 16) Botão esquerdo clicado em uma estrela aparece informações sobre ela. Botão direito clicado some informações;
- 17) Com o objeto marcado, tecle espaço e o campo de visão será centralizado no objeto;
- 18) Para fazer zoom num objeto marcado tecle / e \;
- 19) Na barra de menu embaixo você pode colocar ou retirar o efeito da atmosfera ou o solo;
- 20) A tecla J reduz a taxa de passagem do tempo, a tecla L aumenta a taxa e a tecla K faz a taxa voltar ao normal.

ATIVIDADE 2

O MOVIMENTO DIÁRIO DAS ESTRELAS

- 1) Abra o programa;
- 2) Volte seu campo de visão para o leste;
- 3) Se o exercício estiver sendo feito de dia retire o efeito atmosfera na barra de menu inferior;
- 4) Clique L 3 vezes que você verá o deslocamento das estrelas. Clicando E você liga a grade do sistema equatorial de referência;
- 5) Movendo seu campo de visão para a direita você poderá ver o polo sul celeste e as estrelas girando em torno dele. O polo sul celeste é o prolongamento do eixo de rotação da Terra;
- 6) Gire novamente o campo de visão e veja o movimento das estrelas em relação aos horizontes oeste e norte;
- 7) Note que ao girar seu campo de visão com a grade equatorial ligada você poderá ter a nítida sensação de estar, de fato, no interior de uma esfera celeste com as estrelas fixas a ela como os antigos imaginavam;

ATIVIDADE 3

O MOVIMENTO DO SOL

- 1) Reinicie o Stellarium;
- 2) Apertando J ou L aproxime-se das 16:00. O sol aparece no campo de visão voltado para oeste;
- 3) Clique a tecla A e retire o efeito atmosfera;
- 4) Aperte = para adicionar um dia solar ao tempo;

- 5) Aperte mais uma vez e verifique o movimento do Sol em relação às estrelas de fundo;
- 6) Clique a tecla , (vírgula) para visualizar a eclíptica (trajetória descrita pelo Sol na esfera celeste);
- 7) Clique E para visualizar melhor a esfera celeste e a posição da eclíptica;
- 8) Aperte = (igual) ou, se quiser,] (colchete voltado para à esquerda), que faz o tempo avançar uma semana, para acompanhar o movimento do Sol na direção Norte-Sul;

ATIVIDADE 4

DETERMINAÇÃO DO MEIO DIA SOLAR

- 1) Ligue o programa;
- 2) Localize o Sol digitando a palavra Sol na janela de busca (Lupa no menu à esquerda) e clique nele;
- 3) O Sol nascerá e irá se pôr quando sua altura em relação à linha do horizonte for zero. O centro do Sol estará exatamente sobre a linha do horizonte;
- 4) Tecele a barra de espaço e o objeto clicado vai para o centro da janela do programa;
- 5) Aumente ou diminua o tempo até chegar no instante em que o Sol estará nascendo ou se pondo, atingindo uma altura zero. Anote então estes tempos. Eles serão os horários de nascimento e ocaso do Sol na data considerada que pode ser estabelecida na janela de data no menu lado esquerdo da tela. A data e a hora sempre aparecem na parte de baixo da tela do Stellarium;
- 6) Diminua um tempo do outro, divida por 2 e some o resultado ao horário do nascimento. Você terá, então, o horário do meio-dia solar. Hora em que as medições deverão ser feitas.

A.4 AVALIAÇÃO RECURSIVA

Professor: Carlos Augusto Ferreira.

Aluno:

Turma:

Data:

- 1) Uma curva numa linha férrea deve ser traçada em círculo. O raio que deve ser dado ao círculo para que os trilhos mudem 25° de direção numa distância de 40π metros é:
A) 308 m B) 268 m C) 258 m D) 278 m E) 288 m

- 2) Em 20 de fevereiro de 2011 ocorreu a grande erupção do vulcão Bulusan nas Filipinas. A sua localização geográfica no globo terrestre é dada pelo GPS (sigla em inglês para Sistema de Posicionamento Global) com longitude $124^\circ 3' 0''$ a leste do meridiano de Greenwich. A representação angular da localização do vulcão com relação a sua longitude na forma decimal é:
A) $124,02^\circ$ B) $124,05^\circ$ C) $124,20^\circ$ D) $124,30^\circ$ E) $124,50^\circ$.

- 3) As cidades de Goiânia e Curitiba têm, aproximadamente, a mesma longitude. Goiânia fica a uma latitude de $16^\circ 40'$, enquanto a latitude de Curitiba é de $25^\circ 25'$. Considerando-se que a Terra seja aproximadamente esférica, com a linha do equador medindo aproximadamente 40.000 Km, a distância entre as duas cidades, em quilômetros, ao longo de um meridiano:
A) É menor que 700.
B) Fica entre 700 e 800.
C) Fica entre 800 e 900.
D) Fica entre 900 e 1000
E) É maior que 1000.

- 4) Uma família viaja para Belém(PA) em seu automóvel. Em um dado instante, o GPS do veículo indica que ele se localiza nas seguintes coordenadas: Latitude $21^\circ 20'$ Sul e longitude $48^\circ 30'$ Oeste. O motorista solicita a um dos passageiros que acesse a internet em seu celular e obtenha o raio médio da Terra, que é de 6370 Km, e as coordenadas geográficas de Belém, que são latitude $1^\circ 20'$ Sul e longitude $48^\circ 30'$ Oeste. A partir desses dados, supondo que a superfície da Terra é esférica, o motorista calcula a distância D, do veículo a Belém, sobre o meridiano $48^\circ 30'$ Oeste. Assinale a alternativa que apresenta, corretamente, o valor da distância D, em Km.

- A) $D = \frac{\pi}{9} 6370$
- B) $D = \frac{\pi}{18} (6370)^2$
- C) $D = \frac{\pi}{9} \sqrt{6370}$
- D) $D = \frac{\pi}{36} 6370$
- E) $D = \left(\frac{\pi}{3}\right)^2 6370$

5) A sombra produzida por uma haste de madeira com 60 cm de altura, fixada verticalmente no solo, foi determinada em um horário no qual os raios solares formavam um ângulo de 30° com a haste. O valor medido para a sombra em cm foi: (considere $\sqrt{3} = 1,7$)

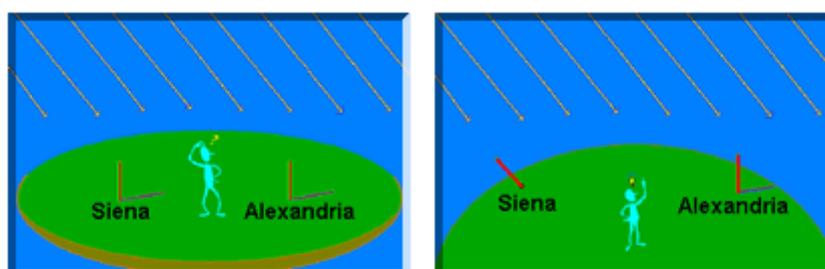
- A) 78 B) 34 C) 56 D) 64 E) 82

6) O sábio grego Posidonius (51 d.C. – 135 d.C.) também deu a sua contribuição para encontrar a circunferência da terra, porém usando a altura da estrela polar tomada nas cidades de Rodes e Alexandria. O valor encontrado por ele para a circunferência da Terra foi de 38.616 Km. Hoje sabemos que o raio médio da Terra é 6.371 Km. Determine o erro cometido por Posidonius calculando a diferença entre o raio médio atual e o valor encontrado por ele.

A.5 OS MÉTODOS PROPOSTOS POR ERATÓSTENES E ARISTARCO

A.5.1 O Método de Eratóstenes

O grego **Eratóstenes de Cirene** (276 a.C.-194 a.C.) foi quem realizou a proeza de medir o perímetro da circunferência terrestre. Ele nasceu em Cirene, na Grécia, e veio a falecer em Alexandria, no Egito. Durante a maior parte de sua vida, foi bibliotecário-chefe da famosa Biblioteca de Alexandria e foi lá que ele encontrou, num velho papiro, indicações de que, ao meio-dia de cada 21 de Junho, na cidade de Assuã, ou Syene, em grego, ao sul de Alexandria, um poço era iluminado até o fundo, indicando que os raios solares estavam incidindo perpendicularmente, não produzindo sombra. Em compensação, em Alexandria, a sombra de um obelisco medida neste mesmo dia de solstício indicava uma distância zenital de $7^{\circ}10'$.



– *Se o mundo é plano como uma mesa, então as sombras das varetas têm de ser iguais. E se isto não acontece é porque a Terra deve ser curva!*

Figura 1: Os raios do Sol incidem paralelos, devido à grande distância do Sol à Terra.

Fonte: <<http://www.zenite.nu/eratostenes-e-a-circunferencia-da-terra/>>

Eratóstenes então percebeu que quanto mais curva fosse a superfície da Terra, maior seria a diferença de comprimento das sombras. O Sol deveria estar tão longe que seus raios de luz chegam à Terra paralelos (Figura 1). Varetas fincadas verticalmente no chão em lugares diferentes, lançariam sombras de comprimentos distintos. Eratóstenes decidiu então fazer um experimento. Ele mediu o comprimento da sombra em Alexandria ao meio dia de 21 de junho, quando o Sol em Assuã, ao sul do Egito, não produzia sombra no fundo do poço. Assim, ele obteve a ângulo **A**, conforme a figura 2 abaixo:

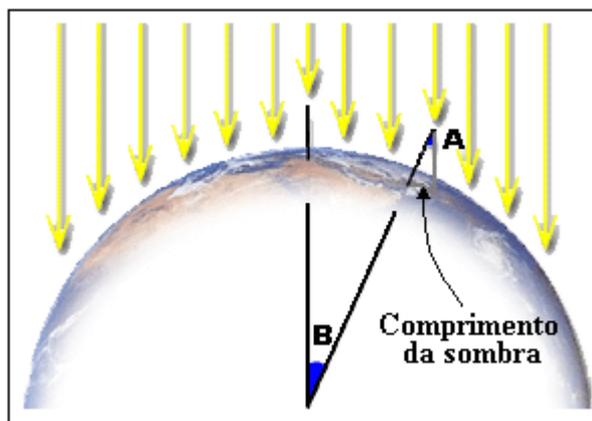


Figura 2: Os ângulos A e B são alternos internos. Fonte: <<http://www.zenite.nu/eratostenes-e-a-circunferencia-da-terra/>>

Eratóstenes mediu o ângulo **A** em aproximadamente $7,2^\circ$. Se a vareta em Alexandria e o poço em Siena estão na vertical, dá para se imaginar que se uma vareta fincada próxima ao poço em Siena e a vareta fincada em Alexandria fossem longas o bastante, elas iriam se encontrar no centro da Terra. Preste atenção na figura acima. O ângulo **B** terá o mesmo valor que o ângulo **A** pois são alternos internos. As retas paralelas são os raios de luz do Sol e a reta transversal é a que passa pelo centro da Terra e pela vareta em Alexandria. O ângulo **B** (também igual a $7,2^\circ$), é uma fração conhecida da circunferência da Terra, ou seja, $1/50$ da circunferência de um meridiano e corresponde à distância de Assuã à Alexandria. Por proporção simples, Eratóstenes pode encontrar a circunferência da Terra já que conhecia a distância de 5.000 estádios entre Assuã e Alexandria. Esta distância equivale a 800 Km. O valor que ele encontrou, 40.000 Km (veja o cálculo abaixo), está muito próximo do valor que conhecemos hoje que é de 40.072 Km. Chegar a um valor em quilômetros da circunferência da Terra, a partir destes dados, cria alguns problemas. Além do mais, o valor de 5 mil estádios e o valor de $7^\circ 10'$ eram visivelmente arredondados, tornando muito difícil, a tarefa de descobrir o verdadeiro valor que Eratóstenes atribuiu ao estádio (VERDET, 1991). Porém, a beleza do cálculo nos leva a reconhecer a elegância do raciocínio de Eratóstenes e também de Aristarco de Samos quando calculou a distância da Terra à Lua e ao Sol, assunto que será discutido na subseção seguinte. Chama a nossa atenção, a inteligência e o conhecimento dos

antigos gregos sobre Geometria, a qual eles usavam para fazer brilhantes aplicações práticas como essas.

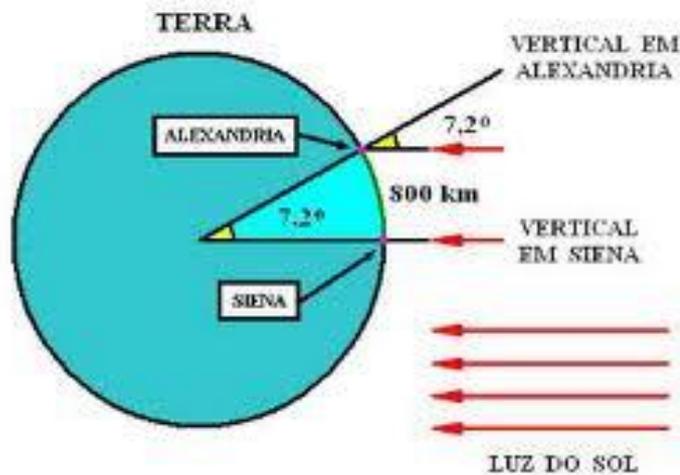


Figura 3: A medida da circunferência da Terra. Fonte: <http://www.deviante.com.br/noticias/ciencia/astronomia-sem-telescopio/>

$$\frac{7,2^\circ}{800 \text{ Km}} = \frac{360^\circ}{P} \Rightarrow P = 40.000 \text{ Km.}$$

A.5.2 A distância da Terra à Lua

O matemático e astrônomo grego **Aristarco de Samos** (310-230 a.C.), o último grande astrônomo pitagórico, nos deixou um valioso trabalho *“Dos Tamanhos e Distâncias do Sol e da Lua”*, no qual apresenta cálculos pioneiros das distâncias do Sol e da Lua até a Terra, trabalho usado pelos astrônomos até a Idade Média. Aristarco foi o primeiro a lançar a hipótese heliocêntrica, antecipando-se 1.700 anos ao astrônomo **Nicolau Copérnico** (1453-1543), autor do primeiro tratado da astronomia heliocêntrica. Ao colocar o Sol no centro do universo e a Terra como nada mais do que um planeta girando em torno do Sol, Aristarco atraiu críticas de muitos matemáticos e astrônomos da época. Estes sábios ensinavam que, por determinação dos deuses, a Terra deveria ocupar o centro do Universo. Alguns julgavam dignos de maldição todo aquele que ensinasse o movimento da Terra e, por consequência, o repouso do céu. Várias testemunhas, entre elas **Plutarco**, em sua obra *“Da face do Disco Lunar”*, e **Arquimedes**, em seu *“Arenário”* citavam a teoria heliocêntrica de Aristarco.

Sendo o Sol mais volumoso que a Terra, esta lança no espaço uma sombra em forma de cone, cujo ápice está exatamente oposto ao Sol. Estando o Sol mais afastado e a lua mais próxima, pode-se considerar a porção desse cone de sombra compreendida entre a Terra e a Lua como sendo, aproximadamente, um cilindro, cuja secção reta tem um diâmetro igual ao da Terra. Essa é a sombra que a Lua atravessa por ocasião de um de seus eclipses. Medindo o tempo que a Lua eclipsada leva para atravessar a sombra, Aristarco concluiu que ela é cerca de 3 vezes mais larga que a Lua (ver Figura 4, abaixo). Concluiu-se daí que o diâmetro da Lua é $1/3$ do diâmetro da Terra (o valor correto é 0,27, mais próximo de $1/4$ do diâmetro terrestre). Por outro lado, alguns papiros encontrados na biblioteca de Alexandria informavam que, para a Lua ser vista no tamanho angular com que ela se apresenta no céu (cerca de $0,5^\circ$), é necessário que ela esteja afastada cerca de 120 vezes o seu diâmetro. Logo, a Lua se acha à distância de cerca de 60 raios terrestre, considerando o diâmetro lunar cerca de um quarto do terrestre.

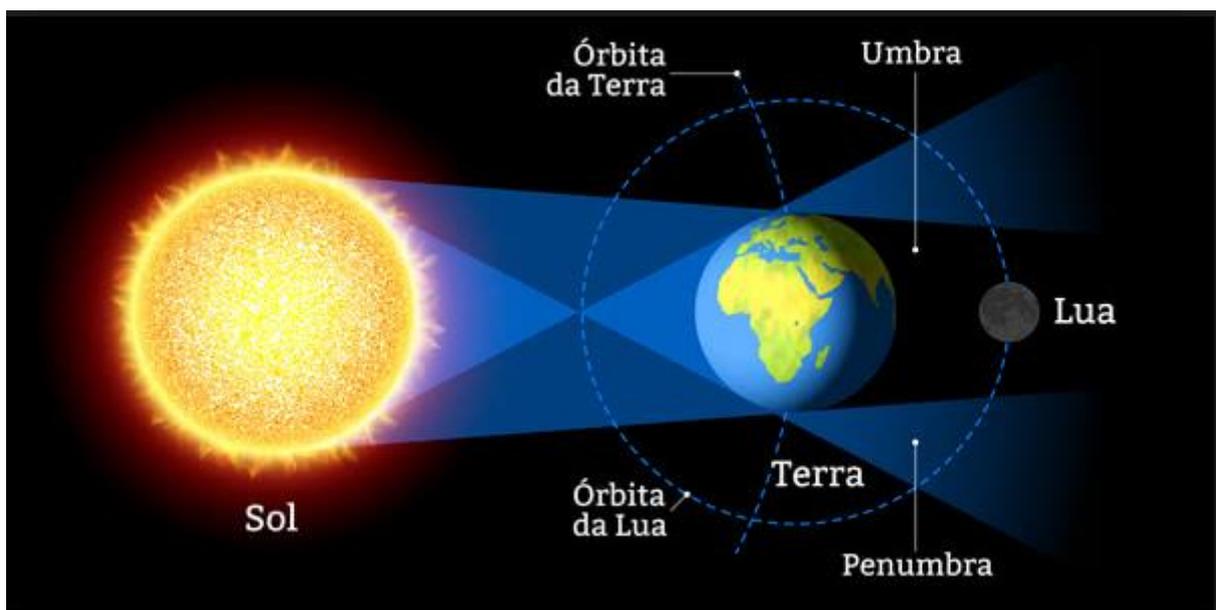


FIGURA 4: Diagrama que ilustra como poderia ser feita uma comparação de tamanhos entre a Terra e Lua durante a ocorrência de um eclipse lunar: o diâmetro da Terra seria semelhante ao diâmetro da sombra que ela projeta sobre a Lua durante o eclipse. Como a velocidade da Lua seria constante, o tempo decorrido entre o instante em que ela toca a sombra da Terra até penetrar nela totalmente (percorrendo uma distância de um diâmetro lunar) e o tempo que, a partir daí, ela levaria até sair completamente da sombra da Terra (percorrendo uma distância correspondente ao diâmetro da sombra, que seria semelhante ao da Terra) estaria na mesma proporção que a existente entre os diâmetros da Lua e da Terra. Ou seja, medindo esses tempos, seria possível determinar a razão entre os diâmetros da Lua e da Terra.

Fonte da imagem: <<https://www.todamateria.com.br/eclipse-lunar/>>

A.5.3 A distância da Terra ao Sol

Um dos problemas a que Aristarco de Samos dedicou especial atenção foi a determinação da distância entre a Terra e o Sol. Ele observou que, quando a Lua é avistada da Terra em quarto crescente, os raios solares são perpendiculares à reta que passa pelos centros da Terra e da Lua, conforme mostra a figura abaixo. Conhecendo a medida do ângulo \hat{A} e a distância da Terra à Lua “B”, já determinada anteriormente, em termos do raio da Terra, Aristarco calculou a distância da Terra até o Sol “C” usando uma razão trigonométrica simples. Aristarco atribuiu ao ângulo \hat{A} o valor de 87° . Desse modo, ele mostrou que a distância da Terra ao Sol é maior que 18 e menor que 20 vezes a distância da Terra à Lua. Aristarco, porém, cometeu um erro na medida do ângulo \hat{A} . Ele deveria ter encontrado $89^\circ 50'$ em vez de 87° . Com o valor correto, descobrimos que a distância da Terra até o Sol é cerca de 400 vezes a distância da Terra à Lua, o que torna o clima na Terra mais suportável do que se este valor fosse de 20 vezes. Contudo, o raciocínio geométrico de Aristarco é perfeito.

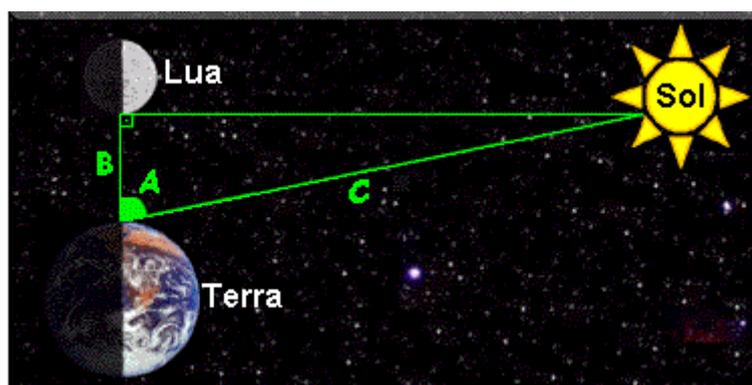


FIGURA 5: Esquema usado por Aristarco de Samos para encontrar a distância da Terra ao Sol.
Fonte: <<http://www.zenite.nu/aristarco-de-samos-e-a-distancia-terra-sol/>>

REFERÊNCIAS

PROJETO ERATÓSTENES BRASIL. Disponível em:

<<https://sites.google.com/site/projetoerato/>>. Acesso em: 19 dez. 2017.

STELLARIUM. Software livre do tipo planetário. Disponível em:
<<http://stellarium.org/pt/>>. Acesso em 18 dez 2017.

VERDET, JEAN-PIERRE. **Uma História da Astronomia**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed, 1991.

APÊNDICE B

PROJETO ESCOLA VIVA

INTRODUÇÃO

Neste apêndice, apresento a sequência didática aplicada no Projeto Escola Viva. Ela é a continuidade da sequência didática anterior, sobre a medida do raio da Terra, e teve como pilar principal a abordagem dos métodos que historicamente foram usados para a determinação das distâncias até os astros. Grande parte do material didático aqui apresentado – textos e figuras utilizados nos slides e textos complementares de referência – vem do livro paradidático sobre medidas de distâncias em Astronomia em cujo desenvolvimento venho trabalhando.

A sequência envolve uma série de atividades a serem desenvolvidas em sala de aula, tendo, como recursos didáticos, o uso de apresentações do tipo *Power Point*, do quadro branco e pincel atômico e um vídeo motivador, mostrando, em escala logarítmica, o tamanho do universo – tema que inspirou a questão problematizadora desta UEPS: “Qual é o tamanho do Universo?”.

Recomenda-se, também, a aplicação de uma avaliação diagnóstica, como a ilustrada na seção B.2, visando identificar os subsunçores presentes na estrutura cognitiva dos alunos, necessários à assimilação dos conteúdos apresentados nesta sequência didática. Subsunçores esses, relacionados ao tema principal, abaixo realacionados:

1. As unidades graus e radianos;
2. As razões trigonométricas no triângulo retângulo;
3. O comprimento da circunferência;
4. As unidades de comprimento e tempo;
5. O conceito e classificação de ondas;
6. A noção de planeta, satélite natural, estrela e galáxia;
7. Tamanho angular ou aparente dos astros;
8. A velocidade da luz.

Deve se buscar, por meio da sequência didática, explorar os aspectos interdisciplinares existentes entre a Matemática, a Física e a Astronomia com o intuito de proporcionar ao estudante uma aprendizagem significativa de conceitos básicos de Matemática e Física, como a medida de ângulos, relação entre o raio e o perímetro e arco de um circunferência, relações trigonométricas, unidades de medida de comprimento e tempo, ondas e luz, mostrando sua importantíssima aplicação na Astronomia, na determinação das dimensões do nosso Universo.

B.1 SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE MEDIDAS DE DISTÂNCIAS ATÉ OS ASTROS

A sequência didática, em sua aplicação piloto, foi desenvolvida ao longo de quatro encontros, cada um deles composto por duas aulas de cinquenta minutos. A seguir, apresento a proposta de como deve ser estruturada a sequência, o conteúdo a ser abordado, a metodologia e materiais a serem utilizados em cada um desses quatro encontros, como base na experiência adquirida na aplicação piloto:

1º) ENCONTRO: Este encontro deve ser dedicado a uma abordagem histórica a respeito dos métodos usados por Eratóstenes, para a determinação do raio da Terra, e por Aristarco de Samos, para encontrar a distância da Terra até a Lua e da Terra ao Sol, com base no texto apresentado na seção A.5, que deve ser entregue aos alunos.

Os primeiros vinte minutos deste primeiro encontro devem ser dedicados à aplicação de um questionário inicial, como o apresentado na seção B.2, formado por 13 perguntas, cujo intuito é coletar as concepções iniciais dos alunos. Este questionário tem por objetivo diagnosticar os subsunçores presentes, e também os ausentes, na estrutura cognitiva dos alunos.

Ao final do último encontro, esse questionário pode ser reaplicado para tentar verificar se houve ou não uma aprendizagem significativa por parte dos alunos. Em seguida deve ser passado um vídeo cuja intenção é fazer o estudante meditar sobre o tamanho do nosso universo. Esse pode ser uma versão do clássico *Powers of Ten* (WIKIPEDIA, acesso em 18 dez. 2017), como a disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=4pZDUfLMVmM>>.

Após o vídeo, deve ser lido um texto introdutório sobre as distâncias astronômicas que seja desafiador e instigante, como o apresentado na seção B.3, sobre a distância e possibilidades de viagem até Próxima Centauri, a estrela mais próxima de nós (depois do Sol). As distâncias citadas nesse texto são medidas em anos-luz. Ao final dele, são formuladas cinco perguntas relativas ao seu conteúdo que buscam ser problematizadoras e desafiadoras, fazendo os estudantes pensarem a respeito das distâncias astronômicas e como medi-las, as quais devem ser respondidas ao longo da aplicação da sequência.

Após essa leitura, deve-se passar à apresentação e discussão dos métodos citados acima, de Eratóstenes e Aristarco, para encontrar os tamanhos e distâncias do sistema Sol-Terra-Lua a partir de sombras projetadas na superfície da Terra, dos eclipses, das fases da Lua e aplicando conceitos de Geometria, usando como referência o texto apresentado na seção A.5.

O encontro pode ser encerrado falando sobre a UA, ou unidade astronômica, e sua relação com o ano-luz, como base no texto apresentado na seção B.4.

2º) ENCONTRO: Na seção B.5 encontra-se o conteúdo dos slides que podem ser utilizados ao longo deste encontro e, nas seções B.6 e B.7, os textos de apoio e referência, incluindo exercícios, sobre medidas de distância por paralaxe e sobre magnitudes, luminosidade e fluxo.

A aula deve ser iniciada apresentando o conceito de paralaxe (slide 2). Medimos o valor da paralaxe observando o deslocamento aparente de um astro em relação às estrelas fixas, ao fundo (slide 3). Fixado o conceito de paralaxe, se apresenta a unidade parsec (slide 4) e, em seguida, o método da triangulação que utiliza a paralaxe heliocêntrica para encontrar a distância até um astro (slide 5), e podem ser apresentados alguns exemplos de paralaxes e distâncias (slide 6) e as relações entre as unidades de comprimento mais usadas em Astronomia (slide 7). Neste momento pode ser resolvido, no quadro, um exercício sobre conversão de unidades, fazendo uma relação entre as unidades UA, parsec e ano-luz (slide 8).

A segunda parte da aula deve ser dedicada ao estudo do sistema de magnitudes (slide 9) com a apresentação do conceito de luminosidade (slide 10) e de fluxo de luz (slide 11).

3º) ENCONTRO: Os slides que podem ser utilizados ao longo deste encontro estão na seção B.8 deste apêndice. Um texto de referência e apoio sobre as variáveis Cefeidas e seu uso para medir distâncias segue na seção B.9.

O encontro é iniciado retomando os conceitos de luminosidade e fluxo de luz (slide 2). Em seguida, são apresentadas as expressões que determinam a magnitude aparente (slide 3) e a magnitude absoluta (slide 6), importantes para o método das variáveis Cefeidas que será explicado na segunda parte da aula. Para exemplificar cada uma das expressões, podem ser realizados exercícios de fixação como os que são apresentados nos slides 5 e 7.

A segunda parte do encontro é dedicada ao estudo das variáveis Cefeidas como “velas padrão” para medir distâncias em Astronomia. A abordagem do tema pode ser feita conforme é indicado a partir do slide 8, tendo como referência o texto, com exercícios, apresentado na seção B.9.

Inicia-se com um breve relato histórico sobre como a descoberta feita por Henrietta Leavitt, ao estudar estrelas Cefeidas da Pequena Nuvem de Magalhães, de que havia uma proporção direta entre o período de variação do brilho destas variáveis e sua luminosidade (slides 8 a 10). Isso permitiu conceber um método de como usá-las na determinação de distâncias que pode ser

exposto mediante a apresentação de um exemplo, como o indicado no slide 11, que pode ser resolvido no quadro, e do roteiro para o cálculo de distâncias pelo método das variáveis Cefeidas, indicado no slide 13.

4º) ENCONTRO: Na seção B.10 do apêndice encontram-se sugestões de slides que podem ser usados neste último encontro e, na seção B.11, um texto de referência e apoio, com exercícios, sobre a Lei de Hubble.

Neste encontro deve-se começar discutido o conceito de onda (slide 2), falando-se sucintamente sobre o efeito Doppler (slide 3) e sobre a região visível do espectro eletromagnético (slide 4). A seguir, é interessante fazer uma abordagem histórica sobre o surgimento da espectroscopia e a descoberta da expansão do Universo, destacando a importância que o observatório de Monte Wilson teve para o desenvolvimento da Astronomia na primeira metade do século XX (slides 5 a 9) e se referindo à importância dos personagens que fizeram a história da Astronomia nesta época, dentre eles citamos Edwin Hubble (slide 7), Milton Humason (slide 8) e a dupla Harlow Shapley e Herbert Curtis (slide 11). Deve-se explicar a importância da descoberta do *redshift* para a expansão do universo (slide 12) e finalizar com a apresentação da Lei de Hubble e a sua importância como método para a determinação de distâncias até as galáxias (slide 13), seguida da realização de um exercício com o apresentado no slide 15.

Nos trinta minutos finais do encontro, pode-se reaplicar o questionário da seção B.2, com o intuito de tentar verificar se houve ou não, uma aprendizagem significativa do conteúdo da sequência didática que compôs o Projeto Escola Viva.

Repito aqui, que a estrutura desta sequência didática, constituída pelos quatro encontros acima descritos, não deve ser encarada de forma rígida. Os professores da Educação Básica que tiverem o interesse em aplicá-la podem adaptar as atividades de acordo com o programa de ensino da escola em que trabalha.

Esperamos que os sucessos que foram alcançados na realização destas atividades em sua aplicação piloto também ocorram em suas futuras aplicações, e que pontos ainda carentes de cuidados sejam aperfeiçoados de modo que o principal objetivo, que é propor uma forma agradável e eficaz de aprender Física e Astronomia, seja atingido.

B.2 QUESTIONÁRIO DIAGNÓSTICO

Nome:

- 1) Quantos graus possui uma circunferência? E quantos radianos?
- 2) Faça a figura de um triângulo retângulo, coloque nele um ângulo de 30° e em relação a este ângulo identifique com a letra “a” a hipotenusa, com a letra “b” o cateto oposto e com a letra “c” o cateto adjacente.
- 3) Usando o triângulo retângulo da questão anterior, escreva as razões trigonométricas do seno, do cosseno e da tangente de 30° .
- 4) Qual é a expressão matemática que fornece o comprimento de uma circunferência?
- 5) Cite três unidades da grandeza comprimento.
- 6) Quantos segundos tem uma hora?
- 7) O que você entende por uma onda? Cite dois exemplos.
- 8) O que é um ano-luz?
- 9) O que é um satélite natural? Cite um exemplo.
- 10) Qual a diferença entre um planeta e uma estrela? Cite o nome de uma estrela que você conheça.
- 11) O que é uma galáxia? Cite pelo menos um exemplo.
- 12) Quando olhamos para o céu noturno observamos que a Lua se apresenta muito maior que as estrelas. Ela é, de fato, maior que as estrelas? Sim ou não? Se você acha que não, porque, então, ela parece maior?
- 13) Um estudante disse que muitas estrelas que vemos hoje no céu já não existem mais. Será que ele está certo? Sim ou não? Por quê?

B.3 TEXTO SOBRE A DISTÂNCIA ATÉ A ESTRELA MAIS PRÓXIMA

Em 1915, o astrônomo britânico Robert Innes (1861-1933), do observatório astronômico de Johannesburgo na África do Sul, encontrou a estrela mais próxima do Sol de que se tem conhecimento. Ela Foi batizada como “Próxima do Centauro” ou “Alpha Centauri C” ou simplesmente “Próxima” (Figura 1). Trata-se de uma estrela anã vermelha, situada na constelação do Centauro, e que fica a uma distância de, aproximadamente, 4,2 anos-luz da Terra. Ela orbita outras duas estrelas, a Alpha Centauri A e a Alpha Centauri B, formando um sistema triplo de estrelas.



Figura 1: Imagem de próxima centauro obtida pelo telescópio Hubble.
Fonte: <http://www.astro.louisville.edu/gallery/proxima_rgb.jpg>

No dia 24 de agosto de 2016, foi anunciada a descoberta de um exoplaneta que orbita Próxima do Centauro, batizado de “Proxima Centauri b” (Figura 2). Esse planeta está tão próximo de sua estrela quanto Mercúrio está do Sol.

Como Próxima do Centauro é bem menor que o Sol, a distância coloca Proxima Centauri b dentro de uma faixa de temperatura entre 0°C e 100°C, o que possibilita a existência de água no estado líquido, e onde tem água pode ter vida. (WIKIPEDIA, acesso em 19 dez. 2017).

Próxima do Centauro tem sido apontada como um possível primeiro destino para uma viagem interestelar. Atualmente, essa estrela está se movimentando na direção à Terra a uma velocidade de 21,7 Km/s. Em aproximadamente 26.700 anos, Proxima Centauri atingirá uma máxima aproximação de nosso planeta,

passando a 3,11 anos-luz da Terra. Uma viagem em uma espaçonave comum, de propulsão não nuclear, duraria milhares de anos até chegar a um planeta orbitando Próxima Centauri. Uma espaçonave de propulsão nuclear pode reduzir o tempo de viagem para aproximadamente 100 anos, chegando na estrela no próximo século. Um projeto chamado “Missão Breakthrough Starshot”, financiado pelo empreendedor milionário russo Yuri Milner, estuda fazer pequenas espaçonaves, do tamanho de um biscoito recheado, impulsionadas por um potente feixe de laser disparado da Terra. Com pouca massa e muita potência, essas naves poderiam alcançar 20% da velocidade da luz ou 216 milhões de Km/h e fazer a viagem até Próxima do Centauro com uma duração entre 20 e 25 anos. Quem viver verá.

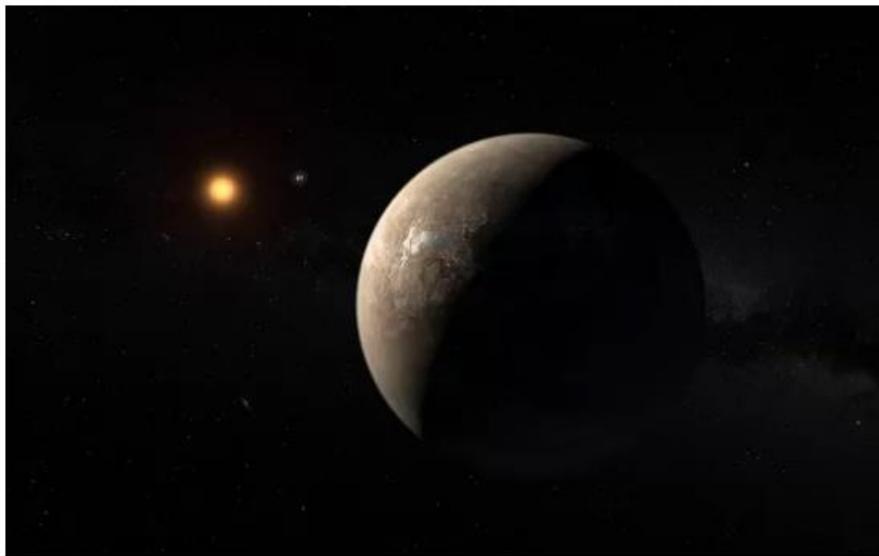


Figura 2: Concepção artística mostrando o planeta Próxima b e, ao fundo, a estrela Próxima Centauri. Fonte: <http://g1.globo.com/ciencia-e-saude/blog/observatorio/post/proxima-centauri-proxima-parada.html>

Após a leitura do texto acima, tente responder as questões abaixo:

- 6) O que é o ano-luz?
- 7) Como foi obtida esta unidade de medida de distâncias?
- 8) Como foi possível descobrir que Próxima do Centauro, a estrela mais próxima da Terra depois do Sol, está a 4,2 anos-luz do nosso planeta?
- 9) O texto diz que Próxima do Centauro se aproxima da Terra com uma velocidade de 21,7 Km/s. Como foi possível medir esta velocidade?
- 10) Qual a diferença entre um planeta e uma estrela?

B.4 A UNIDADE ASTRONÔMICA E O ANO-LUZ

Você sabia que o Sol é apenas uma minúscula estrela entre cerca de 400 bilhões de estrelas que existem na Via-Láctea? A Via-Láctea, a galáxia em que vivemos, foi chamada assim pelos antigos gregos, devido ao seu aspecto leitoso. Trata-se de um disco com 100.000 anos-luz de diâmetro, tendo uma espessura que varia de 1.000 a 3.000 anos-luz. O Sol encontra-se a 30.000 anos-luz do centro do disco e a 149.000.000 de quilômetros da Terra. Só por este último número você já deve ter percebido que a unidade quilômetro não é muito adequada para medir distâncias muito grandes. Logo, se passou a chamar a distância média entre a Terra e o Sol de 1 UA, ou seja, uma unidade astronômica. As grandes distâncias do universo podem ser medidas também em anos-luz e parsecs. Um ano-luz corresponde à distância percorrida pela luz no vácuo em um ano, correspondendo, aproximadamente, a cerca de 10 trilhões de quilômetros. Um parsec por sua vez, equivale a 3,26 anos-luz ou 206.265 UA. Iniciaremos o nosso curso apresentando estas grandezas, a relação entre elas e como foram estabelecidas.

B.4.1 A unidade astronômica (UA)

A primeira unidade utilizada para medir distâncias para objetos astronômicos foi a “unidade astronômica” ou “UA”, que corresponde, por definição, à distância média da Terra ao Sol. Atualmente sabe-se que o valor da UA com quatro algarismos significativos, corresponde a **$1,496 \times 10^{11}$ metros**.

Segundo a “International Astronomical Union” (IAU), uma unidade astronômica é igual à medida do raio da órbita circular não perturbada de um corpo de massa desprezível em movimento em torno do Sol com uma velocidade sideral (tomada em relação ao fundo de estrelas) de **$0,017202098950$ radianos por dia**. Este valor corresponde a distância média da Terra ao Sol

	Distância (UA)	Raio (da Terra)	Massa (da Terra)	Rotação (da Terra)	# Luas	Inclinação Orbital	Excentricidade Orbital	Densidade (g/cm ³)
Sol	0	109	332.800	25-36*	9	---	---	1,410
Mercúrio	0,39	0,38	0,05	58,8	0	7	0,2056	5,43
Vênus	0,72	0,95	0,89	244	0	3,394	0,0068	5,25
Terra	1,0	1,00	1,00	1,00	1	0,000	0,0167	5,52
Marte	1,5	0,53	0,11	1,029	2	1,850	0,0934	3,95
Júpiter	5,2	11	318	0,411	16	1,308	0,0483	1,33
Saturno	9,5	9	95	0,428	18	2,488	0,0560	0,69
Urano	19,2	4	15	0,748	15	0,774	0,0461	1,29
Netuno	30,1	4	17	0,802	8	1,774	0,0097	1,64
Plutão	39,5	0,18	0,002	0,267	1	17,15	0,2482	2,03

Figura 3: Tabela que lista as informações estatísticas do Sol e dos Planetas.

Fonte: <file:///C:/Users/Marco/Documents/estatistica%20do%20sistema%20solar.html>

B.4.2 O Ano-Luz

Quando saímos do sistema solar, a “UA” passa a ser uma unidade muito pequena, sendo necessário o uso de uma unidade mais compatível para distâncias maiores como, por exemplo, o ano-luz. Esta unidade corresponde à distância que a luz percorre no vácuo em um ano se deslocando à velocidade da luz que é **300.000 Km/s**. O ano-luz equivale a **9,46053 x 10¹⁵ metros**. Desse modo, a distância da Terra ao Sol passa a ser cerca de 8 minutos-luz enquanto a estrela mais próxima, a *próxima centauri*, está aproximadamente a 4 anos-luz da Terra. Isto significa que você, viajando à velocidade da luz, levaria 8 minutos para chegar ao Sol e 4 anos para visitar *Proxima Centauri*.

ELEMENTO	DISTÂNCIA (anos-luz)
Andrômeda (galáxia mais próxima)	2,5 milhões
Estrela Sirio	8,6
Estrela alfa centauro	4,3

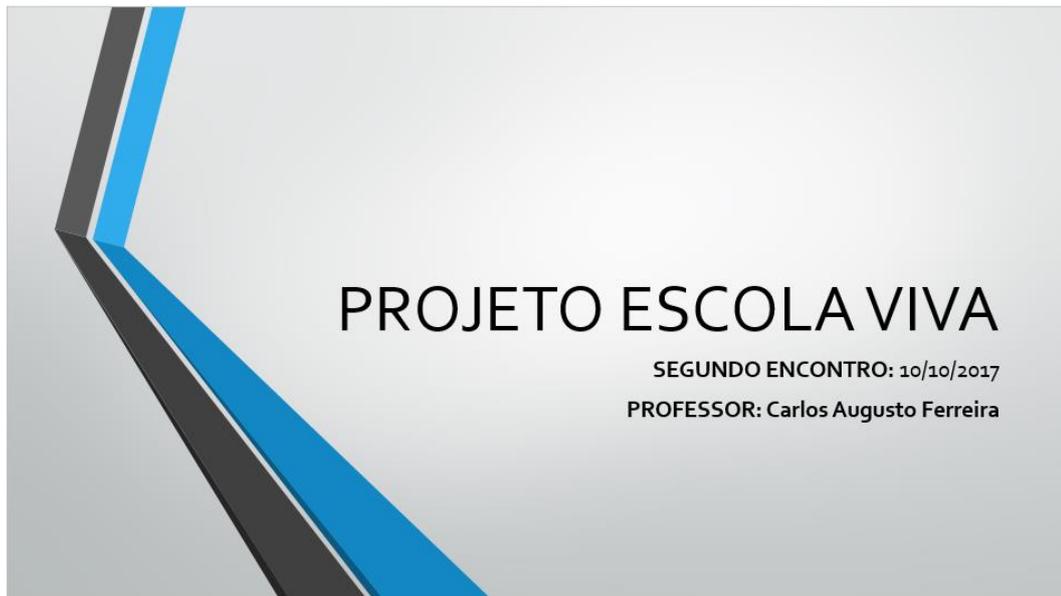
Figura 4: Algumas distâncias em ano-luz.

Fonte: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Gal%C3%A1xia de Andr%C3%B4meda](https://pt.wikipedia.org/wiki/Gal%C3%A1xia_de_Andr%C3%B4meda)>

B.5 SLIDES DO SEGUNDO ENCONTRO

Slide 1:

Apresentação da aula:



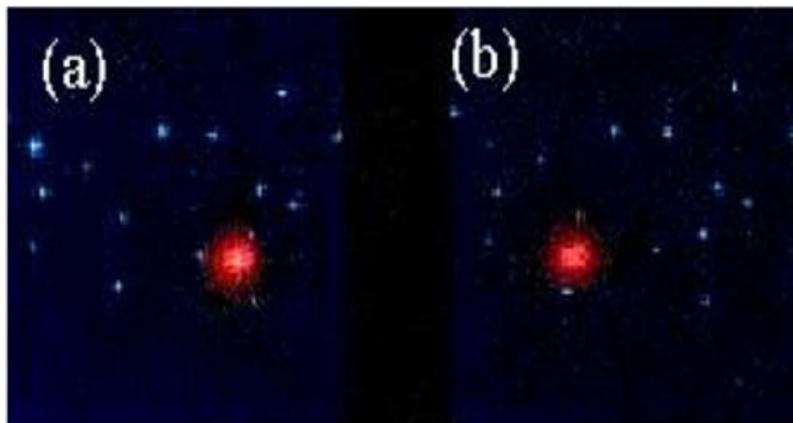
Slide 2:

O conceito de paralaxe estelar:

É a medida do deslocamento aparente de um objeto que se observa com relação a um referencial distante.

Slide 3:

O deslocamento aparente de uma estrela:

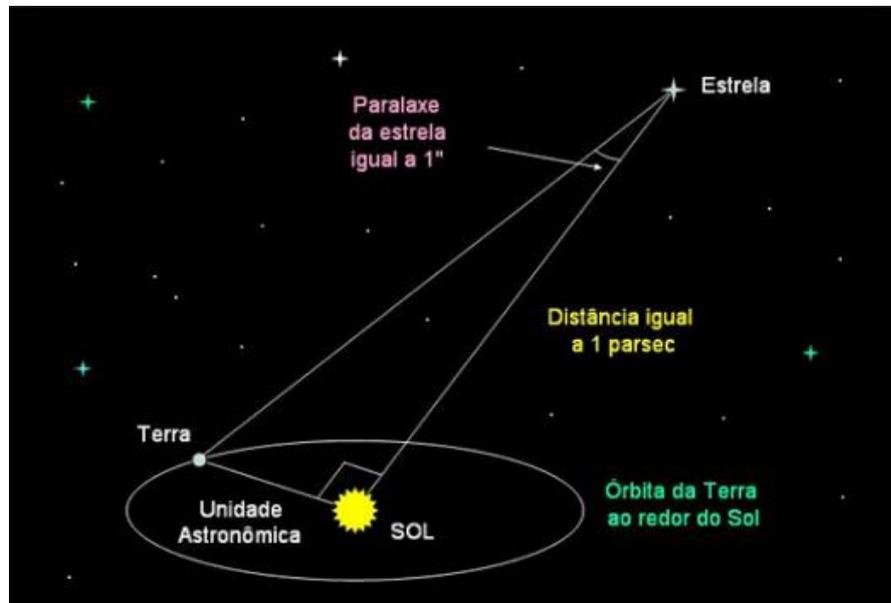


Fonte: <<http://astroweb.iag.usp.br/~dalpino/AGA215/APOSTILA/cap08cor.pdf>>

Slide 4:

A unidade parsec:

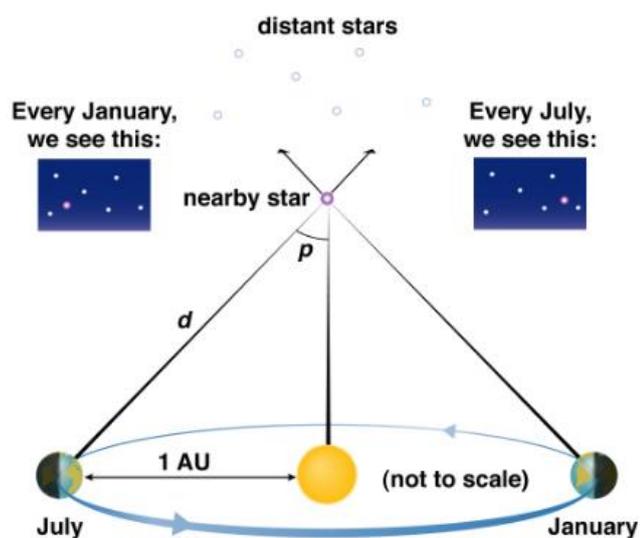
A unidade parsec é a distância na qual uma unidade astronômica é vista sob o ângulo de 1" de arco.



Fonte: <http://www.uranometrianova.pro.br/cursos/astrofisica_estelar01/fisica1001.htm>

Slide 5:

Figura utilizada para explicar paralaxe:



Fonte: <<https://medium.com/o-universo-em-2-minutos/as-distancias-das-estrelas-ad066d1f885d>>

Slide 6:

Algumas paralaxes e distâncias:

α Centauri	0.762"	1.31 pc
α Canis Majoris	0.379"	2.64 pc
α Canis Minoris	0.286"	3.50 pc
ϵ Eridani	0.311"	3.22 pc
61 Cygni A	0.287"	3.48 pc
α Tauri	0.050"	20.0 pc
α Virginis	0.012"	83.3 pc
α Scorpii	0.005"	200 pc

Fonte: <http://each.uspnet.usp.br/ortiz/classes/Brilho_Lum.pdf>

Slide 7:

Relações entre Km, UA, ano-luz e parsec:

$$1 \text{ UA} = 1,496 \times 10^8 \text{ Km.}$$

$$1 \text{ ano-luz} = 9,46 \times 10^{12} \text{ Km} = 63.200 \text{ UA.}$$

$$1 \text{ pc} = 3,26 \text{ anos-luz} = 206.265 \text{ UA.}$$

Slide 8:

Exercício sobre conversão de unidades:

Existem cerca de 160 aglomerados globulares na nossa galáxia, a Via-Láctea, cada um com centenas de milhares de estrelas. Um desses aglomerados é chamado de NGC 5139 e está a 17.000 anos-luz da Terra, na constelação de Centauro. Determine esta distância nas unidades Km, UA e parsec

Slide 9:

O sistema de magnitudes:

- Hiparco em 150 a.C;
- Dividiu o brilho das estrelas vistas a olho nu, em seis classes de grandeza ou magnitude;

- Quanto maior a grandeza menor o brilho;
- A estrela de magnitude 1 é a mais brilhante do céu e a de magnitude 6 é a de menor brilho.
- Hoje, a escala de grandezas é mais vasta incluindo números negativos, fracionários e maiores que 6.

Slide 10:

O conceito de luminosidade:

- Energia radiante por unidade de tempo. Joule/seg = Watts;
- $L = 4\pi R^2 (\sigma T^4)$;
- $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{W/m}^2\text{K}^4$ é a chamada constante de Stefan-Boltzmann. A chamada Lei de Stefan, enunciada em 1879, estabelece que a energia total irradiada por unidade de área superficial de um corpo negro na unidade de tempo é diretamente proporcional à quarta potência da sua temperatura termodinâmica T, sendo dada por σT^4 ;
- Exemplo: raio do Sol = $6,96 \times 10^8$ metros. Temperatura = 5785 K.

Slide 11:

O conceito de fluxo de luz:

- Potência luminosa por unidade de área que incide perpendicularmente sobre uma superfície de área A. Sua unidade é W/m^2 ;
- Fluxo na superfície da estrela = $L/4\pi R^2$;
- Fluxo a uma distância "d" desta estrela: $L/4\pi d^2$;
- Calcule o fluxo de luz na superfície do Sol e na superfície da Terra tomando a UA como distância da Terra ao Sol e a luminosidade do Sol que você calculou no exemplo anterior.

B.6 MEDIDA DE DISTÂNCIA PELO MÉTODO DA PARALAXE

Um dos métodos mais antigos para a determinação de distâncias em Astronomia é o método da triangulação ou paralaxe. Durante muitos séculos este foi o método mais usado pelos astrônomos. Foi por este método que um grupo de quatro cientistas comandados por Giovanni Domenico Cassini (1625-1712), trabalhando em conjunto, reuniram informações necessárias para o cálculo da paralaxe solar e, desse modo, encontraram um valor para a unidade astronômica (UA). Eles encontraram 140 milhões de quilômetros para a UA. Hoje sabemos que este valor é de 149 milhões aproximadamente. (Morais, 2009, p.158). Procure pesquisar sobre o assunto e tente descobrir como chegaram a este valor. Porém, à medida que as distâncias vão aumentando, o método da paralaxe vai se tornando inadequado, sendo necessário o desenvolvimento de outros métodos. Você saberia dizer por que isso acontece?

B.6.1 O cálculo de distância pelo método da paralaxe

Define-se paralaxe como sendo a medida do deslocamento aparente (angular) de um objeto que é observado com relação a um referencial distante quando mudamos a posição do observador. No caso da distância da Terra à Lua por exemplo, pode ser feita a comparação de observações da Lua realizadas por dois observadores em pontos extremos da Terra, quando então se obtém uma diferença angular usada para calcular a distância Terra-Lua, conhecido o raio da Terra. Neste caso, como a base utilizada para as medidas é a Terra e o valor de distância conhecida que é utilizada na triangulação é o seu raio, se diz que a paralaxe medida é uma “paralaxe geocêntrica”. Veja figura abaixo:

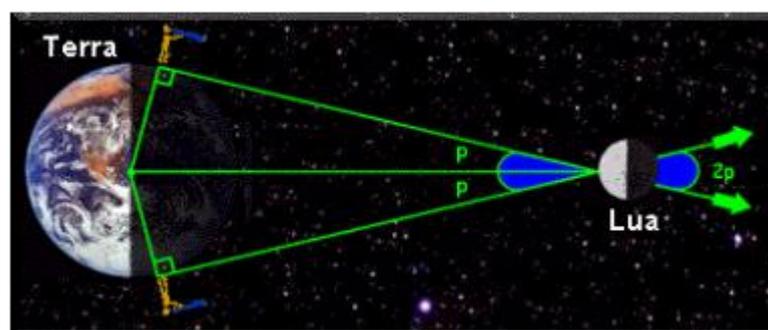


Figura 5: O método da paralaxe aplicado à medição da distância Terra-Lua. Fonte: <http://www.zenite.nu/o-metodo-da-paralaxe/>

Estando, por exemplo, cada observador sobre um mesmo meridiano da Terra, ao fotografarem a Lua, cada um deles verá o satélite contra um fundo de estrelas ligeiramente diferente. Comparando suas fotos com um bom atlas celeste, eles medirão o ângulo $2p$ e, então, p . Recordando que o seno de um ângulo é a razão

entre o cateto oposto, no caso, o raio da Terra, e a hipotenusa, no caso, a distância procurada, podemos obter a distância da Terra à Lua, já que o seno de p é um valor conhecido. Este valor na verdade, é aproximadamente o próprio p , pois, para arcos muito pequenos e medidas em radianos, $\text{sen}(p) = p$.

EXERCÍCIO DE FIXAÇÃO

Sabendo que a visão humana apresenta paralaxe, considerando que a distância típica entre dois olhos é de 7 cm, determine a paralaxe p da visão humana para um objeto que se encontra a uma distância do observador igual a:

A) 1 metro; B) 10 metros; C) 100 metros; D) 1 quilômetro.

B.6.2 Paralaxe estelar

Podemos medir a paralaxe de uma estrela observando este objeto a partir de dois pontos distantes de uma mesma linha de base, normalmente o diâmetro da órbita da Terra em torno do Sol, e medindo o ângulo de deslocamento da linha de visada. Neste caso, como o Sol é o centro da base e a distância conhecida usada na triangulação é o raio da órbita da Terra em torno dele, cujo valor é de 1 UA, a paralaxe medida é denominada de “paralaxe heliocêntrica”. Na prática, para medir a paralaxe heliocêntrica de estrelas, comparam-se fotografias tomadas em épocas separadas por 6 meses (Figura 6), formando assim uma linha de base que corresponde ao diâmetro da órbita da Terra.

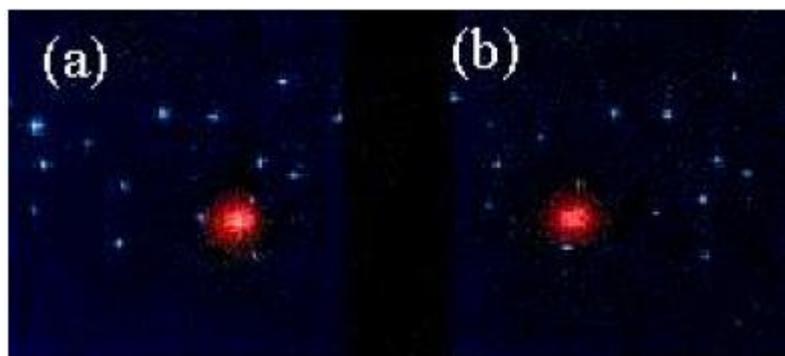


FIGURA 6: Imagens de uma mesma região do céu obtidas com seis meses de diferença, mostrando o movimento aparente de uma estrela mais próxima, com relação às estrelas mais distantes, ao fundo, que podem ser consideradas fixas. Fonte:

<http://astroweb.iag.usp.br/~dalpino/AGA215/APOSTILA/cap08cor.pdf>

Quanto mais distante a estrela menor é a paralaxe. Por isto, a unidade mais usual para a paralaxe de uma estrela é o segundo de arco ($''$)(Figura 7) .

α Centauri	0.762"	1.31 pc
α Canis Majoris	0.379"	2.64 pc
α Canis Minoris	0.286"	3.50 pc
ϵ Eridani	0.311"	3.22 pc
61 Cygni A	0.287"	3.48 pc
α Tauri	0.050"	20.0 pc
α Virginis	0.012"	83.3 pc
α Scorpii	0.005"	200 pc

FIGURA 7: Algumas paralaxes heliocêntricas de estrelas e respectivas distâncias.

Fonte: <http://each.uspnet.usp.br/ortiz/classes/Brilho_Lum.pdf>

B.6.3 O parsec

Por definição, 1 parsec ou 1 pc é a distância na qual uma unidade astronômica é vista sob o ângulo de 1" de arco, quando observada ao longo de uma direção que lhe é perpendicular (Figura 8). Sendo assim, **1 pc é igual a 3,26 anos-luz, ou 206.265 UA, ou ainda 30,9 trilhões de quilômetros**. Se conhecemos a chamada "paralaxe heliocêntrica" (que utiliza o diâmetro da órbita da Terra como linha de base) de um determinado objeto, expressa em segundos de arco, podemos obter a sua distância em parsecs pela expressão:

$$D(\text{pc}) = \frac{1}{p(\text{"})}$$

Onde "D" é a distância em parsecs e "p" é a paralaxe do astro em segundos de arco, cuja distância queremos medir. A Figura 8 ilustra bem, a definição de parsec. Observe que, para uma paralaxe de 1" de arco, a distância até a estrela imaginária considerada é de 1 parsec, mas que, se variarmos esta distância, a paralaxe heliocêntrica do objeto também irá variar. Quanto maior a distância, menor será a paralaxe. A medida que a paralaxe vai diminuindo vai se tornando cada vez mais difícil determinarmos a distância até o astro por triangulação. Enquanto ela ainda puder ser medida, será possível determinar a distância tomando o diâmetro da órbita da Terra como linha de base. Se a paralaxe for medida em radianos, a unidade de medida da distância "D" na expressão acima será a "unidade astronômica" (UA). Sabe-se que **1" = 4,848 x 10⁻⁶ radianos**.

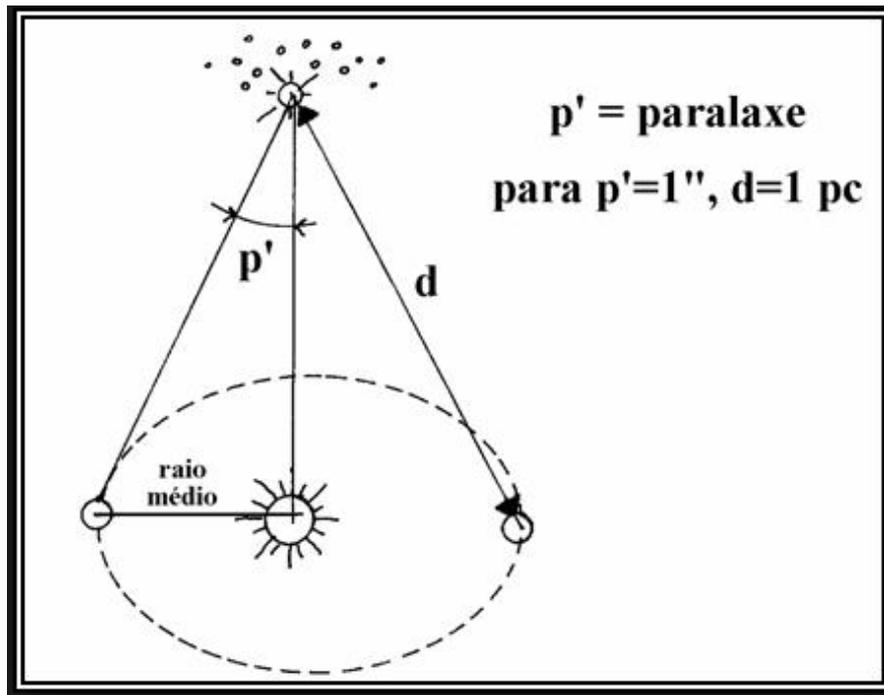


FIGURA 8: Definição de parsec. Fonte:

<http://www.gea.org.br/historia/2003postilaleituradoceu_arquivos/image032.jpg>

EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM

- 1) A estrela mais próxima da Terra, a *Próxima Centauri*, possui uma paralaxe de $0,76''$. Determine sua distância até a Terra em Km, UA, anos-luz e parsec.

$$d = \frac{1}{p''} = \frac{1}{0,76''} = \mathbf{1,31 \text{ parsec.}}$$

$$d = \frac{1}{p(\text{rad.})} = \frac{1}{0,76 \times 4,848 \times 10^{-6}} = 0,27 \times 10^6 = \mathbf{2,7 \times 10^5 \text{ UA.}}$$

$$d = 1,31 \times 3,26 \text{ anos-luz} = \mathbf{4,27 \text{ anos-luz.}}$$

$$d = 2,7 \times 10^5 \times 1,496 \times 10^8 \text{ Km} = \mathbf{4,04 \times 10^{13} \text{ Km.}}$$

- 2) Existem cerca de 160 aglomerados globulares na nossa galáxia, a Via-Láctea, com centenas de milhares de estrelas. Um destes aglomerados é chamado de NGC 5139 e está a 17.000 anos-luz da Terra na constelação de Centauro. Determine esta distância nas unidades Km, UA e parsec.

$$17.000 \text{ anos-luz} = 17 \times 10^3 \times 9,46 \times 10^{12} \text{ Km} = \mathbf{1,6 \times 10^{17} \text{ Km.}}$$

$$17.000 \text{ anos-luz} = 17 \times 10^3 \times 9,46 \times 10^{15} \text{ m} \times \frac{1}{1,496 \text{ m}} \times 10^{-11} \text{ UA} = \mathbf{1,07 \times 10^9 \text{ UA.}}$$

$$17.000 \text{ anos-luz} = 17.000 \div \frac{1}{3,26} \text{ pc} = \mathbf{5.215 \text{ pc.}}$$

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

- 1) Sabendo-se que Netuno está a 30 UA do Sol, responda:
 - A) Qual é a paralaxe geocêntrica de Netuno?
 - B) Qual é a paralaxe heliocêntrica de Netuno?
- 2) Sabendo-se que a paralaxe heliocêntrica de Spica é $0,013''$ de arco, responda:
 - A) Qual é a distância de Spica em UA, ano-luz e quilômetros?
 - B) Qual seria a paralaxe de Spica se fosse medida por um observador na Lua, usando como linha de base o raio da órbita lunar em torno da Terra, de 384.000 Km?
 - C) Qual seria a paralaxe heliocêntrica de Spica se ela fosse medida de Marte?
- 3) Durante uma particular oposição de Marte, esse planeta foi observado simultaneamente de dois pontos do equador da Terra, um onde ele estava nascendo e outro onde ele estava se pondo. Sua direção entre as estrelas vistas dos dois pontos de observação diferiam de $41''$ de arco. Qual era a distância de Marte em UA, anos-luz e parsecs nesta oposição?
- 4) Próxima Centauri tem uma paralaxe heliocêntrica de $0,76''$ de arco. Determine sua distância em UA, ano-luz e parsec.
- 5) Quando em máxima aproximação à Terra, Marte tem uma máxima paralaxe geocêntrica de $23,2''$. Calcule a distância de Marte à Terra em quilômetros.
- 6) Para uma estrela, é medida uma paralaxe de $0,2''$ de arco. A) Qual a distância desta estrela? B) Se essa estrela tiver uma companheira situada a 1 UA dela, qual será a separação angular entre elas?

B.7 MAGNITUDES, LUMINOSIDADE E FLUXO

B.7.1 Magnitudes

Hiparco foi o inventor do astrolábio e introduziu um sistema de classificação de brilho para as estrelas denominado “sistema de magnitudes” ou “grandezas” estelares por volta de 150 A.C. Nesse sistema, Hiparco distribuiu o brilho das estrelas por seis classes de grandezas estelares, de maneira que fossem inversamente proporcionais ao seu brilho. Assim, quanto maior a grandeza de uma estrela, menor seria o seu brilho. Ele atribuiu às estrelas mais brilhantes do céu uma magnitude $m=1$, às um pouco menos brilhantes do que as primeiras, uma magnitude $m=2$, e assim por diante até que todas as estrelas visíveis por ele tivessem valores de magnitude de 1 a 6. As estrelas de grandeza 6 estariam no limite da visibilidade humana, sendo a magnitude correspondente às estrelas menos brilhantes do céu. Hoje seria necessário um local sem poluição luminosa para podermos vê-las e, mesmo assim, iria depender do observador. Portanto, o sistema de magnitude é baseado no quanto as estrelas são brilhantes a olho nu.

Devido ao uso de instrumentos óticos que estenderam a precisão com que são feitas as medidas e a visibilidade de objetos muito mais tênues, a escala de grandeza é atualmente muito mais vasta, incorporando números negativos, fracionários e maiores do que 6. Afinal, sabemos que, ao contrário da época de Hiparco, as estrelas não estão presas a nenhuma esfera de cristal, mas sim a distâncias ou profundidades diferentes no céu. Passaremos agora a descrever os parâmetros e conceitos necessários à determinação de distâncias através deste método. São eles: luminosidade, fluxo de luz, magnitude aparente e magnitude absoluta.

B.7.2 Luminosidade

Chama-se “luminosidade” de uma estrela à potência luminosa que ela emite em todas as direções. É bom lembrar que “potência luminosa” é, na verdade, energia radiante por unidade de tempo que, no SI, teria para unidade Joules/segundo (J/s), que corresponde ao Watt (W).

A luminosidade “L” de uma estrela de raio R pode ser expressa em função da área e da temperatura de sua superfície: $L = 4\pi R^2 \sigma T^4$ (1)

Onde:

R = raio da estrela (aproximando-a como uma esfera);

T = temperatura na superfície da estrela (chamada fotosfera);

σ = constante de Stefan-Boltzman: $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$

EXERCÍCIO DE APRENDIZAGEM

- 1) Sabendo que a temperatura na superfície do Sol é de 5785 K e seu raio é $6,96 \times 10^8$ metros, utilize a equação (1) para calcular a luminosidade do Sol.

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4$$

$$L = 4 \times 3,14 \times (6,96 \times 10^8)^2 \times 5,67 \times 10^{-8} \times 5785^4$$

$$L = 3,86 \times 10^{18} \times 10^{16} \times 10^{-8}$$

$$L = 3,86 \times 10^{26} \text{ Watts.}$$

B.7.3 Fluxo de luz

Outra quantidade muito importante para a determinação de distâncias até as estrelas é o fluxo "F", definido como sendo a potência luminosa, por unidade de área, que incide ou cruza uma determinada área perpendicular à direção de propagação da luz. É bom frisar que o fluxo da radiação emitido por uma fonte puntiforme, como uma estrela ou astro distante, cai com o quadrado da distância "d", de forma que o fluxo que chega à Terra é muito menor do que o fluxo na superfície do astro, estando diluído por um fator de $1/d^2$. O fluxo na superfície de uma estrela é obtido pela razão entre sua luminosidade e a área de sua superfície.

$$F = \frac{L}{4\pi R^2} \text{ W/m}^2$$

Na equação acima, "L" é a luminosidade intrínseca, que é a energia total emitida por unidade de tempo em todas as direções. O fluxo a uma distância "d" da estrela, será:

$$F = \frac{L}{4\pi d^2}$$

Exercício de aplicação

- 1) Calcule o fluxo luminoso na superfície do Sol. Em seguida, tome o valor da "UA" em metros e calcule o fluxo do sol na superfície do nosso planeta.

Fluxo na superfície do Sol:

$$F = L/4\pi R^2$$

$$F = 3,86 \times 10^{26} / 4 \times 3,14 \times (6,96 \times 10^8)^2$$

$$F = 6,34 \times 10^{-3} \times 10^{26} \times 10^{-16}$$

$$F = 6,34 \times 10^7 \text{ W/m}^2$$

Fluxo produzido pelo Sol na superfície da Terra:

$$F = L/4\pi r^2$$

$$F = 3,86 \times 10^{26} / 4 \times 3,14 \times (1,496 \times 10^{11})^2$$

$$F = 0,1373 \times 10^{26} \times 10^{-22}$$

$$F = 1,37 \times 10^3 \text{ W/m}^2$$

B.7.4 Magnitude aparente

Como já sabemos determinar a **luminosidade** e o **fluxo** de uma estrela, podemos falar agora sobre sistema de magnitudes. A magnitude ou grandeza de uma estrela, é determinada a partir da medida do fluxo de luz proveniente da estrela. A escala de Hiparco era baseada na sensibilidade da visão humana, que segue uma escala aproximadamente logarítmica.

O **brilho aparente** de um astro é o fluxo medido na Terra e, normalmente, é expresso em termos de **magnitude aparente (m)**. O astrônomo inglês Norman R. Pogson (1829-1891) percebeu que as estrelas que Hiparco classificara como de 1ª magnitude eram cerca de 100 vezes mais brilhantes do que as de 6ª magnitude. Em 1856 ele propôs uma definição matemática de **magnitude aparente** que se assemelhasse à de Hiparco cuja expressão é:

$$m = -2,5 \log \left(\frac{F_v}{F_o} \right)$$

Onde:

F_v = fluxo visual da estrela considerada;

F_o = fluxo visual de estrela *Vega*, que, por definição, tem magnitude zero.

Vega (α Lyrae)	0.00
Acrux (α Crucis)	+0.77
Mimosa (β Crucis)	+1.25
Rubídea (γ Crucis)	+1.59
Markab (α Pegasi)	+2.49
Mesartim (γ Arietis)	+3.88
Sirius (α Canis Majoris)	-1.6
Júpiter	-1.8 ~ -2.1
Vênus	-3.9 ~ -4.4
Lua Cheia	-12.6
Sol	-26.7

FIGURA 9: Algumas magnitudes aparentes visuais. Fonte: <http://each.uspnet.usp.br/ortiz/classes/Brilho_Lum.pdf>

EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM

- 1) Qual é a magnitude aparente de uma estrela cujo brilho aparente é 10 vezes menor do que Vega?

$$m = -2,5 \text{ Log } (F_v/F_o)$$

$$m = -2,5 \text{ Log } (0,1F_o/F_o)$$

$$m = -2,5 \text{ Log } (1/10)$$

$$m = 2,5 \text{ Log } 10$$

$$m = 2,5$$

- 2) Quantas vezes uma estrela A de magnitude 2,0 é mais brilhante do que uma estrela B de magnitude 5,5.

$$m_A = -2,5 \text{ Log } (F_A/F_o) \text{ e } m_B = -2,5 \text{ Log } (F_B/F_o)$$

Subtraindo essas equações teremos:

$$m_A - m_B = -2,5 (\text{Log } F_A - \text{Log } F_o) - (-2,5 (\text{Log } F_B - \text{Log } F_o))$$

$$m_A - m_B = -2,5 (\text{Log } F_A - \text{Log } F_o + \text{Log } F_B + \text{Log } F_o)$$

$$m_A - m_B = -2,5 (\text{Log } F_A - \text{Log } F_B)$$

$$m_A - m_B = -2,5 (\text{Log } F_A/F_B)$$

$$2 - 5,5 = -2,5 \text{ Log } (F_A/F_B)$$

$$-3,5 = -2,5 \text{ Log } (F_A/F_B)$$

$$\text{Log } (F_A/F_B) = 1,4$$

$$F_A/F_B = 10^{1,4} = 25,1$$

Portanto, a estrela A é 25,1 vezes mais brilhante que a estrela B.

- 3) Quantas vezes uma estrela A de magnitude aparente 1,0 é mais brilhante que uma estrela B de magnitude aparente 6,0?

$$1 - 6 = -2,5 \text{ Log } (F_A/F_B)$$

$$-5,0 = -2,5 \text{ Log } (F_A/F_B)$$

$$2 = \text{Log } (F_A/F_B)$$

$$F_A/F_B = 10^2 = 100$$

Portanto, a estrela A é 100 vezes mais brilhante que B conforme a proposta de Pogson, coerente com a de Hiparco.

Alguns objetos vão além dos limites originais do sistema de magnitudes concebido por Hiparco, cujos valores estavam no intervalo de 1 a 6. Alguns objetos bem brilhantes podem ter magnitude $m=0$, ou mesmo negativa, enquanto objetos invisíveis a olho nu, tem magnitude $m>6$.

Escala de magnitude aparente estendida: inclui objetos mais fracos (que $m=6$) e mais brilhantes ($m=1$)

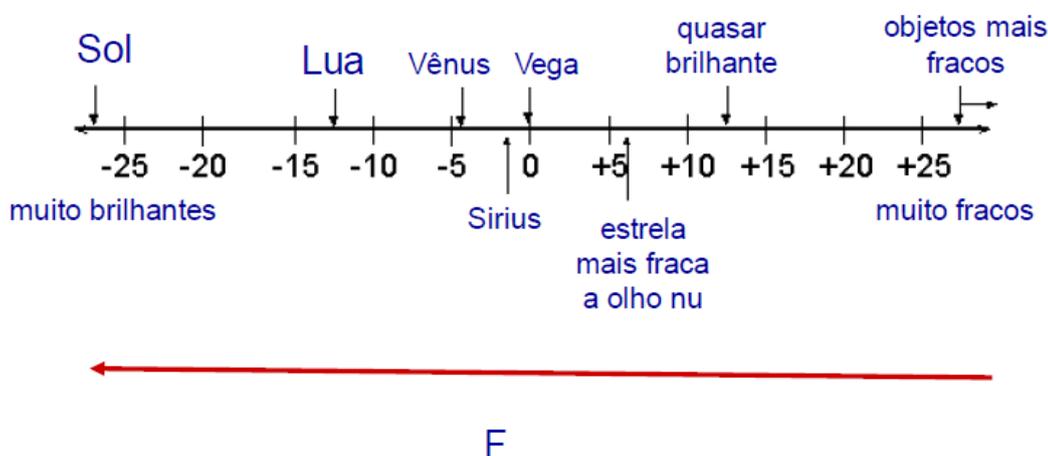


Figura 10: Escala de magnitude aparente. Fonte: http://www.if.ufrgs.br/oei/stars/magsys/prop_st.htm

B.7.5 Magnitude Absoluta

Por definição, a **magnitude absoluta** de uma estrela é a magnitude que a estrela teria se estivesse localizada a uma distância de 10 parsec. A comparação entre **magnitude aparente** e **magnitude absoluta** é bastante útil na determinação da distância até as estrelas. Essa determinação se faz através do **módulo de distância**, definido pela diferença $m - M$:

$$m - M = 5 \log d/10$$

Onde "d" é medido em parsecs.

É importante notar que, neste caso, estamos supondo ausência de extinção interestelar (diminuição geral na intensidade da luz das estrelas pela matéria interestelar), que, em certos casos, deve ser considerada.

EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM

1. Em termos de variação de fluxo, o que representa uma diferença de 5 em magnitude? E uma diferença de 1 em magnitude? E uma de 3?

Na escala de magnitudes, uma diferença de magnitude igual a 1 corresponde a um fator de $100^{1/5}$ ou aproximadamente, 2,512 em fluxo. Uma diferença de magnitude igual a 3 corresponde em fluxo a $2,512^3$. Já, uma diferença de

magnitude igual a 5 corresponde em fluxo a $2,512^5$. Resumindo, uma estrela de magnitude 1 é $2,512^3$ vezes mais brilhante que uma estrela de magnitude 4 ($4-1=3$) e $2,512^5$ mais brilhante que uma estrela de magnitude igual a 6 ($6-1=5$).

2. Objetos mais brilhantes têm magnitude aparente m maior ou menor do que objetos tênues?

Objetos mais brilhantes (de maior fluxo), tem magnitude aparente menor do que os objetos mais tênues.

3. Qual a diferença entre magnitude aparente (m) e magnitude absoluta (M)?

A magnitude aparente m está relacionada ao fluxo de uma estrela medido por nós enquanto a magnitude absoluta está relacionada à magnitude que uma estrela teria se estivesse a 10 pc de nós.

4. Ordene os seguintes objetos de acordo com seu fluxo, dadas as suas magnitudes aparentes (ordene do mais tênue ao mais brilhante): Sol (-26.7), Vênus (-4.4), Estrela de Barnard (9.5), Sirius (-1.4), Proxima Centauri (11.0).

Proxima centauri, Estrela de Barnard, Sirius, Vênus, Sol.

5. Recebemos um fluxo de 8×10^{-9} Watts/m² proveniente de uma estrela a 2 parsec de distância e cuja magnitude aparente é $m = 1,3$. Qual o fluxo recebido de uma estrela cuja magnitude aparente é $m = 5,3$?

$$F = 8 \times 10^{-9} \text{ W/m}^2, d = 2 \text{ pc}, m = 1, 3.$$

$$F' = 8 \times 10^{-9} \times 2,512^{5,3-1,3}$$

$$F' = 318,54 \times 10^{-9} \text{ W/m}^2$$

A estrela de magnitude $m = 1,3$ é $2,512^4$ ou aproximadamente 40 vezes mais brilhante que a estrela de magnitude 5,3.

6. Sejam duas estrelas idênticas: A e B. A distância de B a nós é 10 vezes maior do que a distância de A até nós. Qual a diferença entre suas magnitudes aparentes?

$$D_b = 10 d_a$$

$$m_a - M = 5 \text{ Log } (d_a/10) \quad (1);$$

$$m_b - M = 5 \text{ Log } (d_b/10) \quad (2);$$

Subtraindo as equações teremos:

$$m_a - m_b = 5 \text{ Log } (d_a/10) - 5 \text{ Log } (d_b/10);$$

$$m_a - m_b = 5(\text{Log } (d_a/10) - \text{Log } (d_b/10));$$

$$m_a - m_b = 5 \text{ Log}((d_a/10)/(d_b/10));$$

$$m_a - m_b = 5 \text{ Log} (d_a/d_b);$$

$$m_a - m_b = 5 \text{ Log} (d_a/10d_a);$$

$$m_a - m_b = 5 \text{ Log} (1/10);$$

$$m_a - m_b = 5(\text{Log} 1 - \text{Log} 10);$$

$$m_a - m_b = 5(0 - 1);$$

$$m_a - m_b = -5.$$

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

- 1) Uma estrela tem magnitude aparente $m=1$. A) Quantas vezes ela ficaria mais fraca se estivesse ao triplo de sua distância? B) Quantas magnitudes mais fraca ela apareceria?
- 2) A magnitude aparente total de uma estrela tripla é $m=0,0$. Uma de suas companheiras possui magnitude igual a 1 e uma outra tem magnitude igual a 2. Qual seria a magnitude de sua terceira companheira?
- 3) A magnitude absoluta (M) é definida como magnitude correspondente a uma distância de 10 pc. A) Qual seria a magnitude visual absoluta M_v de uma estrela que tivesse magnitude aparente no visual de 1,28 e estivesse a uma distância de 150 pc? B) qual é o módulo de distância desta estrela?
- 4) Sobre o Sol: A) Quanto vale sua distância em parsec? B) Quanto vale seu módulo de distância? C) Se sua magnitude aparente é em torno de -26 , qual é sua magnitude absoluta? Qual é a magnitude aparente do Sol visto de Saturno que está a 10 UA de distância do Sol?
- 5) A constante solar, isto é, o fluxo de radiação solar que chega à Terra é de 1390 W/m^2 . A) Encontre o fluxo de radiação na superfície do Sol. (Dado raio do Sol = 700.000 Km e distância Terra-Sol = 150 milhões de quilômetros) B) Quantos metros quadrados da superfície do Sol produzem 1000 MW (megawatts) de energia? C) Encontre a luminosidade do Sol.

B.8 SLIDES DO TERCEIRO ENCONTRO

Slide 1:

Apresentação da aula:



**PROJETO
ESCOLA VIVA**

Terceiro encontro: 07/11/2017
Professor: Carlos Augusto Ferreira.



Slide 2:

Retomando o conceito de luminosidade e fluxo de luz:

- Luminosidade: $L = 4\pi R^2(\sigma T^4)$ medida em Watts;
- “Energia radiante que a estrela emite em todas as direções”;
- Fluxo de luz na superfície de uma estrela: $F = L/4\pi R^2$;
- Fluxo de luz a uma distância “d” da estrela: $F = L/4\pi d^2$;
- “Energia radiante, por unidade de área, que incide em uma superfície perpendicular à direção do fluxo”.

Slide 3:

Magnitude Aparente:

- $m = -2,5 \text{ Log } (F_v/F_o)$;
- F_v = Fluxo de luz da estrela considerada;
- F_o = Fluxo de luz da estrela Veja que, por definição, possui magnitude zero.

Slide 4:

Algumas magnitudes Aparentes visuais:

Vega (α Lyrae)	0.00
Acrux (α Crucis)	+0.77
Mimosa (β Crucis)	+1.25
Rubídea (γ Crucis)	+1.59
Markab (α Pegasi)	+2.49
Mesartim (γ Arietis)	+3.88
Sirius (α Canis Majoris)	-1.6
Júpiter	-1.8 ~ -2.1
Vênus	-3.9 ~ -4.4
Lua Cheia	-12.6
Sol	-26.7

Fonte: <http://each.uspnet.usp.br/ortiz/classes/Brilho_Lum.pdf>

Slide 5:

Aplicação da expressão de magnitude aparente:

Qual é a magnitude aparente de uma estrela cujo brilho é 10 vezes menor que Vega?

Slide 6:

Magnitude Absoluta:

- É a magnitude de uma estrela quando ela se encontra a 10 pc do ponto onde é feita a medida;
- A expressão $m - M = 5 \text{ Log } (d/10)$ onde "d" é medido em parsec, fornece o módulo de distância m - M.

Slide 7:

Aplicação da expressão de magnitude Absoluta:

A magnitude absoluta de uma estrela é -4,6 enquanto sua magnitude aparente é 1,28. Determine a que distância esta estrela se encontra.

Slide 8:

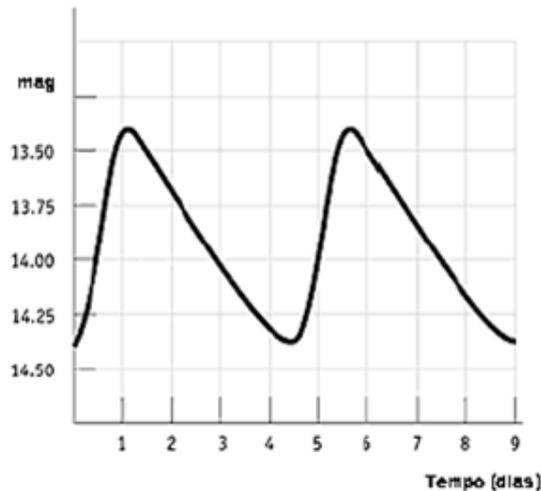
As variáveis Cefeidas como vela padrão de medida de distâncias em Astronomia:

- Em 1912, por intermédio de Henrietta Leavitt, as variáveis Cefeidas tornaram-se uma poderosa régua ou vela padrão para medir distâncias;

- Leavitt descobriu nesta categoria de estrelas, uma propriedade chamada período-luminosidade, que permitia o uso das mesmas como indicadores de distâncias;
- Variáveis Cefeidas são estrelas supergigantes, mais luminosas que o Sol que variam periodicamente o seu volume e, em consequência, a sua luminosidade.

Slide 9:

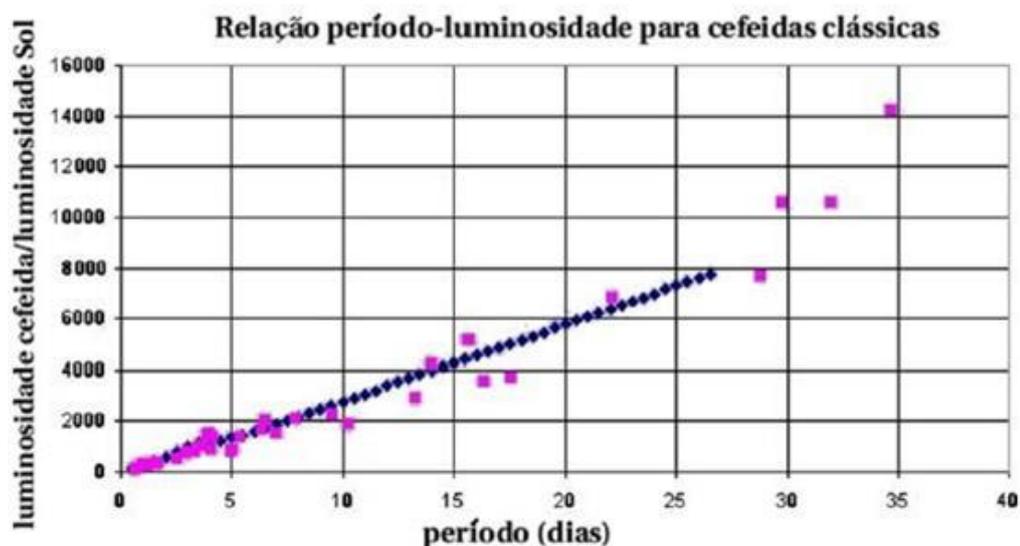
Curva de luz de uma Cefeida típica, com período de 4,5 dias:



Fonte: <<https://www.if.ufrgs.br/cref/gttp/exercicios/cefeidas/Cefeidas2-professor.pdf>>

Slide 10:

Luminosidade da Cefeida como função do período de variabilidade:



Fonte: <<https://www.if.ufrgs.br/cref/gttp/exercicios/cefeidas/Cefeidas2-professor.pdf>>

Slide 11:

Aplicação do método da variável Cefeida como vela padrão:

- 5) Encontrou-se na Pequena Nuvem, uma Cefeida cujo período era de 10 dias e cujo fluxo luminoso era de $1,4672 \times 10^{-14} \text{ W/m}^2$;
- 6) Próxima a esta Cefeida havia uma estrela cuja magnitude aparente era de 15,16 e seu fluxo luminoso era de $1,31 \times 10^{-14} \text{ W/m}^2$;
- 7) A magnitude absoluta do Sol é de 4,74;
- 8) Determine a que distância a Pequena Nuvem encontra-se de nós.

Slide 12:

Pequena e Grande Nuvem de Magalhães:



Fonte: <<https://www.if.ufrgs.br/cref/gtpp/exercicios/cefeidas/Cefeidas2-professor.pdf>>

Slide 13:

Roteiro para o cálculo da distância pelo método das variáveis Cefeidas como vela padrão:

- 1º) Obter o período e a magnitude aparente m_{cef} da Cefeida (isso pode ser obtido por meio de medidas diretas, com telescópios);
- 2º) Procure no gráfico período-luminosidade a relação L_{cef}/L_{sol} ;
- 3º) Calcule a magnitude absoluta da Cefeida pela expressão:
$$M_{cef} - M_{sol} = -2,5 \text{ Log} (L_{cef}/L_{sol}) ;$$
- 4º) Encontre agora a distância pela expressão do módulo de distância:
$$m_{cef} - M_{cef} = 5 \text{ Log} (d/10).$$

B.9 AS VARIÁVEIS CEFIDAS COMO RÉGUA PARA MEDIR DISTÂNCIAS

Como medir as distâncias até as estrelas? E às galáxias? O brilho com que enxergamos os astros não é uma medida confiável, pois esse brilho depende tanto da distância em que ele se encontra de nós quanto de quão brilhante ele é intrinsecamente, isto é, de quanta energia ele emite. A primeira medição a uma estrela por um método confiável só se realizou no século XIX, em que se utilizou um método geométrico para medir as distâncias de algumas estrelas, o método da paralaxe. Porém este método estava restrito a distâncias não maiores que 150 pc ou 500 anos-luz. No início do século XX, Henrietta Leavitt apresentou um estudo detalhado de uma classe especial de estrelas variáveis, as Cefeidas, e descobriu, nesta categoria de estrelas, características únicas que permitiam o uso das mesmas como indicadores de distâncias. O método descoberto por Leavitt foi essencial para se determinar, pela primeira vez, a distância da Grande Nuvem de Magalhães e a de Andrômeda, o que provou que estas galáxias estavam separadas de nossa Via-Láctea. Os astrônomos passaram a utilizar as Cefeidas para determinar grandes distâncias, de até 20 Mpc ou 60 milhões de anos-luz. A partir desse método, conseguiram e ainda conseguem determinar a distância a sistemas estelares na nossa galáxia e galáxias próximas. Veremos agora, a propriedade das Cefeidas que permite usá-las como velas padrão de distâncias.

B.9.1 Cefeidas como “velas padrão”

As Cefeidas são estrelas supergigantes, muito mais luminosas do que o Sol, que estão numa fase de vida em que são instáveis, aumentando e diminuindo periodicamente o seu tamanho e sua temperatura superficial, o que faz a sua luminosidade variar. Por isso são também chamadas de variáveis pulsantes. Tipicamente, as Cefeidas clássicas têm períodos de alguns dias. A figura 11 mostra a curva de luz de uma Cefeida com período de 4,5 dias. Nesse período, a estrela varia de uma magnitude o seu brilho.

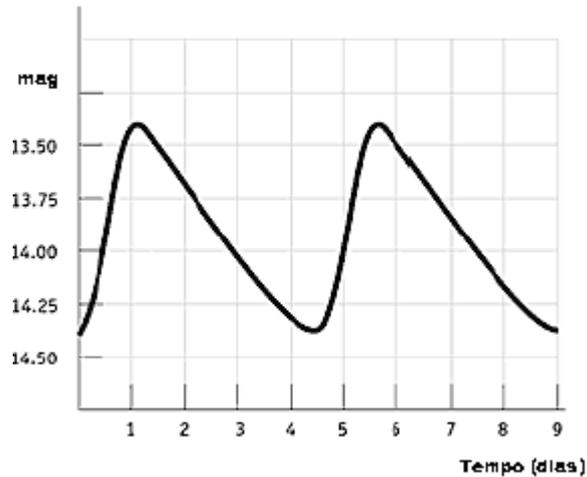


Figura 11: Curva de luz de uma Cefeida clássica típica, com período de 4,5 dias. Fonte: <<https://www.if.ufrgs.br/cref/gttp/exercicios/cefeidas/Cefeidas2-professor.pdf>>

As Cefeidas não tem, todas, o mesmo brilho intrínseco. Leavitt descobriu que existe uma relação bem estreita entre sua luminosidade média – a quantidade de energia emitida pela estrela em todas as direções por unidade de tempo – e o período de variabilidade de sua luminosidade. Essa relação se chama “relação período-luminosidade” e está mostrada na figura 12.

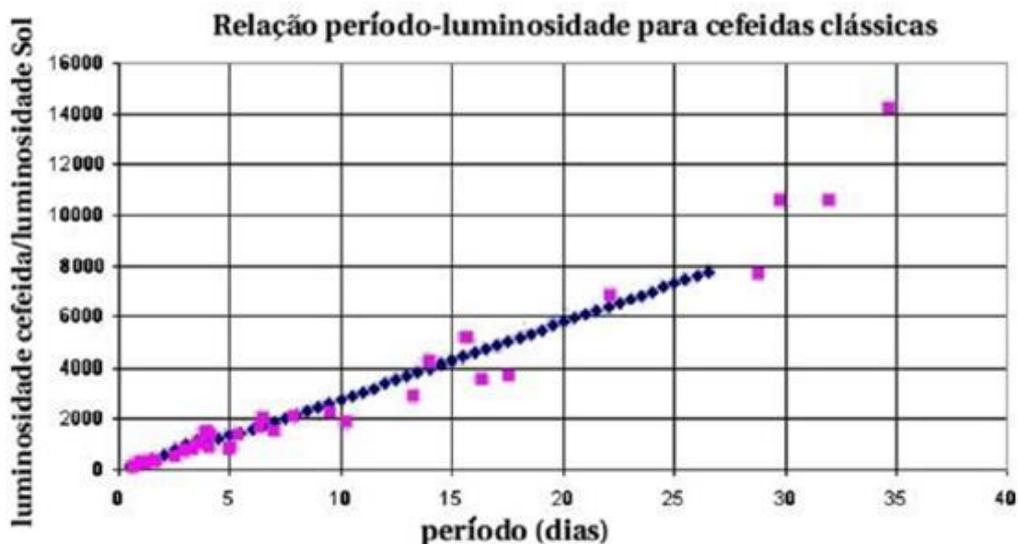


Figura 12: Luminosidade da Cefeida (em unidades solares) como função do período de variabilidade. Fonte: <<https://www.if.ufrgs.br/cref/gttp/exercicios/cefeidas/Cefeidas2-professor.pdf>>

Analisando o gráfico da figura 12, pode-se notar que as Cefeidas mais luminosas têm seu período de variação mais longo do que as menos luminosas. Por exemplo: Para $L_{cef}/L_{sol} = 2.000$, $P=7$ dias. Isto significa que uma Cefeida cuja luminosidade é 2.000 vezes a luminosidade do Sol, tem período de flutuação igual a 7 dias. Os astrônomos normalmente, medem a distância através de um

parâmetro chamado “módulo de distância”, já definido anteriormente. No exercício de aprendizagem abaixo, usaremos o sistema de magnitudes já mencionado, para determinar a distância de uma galáxia na qual encontramos uma Variável Cefeida.

EXERCÍCIO DE APRENDIZAGEM

Neste exercício vamos aplicar o método das Cefeidas para determinar a distância à Pequena Nuvem de Magalhães, uma das duas pequenas galáxias de forma irregular que orbitam a Via-Láctea (ver figura 13). Tanto a Pequena Nuvem de Magalhães quanto a sua companheira maior, são visíveis a olho nu em locais de céu escuro, com pouca poluição luminosa.



Figura 13: Pequena e Grande Nuvens de Magalhães. Fonte: <https://www.if.ufrgs.br/cref/gttp/exercicios/cefeidas/Cefeidas2-professor.pdf>

Para determinar a distância à Pequena Nuvem de Magalhães, analisaremos uma série de imagens de uma pequena região dessa galáxia onde se encontra uma variável Cefeida e algumas estrelas não variáveis que serão usadas como comparação (Figura 14).

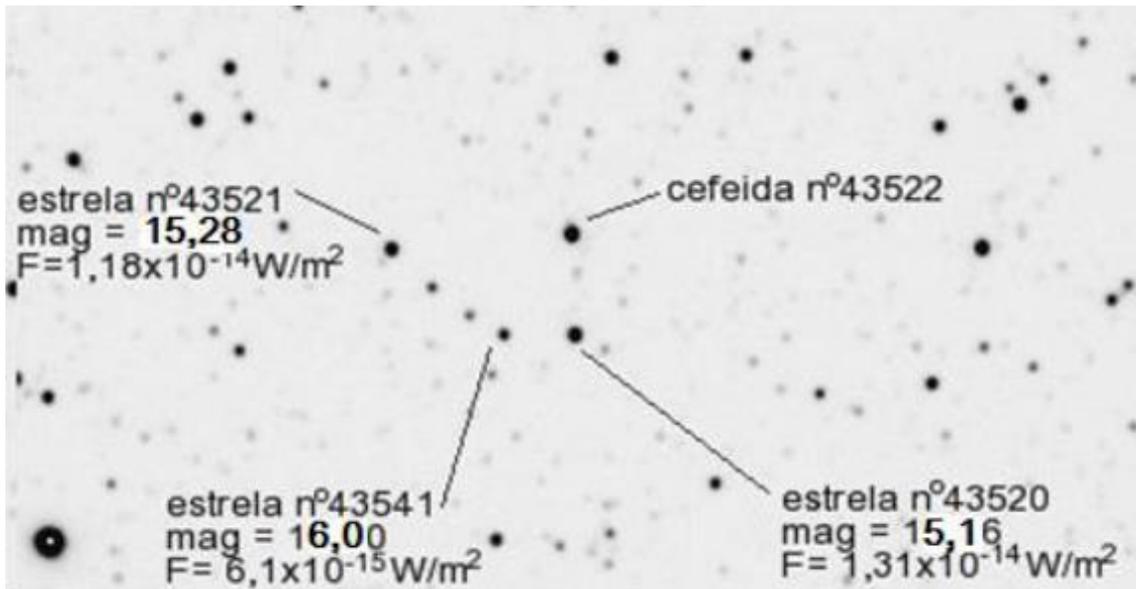


Figura 14: Localização da Cefeida em relação a três estrelas não variáveis. Fonte: <https://www.if.ufrgs.br/cref/gttp/exercicios/cefeidas/Cefeidas2-professor.pdf>

O período desta Cefeida é de 10 dias aproximadamente. O valor da coordenada vertical correspondente no gráfico da figura 2 fica entre 2500 e 3000, ou seja, $2500 < L_{cef}/L_{sol} < 3000$. A magnitude absoluta do Sol é 4,74.

A relação entre os fluxos da Cefeida e das estrelas de referência (F_{cef}/F_{ref}), valem para as estrelas de números 43520, 43521 e 43541; 1,12, 1,35 e 2,52 respectivamente.

Vamos determinar a distância tomando como referência a estrela de número 43520:

A) *Magnitude aparente da Cefeida:*

$$m(ref) - m(cef) = 2,5 \log (F_{ref}/F_{cef})$$

$$15,16 - m(cef) = 2,5 \log 1,12$$

$$m(cef) = 15,16 - 2,5 \log 1,12$$

$$m(cef) = 15,04.$$

B) *Magnitude absoluta da Cefeida:*

Para $L_{cef}/L_{sol} = 2500$ teremos:

$$M_{cef} = 4,74 - 2,5 \log 2500 = -3,75.$$

Para $L_{cef}/L_{sol} = 3000$ teremos:

$$M_{cef} = 4,74 - 2,5 \log 3000 = -3,95$$

C) *Distância da Cefeida;*

Para $M_{cef} = -3,75$

$$m - M = -5 + 5 \log d$$

$$15,04 - (-3,75) = -5 + \log d$$

$$5 \text{ Log } d = 18,79$$

$$\text{Log } d = 3,758$$

$$d = 10^{3,758}$$

$$d = 5.728 \text{ pc}$$

$$\text{Para } M_{\text{cef}} = -3,95$$

$$15,04 - (-3,95) = -5 + \text{Log } d$$

$$5 \text{ Log } d = 18,99$$

$$\text{Log } d = 3,798$$

$$d = 10^{3,798}$$

$$d = 6.280 \text{ pc}$$

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

- 1) Refaça o exercício de aprendizagem calculando a distância tomando como referência as estrelas n°43521 e n°43541.

B.10 SLIDES DO QUARTO ENCONTRO

Slide 1:

Apresentação da aula:



Slide 2:

O que é uma onda? :

- A perturbação que a queda de um objeto provoca na superfície da água provoca o aparecimento de uma onda;
- Existem dois tipos de ondas:
 - A) Ondas mecânicas: ocorre em meios materiais. Ex: som;
 - B) Ondas Eletromagnéticas: Ocorrem em qualquer meio, inclusive o vácuo. Ex: Luz.
- $V = \lambda \times f$.

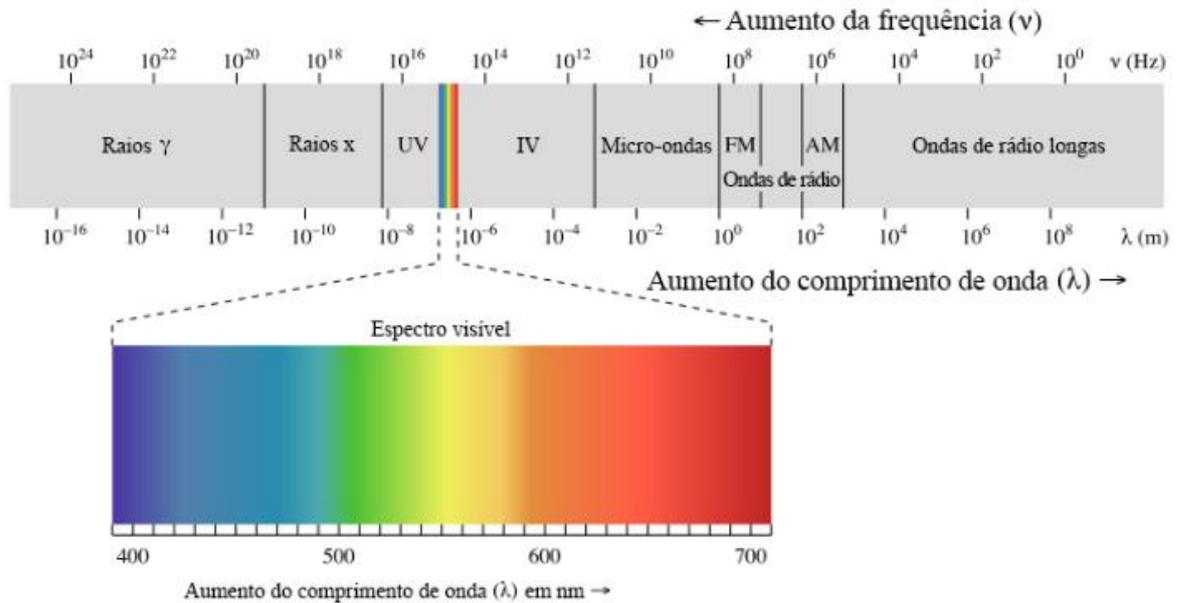
Slide 3:

O que é o efeito Doppler? :

- Consiste em uma alteração aparente da frequência das ondas sonoras quando existe movimento relativo entre a fonte emissora das ondas e o receptor;
- Quando uma fonte se aproxima de um observador parado, a frequência aparente do som que atinge o observador é maior que a frequência real do som emitido pela fonte;
- Quando a fonte se afasta, ocorre o inverso.

Slide 4:

Região visível do Espectro Eletromagnético:



Fonte: <<https://pt.khanacademy.org/science/physics/light-waves/introduction-to-light-waves/a/light-and-the-electromagnetic-spectrum>>

Slide 5:

O milagre da espectroscopia:

- Em química e física, o termo espectroscopia é a designação para toda técnica de levantamento de dados físico-químicos através da transmissão, absorção ou reflexão da energia radiante incidente em uma amostra;
- Logo, a luz proveniente de uma estrela ou galáxia pode nos fornecer informações preciosas a respeito da composição e, inclusive, a respeito do movimento da galáxia, já que a luz é uma onda e, como toda onda, está sujeita ao efeito Doppler.

Slide 6:

O espectrógrafo:



Fonte: <<https://www.astroshop.pt/espectrografo/baader-espectrografo-dados-espectrografo-de-fenda/p,15252>>

Slide 7:

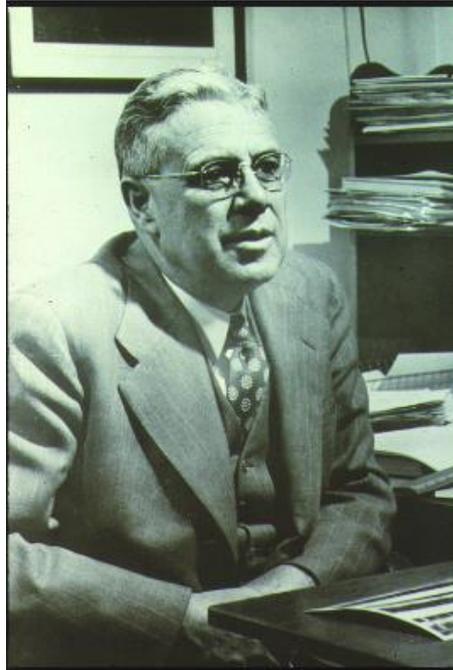
Edwin Powell Hubble (1889-1953):



Fonte: <<https://www.nature.com/news/2011/110627/full/news.2011.385.html>>

Slide 8:

Milton Humason (1891-1972):



Fonte: <<https://espacoastronomico.wordpress.com/tag/milton-humason/>>

Slide 9:

Observatório de Monte Wilson:



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Observat%C3%B3rio_Monte_Wilson>

Slide 10:

A galáxia de Andrômeda:



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Gal%C3%A1xia_de_Andr%C3%B4meda>

Slide 11:

Os personagens do grande debate:



Harlow Shapley (esquerda) e Herbert Curtis (direita)

Fonte: <<https://imaginecosmos.com/galaxies/milky-way-galaxy/>>

Slide 12:

O red shift (desvio para o vermelho):

- O comprimento de onda aumenta do azul para o vermelho. Em contra partida, a frequência diminui;
- A queda da frequência indica que a fonte, no caso a galáxia, está se afastando do observador parado, no caso, nós;

- Quanto mais distante estiver a galáxia, maior será sua velocidade de afastamento;
- Hubble tinha como assistente, o maior perito em espectroscopia da época, o astrônomo Milton Humason que não possuía uma formação acadêmica;
- $V = H \times d$ onde v = velocidade da galáxia; d = distância da galáxia; H = constante de Hubble;
- $H = 71 \text{ Km. seg}^{-1}. \text{Mpc}^{-1}$.

Slide 13:

A lei de Hubble:



Fonte: <<http://astronomy-universo.blogspot.com.br/2011/04/>>

Slide 14:

Apliação da lei de Hubble:

O aglomerado de virgem está a 23 milhões de anos-luz da Terra. Utilize a lei de Hubble para determinar sua velocidade de afastamento em Km/s.

B.11 A LEI DE HUBBLE PARA MEDIÇÃO DE DISTÂNCIAS

Em agosto de 1914, o notável astrônomo Vesto Melvin Slipher (1875-1969), apresentou à Sociedade Astronômica Americana o surpreendente resultado de que 14 nebulosas estudadas por ele estavam se afastando de nós com velocidades que chegavam a 1.000 Km/s. Sentado entre os presentes no auditório em Evanston, estava Edwin Hubble (1889-1953). Ninguém tiraria maior proveito do trabalho de Slipher do que o jovem Hubble. O que são nebulosas? Que proveito tirou Hubble do trabalho de Slipher? Qual a importância do trabalho de Hubble para a medida de distâncias? Como se chama o novo ramo das ciências que surgiu de seu trabalho? Esta e outras perguntas serão respondidas no tópico seguinte.

Outra técnica muito utilizada para determinação de distâncias é a que usa estimativas de velocidades por meio do efeito Doppler, detectado pelo deslocamento de linhas espectrais na luz emitida pela fonte. De posse desta velocidade aplica-se a “Lei de Hubble”:

$$V = H_0 \times d$$

Quando uma fonte sonora se aproxima ou se afasta de um observador, notamos uma variação na sua frequência. Ao aproximar-se, o som torna-se mais agudo (frequência maior) e, ao afastar-se, o som torna-se mais grave (frequência menor). Este efeito é denominado “efeito Doppler”, o que também ocorre com ondas eletromagnéticas, ou seja, com a luz. Para galáxias distantes, Hubble havia descoberto que, em praticamente todos os casos, os comprimentos de onda estão desviados para o vermelho (*redshift*), desvio este que aumenta com a distância. A inclinação da reta que encontramos quando contruímos um gráfico em que colocamos a distância nas abscissas e a velocidade nas ordenadas é uma constante cosmológica fundamental, denominada “constante de Hubble” (H_0). Na equação acima, podemos perceber que a dimensão de H_0 é do inverso do tempo.

$$H_0 = 71 \text{ Km.s}^{-1}.\text{Mpc}^{-1}$$

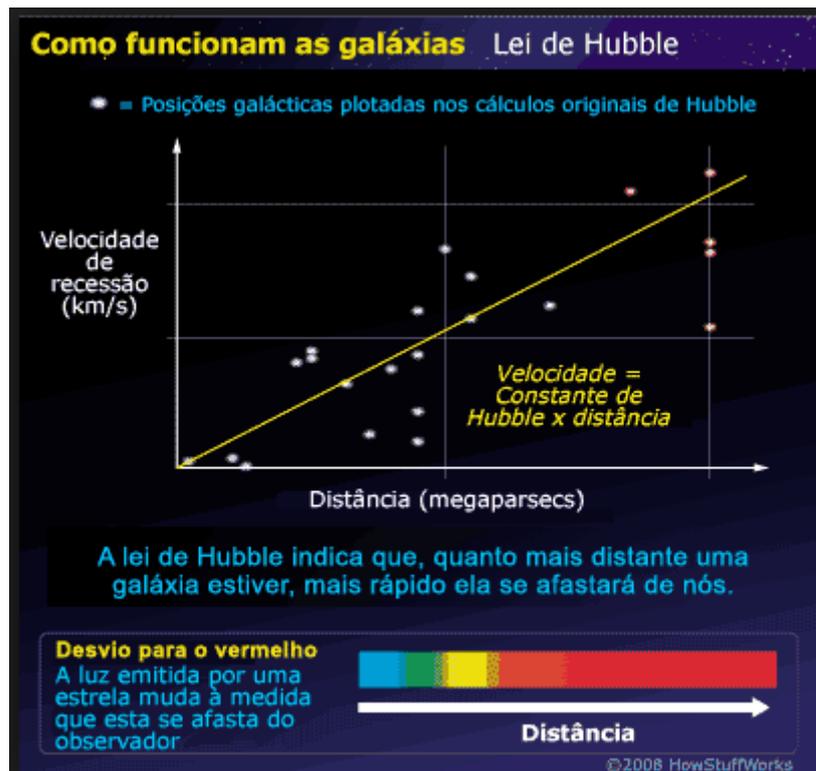


Figura 15: Gráfico construído por Hubble para estabelecer a sua lei. Fonte: <http://astronomy-universo.blogspot.com.br/2011/04/>

Até a primeira metade dos anos 20 do século passado, os cientistas ainda não sabiam o que eram as nebulosas. Seriam simples nuvens, dentro da nossa Via-Láctea ou seriam universos distantes, fora da nossa galáxia? O astrônomo norte americano Harlow Shapley (1885-1972) não acreditava na existência de mundos além da Via-Láctea. Seu conterrâneo Herbert Curtis (1872-1942), posicionava-se contrário à posição de seu colega. Na opinião de Curtis, o universo não se restringia à nossa galáxia. Os dois travaram, o que ficou conhecido como, o grande Debate, que dividiu os cientistas da época em dois grupos, cada um apoiando um dos astrônomos americanos. Na madrugada de 5 para 6 de outubro de 1924, Edwin Hubble encontrou na nebulosa de Andrômeda uma variável Cefeida. Usou o método desenvolvido por Henrietta Leavitt e encontrou a sua distância. Descobriu que Andrômeda estava muito além da nossa galáxia. A partir da inauguração do novo telescópio de Monte Wilson com o seu espelho côncavo de 2,50 m em novembro de 1917, foi possível observar que as nebulosas são na verdade, universos-arquipélagos, formado por conglomerados de estrelas, muito além do nosso mundo. Estava resolvido o grande debate e a favor de Herbert Curtis.

EXERCÍCIO DE APRENDIZAGEM

- 1) O aglomerado de virgem está a 23 milhões de anos-luz da Terra. Utilize a lei de Hubble para determinar sua velocidade de afastamento em Km/s.

$$23 \times 10^6 \text{ anos-luz} \div 3,3 \text{ anos-luz} = 6,97 \times 10^6 \text{ parsec} = 6,97 \text{ Mpc}.$$

$$V = H_0 \times d$$

$$V = 71 \text{ Km.s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1} \times 6,97 \text{ Mpc}$$

$$V = 494,87 \text{ Km/s}.$$

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

- 1) Sabendo-se que a Lei de Hubble é um argumento a favor da expansão do Universo e que ela pode ser escrita na forma: $V = H \times r$, onde “V” é a velocidade de afastamento das galáxias, “r” é a distância que nos separa dela e “H” é a constante de Hubble, estime a idade do universo dado que $1/H$ possui unidade de tempo e $H = 70 \text{ Km/s/Mpc}$.
- 2) O modelo cosmológico padrão considera que no início do universo houve uma grande explosão ou Big Bang. Explique porque a Lei de Hubble é um forte argumento a favor deste modelo cosmológico.
- 3) Segundo a Lei de Hubble uma galáxia a uma distância de 10 Mpc ($30,9 \times 10^{19} \text{ Km}$) da Via-Láctea, possui velocidade de recessão igual a 710 Km/s. Utilize esta informação para calcular a idade do universo. Compare o resultado com a resposta do exercício 1 acima.
- 4) A figura abaixo mostra uma possível representação gráfica da importante lei cosmológica moderna chamada “Lei de Hubble”. Nela, G1, G2, G3 e G4 correspondem às medidas de **V** e **d** para quatro galáxias distintas. Note que o sistema solar no qual estamos, encontra-se na Via-Láctea que corresponde à origem do gráfico pois, no nosso referencial, toda a nossa galáxia encontra-se parada ($v=0$).

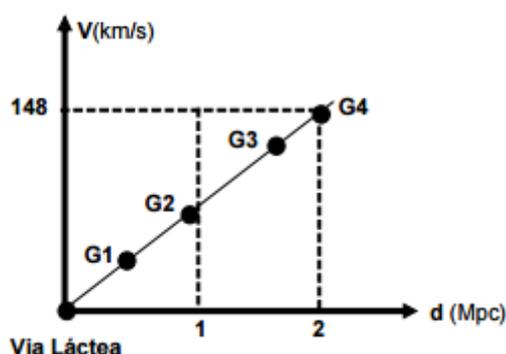


Figura 15: Gráfico do exercício de fixação 4. Fonte:

http://www.anglosj.com.br/fisica/vestibular/FNV_dicas_Unicamp_1f_2008.pdf

- a) Determine o valor da constante de Hubble em Km/s/Mpc;
- b) Um astrônomo mede a velocidade de afastamento de uma galáxia e encontra o valor de 266.400 Km/h. Qual a distância em anos-luz dessa galáxia até a Via-Láctea.

REFERÊNCIAS

BARROW, John D. **A Origem do Universo**. Tradução de Talita M. Rodrigues. 2. Ed. Rio de Janeiro: Rocco, 1995.

BILLINGS, Lee. \$100-Million Plan Will Send Probes to the Nearest Star. **Scientific American**. Disponível em: <<https://www.scientificamerican.com/article/100-million-plan-will-send-probes-to-the-nearest-star1/>>. Acesso em: 19 dez. 2017.

CÂMARA, Airton Lugarinho de Lima. **Introdução à Astronomia do Sistema Solar**. São Paulo: Editora Brasiliense S.A, 1985.

GROUEFF, Stéphane; CARTIER, Jean-Pierre. **O enigma do Cosmo**. Rio de Janeiro: Primor, 1978.

MARAN, Stephen P. **Astronomia Para Leigos**. Tradução de Ricardo Samovick-Rio de Janeiro: Alta Books, 2011.

MORAIS, Antônio Manuel Alves. **Gravitação e Cosmologia: uma Introdução**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2009a.

MORAIS, Antônio Manuel Alves. **Supernovas e Cosmologia**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2009b.

OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. **Astronomia e Astrofísica**. 2ª. Ed. São Paulo: Editora Livraria de Física, 2004.

ROONEY, Anne. **A História da Física**. São Paulo: M. Books do Brasil Editora Ltda, 2013.

VERDET, Jean-Pierre. **Uma História da Astronomia**. Tradução de Fernando Py. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed, 1991.

SINGH, Simon. **Big Bang**. Tradução de Jorge Luiz Calife-Rio de Janeiro: Editora Record, 2000.

WIKIPEDIA. **Powers of Ten**. Disponível em: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Powers_of_Ten_\(film\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Powers_of_Ten_(film))>. Acesso em: 18 dez. 2017.

WIKIPEDIA. **Proxima Centauri**. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Proxima_Centauri>. Acesso em: 19 dez. 2017.

WIKIPEDIA. **Via Láctea**. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Via_L%C3%A1ctea>. Acesso em: 20 dez. 2017.

APÊNDICE C

TRANSCRIÇÃO DAS RESPOSTAS DOS ESTUDANTES AOS QUESTIONÁRIOS INICIAL E FINAL DO PROJETO ESCOLA VIVA

Os alunos foram numerados de A1 a A22. A primeira linha da resposta corresponde ao questionário inicial (Q1), aplicado no início do primeiro encontro, e, a segunda linha, ao questionário final (Q2), aplicado no final do último encontro. Uma linha em branco significa que o aluno não respondeu.

1) Quantos graus possui uma circunferência? E quantos radianos?

A1: 360° e 2 radianos.

A1: 360° e 2 radianos.

A2: 360° e 2π radianos.

A2: 360° e 2π radianos.

A3: 360° e 1 radiano.

A3: 360°.

A4: 290° e 4 radianos.

A4: 360°.

A5: 360°.

A5: 360° e 180°.

A6: 360° e 180 radianos.

A6: 360° e 180π radianos.

A7: 360° e 180 radianos.

A7: 360° e 2 radianos.

A8: 360°.

A8: 360° e 2π radianos.

A9: 360° e 2π radianos.

A9: 360° e 2π radianos.

A10:

A10:

A11: 360° e 2π radianos.

A11: $2\pi r = 3,14$.

A12: 360° e 180 radianos.

A12: 360°.

A13: 360° e 4π radianos.
A13: 360° e 2π radianos.

A14:
A14: 360° .

A15:
A15: 360° e 2π radianos.

A16: 360° .
A16: 360° .

A17: 360° .
A17: 360° .

A18: 360° .
A18: 360° .

A19: 360° e 4 radianos.
A19: 360° e 4 radianos.

A20: 360° e 4 radianos.
A20: 360° e 90 radianos.

A21: 360° e 2π radianos.
A21: 360° e 2 radianos.

A22: 360° e $\frac{\pi}{180}$ radianos.
A22:

2) Faça a figura de um triângulo retângulo, coloque nele um ângulo de 30° e, em relação a este ângulo, identifique com a letra “a” a hipotenusa, com a letra “b” o cateto oposto e com a letra “c” o cateto adjacente.

A1: Faltou colocar o ângulo de 30° .
A1: Fez corretamente.

A2: Fez corretamente.
A2: Fez corretamente.

A3: Fez corretamente.
A3: Fez corretamente.

A4: Fez corretamente.
A4: Fez corretamente.

A5: Fez corretamente.
A5: Fez corretamente.

A6: Fez corretamente.
A6: Fez corretamente.

A7: Fez corretamente.
A7: Fez corretamente.

A8: Fez corretamente.
A8: Fez corretamente.

A9: Fez corretamente.
A9: Trocou as posições dos catetos oposto e adjacente.

A10: Fez corretamente.
A10: Figura incompleta e com a hipotenusa no lugar do cateto adjacente.

A11: Trocou a posição da hipotenusa com o cateto oposto.
A11: não colocou o ângulo de 30° .

A12: Fez corretamente.
A12: Fez corretamente.

A13: Não colocou o ângulo de 30° .
A13: Fez corretamente.

A14:
A14: Não colocou o ângulo de 30° e trocou a posição da hipotenusa com o cateto adjacente.

A15:
A15: Trocou as posições dos catetos oposto e adjacente.

A16: Trocou as posições dos catetos oposto e adjacente.
A16: Fez corretamente.

A17: Não colocou o ângulo de 30° .
A17: Trocou as posições dos catetos oposto e adjacente.

A18: Fez corretamente.
A18: Fez corretamente.

A19: Fez corretamente.
A19: Fez corretamente.

A20: Fez corretamente.
A20: Fez corretamente.

A21: Fez corretamente.
A21: Fez corretamente.

A22: Fez corretamente.

A22: Fez corretamente.

3) Usando o triângulo retângulo da questão anterior, escreva as razões trigonométricas do seno, do cosseno e da tangente de 30° .

A1: Errou as três expressões.

A1:

A2: Fez corretamente.

A2: Colocou os valores no lugar das expressões porém de forma correta.

A3: Fez corretamente.

A3: Fez corretamente.

A4: Colocou os valores no lugar das expressões porém de forma correta.

A4: Colocou os valores no lugar das expressões porém escreveu $\cos 30^\circ = 3/2$.

A5: Escreveu as expressões do seno e da tangente de forma correta porém escreveu $\cos = 30^\circ/a$.

A5: Colocou os valores no lugar das expressões porém escreveu $\cos 30^\circ = 3/2$.

A6: Fez corretamente.

A6: Fez corretamente.

A7: Colocou os valores no lugar das expressões porém de forma correta.

A7: Fez corretamente.

A8: Colocou os valores no lugar das expressões porém de forma correta.

A8: Colocou os valores no lugar das expressões porém de forma correta.

A9: Colocou os valores no lugar das expressões porém escreveu $\cos 30^\circ = \sqrt{2}/2$ e $\tan 30^\circ = \sqrt{2}/3$.

A9: Colocou os valores no lugar das expressões porém de forma correta.

A10:

A10:

A11: Fez corretamente.

A11:

A12:

A12: Colocou os valores no lugar das expressões porém escreveu $\sin 30^\circ = 1/\sqrt{2}$, $\cos 30^\circ = 2/\sqrt{2}$ e $\tan 30^\circ = \sqrt{3}$.

A13:

A13: Fez corretamente.

A14:

A14:

A15:
A15:

A16:
A16: $a - b = c \cos 30^\circ$.

A17:
A17:

A18: Fez corretamente.
A18: Fez corretamente.

A19: Colocou os valores no lugar das expressões porém escreveu $\cos 30^\circ = \sqrt{2}/2$ e $\tan 30^\circ = 1/3$.
A19:

A20: Colocou os valores no lugar das expressões porém escreveu $\tan 30^\circ = 1/3$.
A20: Colocou os valores no lugar das expressões porém de forma correta.

A21: Escreveu corretamente as expressões do cosseno e da tangente de forma correta porém, escreveu $\text{sen.} = a/b$.
A21: Fez corretamente.

A22: Fez corretamente.
A22:

4) Qual é a expressão matemática que fornece o comprimento de uma circunferência?

A1:
A1:

A2: $2\pi r$.
A2: $2\pi r$.

A3: graus.
A3: $2\pi r^2$.

A4: raio.
A4:

A5: $2\pi r$.
A5: $2\pi r$.

A6: $2\pi r$.
A6: $2\pi r$.

A7: 2π .
A7: $2\pi r^2$

A8: 2πr.
A8: 2πr.

A9:
A9: 2πr.

A10:
A10:

A11: Raio.
A11: πr.

A12: πr².
A12: 2πr.

A13: 2πr.
A13: 2πr.

A14:
A14:

A15:
A15: 2π.

A16: 2πr.
A16: 2πr.

A17:
A17: 2πr.

A18: 2πr.
A18: 2πr.

A19: πr².
A19: πr².

A20:
A20: 2πr.

A21: 2πr.
A21: 2πr.

A22: 2πr.
A22: 2πr.

5) Cite três unidades da grandeza comprimento.

A1: metros, pés e milhas.
A1: metros, polegadas e pés.

A2: centímetros, metros e quilômetros.
A2: centímetros, metros e quilômetros.

A3: centímetros, metros e quilômetros.
A3: UA, parsec e ano-luz.

A4:
A4:

A5: centímetros, metros e milímetros.
A5: centímetros, metros e milímetros.

A6: centímetros, metros e quilômetros.
A6: centímetros, metros e quilômetros.

A7: centímetros, metros e quilômetros.
A7: UA, parsec e ano-luz.

A8: metros, jardas, polegadas e acres.
A8: ano-luz, metros e hectares.

A9: centímetros, metros e milímetros.
A9: polegadas, metros e jardas.

A10: centímetros, metros e quilômetros.
A10:

A11: centímetros, decímetros e milímetros.
A11: metro, centímetros e comprimento.

A12: centímetros, metros e milímetros.
A12: metros, centímetros, decímetros, quilômetros e ano-luz.

A13: centímetros, metros e milímetros.
A13: centímetros, metros e quilômetros.

A14:
A14: Parsec e UA.

A15:
A15: comprimentos, metros e milímetros.

A16: centímetros, metros e milímetros.
A16: metros, quilômetros e parsecs.

A17: centímetros, metros e milímetros.
A17: centímetros, metros e hectômetros.

A18: decímetro, decâmetro e milímetro.
A18: centímetros, metros e quilômetros.

A19: centímetros, metros e quilômetros.
A19: centímetros, ano-luz e quilômetros.

A20: centímetros, metros e quilômetros.
A20: centímetros, metros e quilômetros.

A21: centímetros, metros e quilômetros.
A21: quilômetros, ano-luz e parsecs.

A22: centímetros, metros e quilômetros.
A22: centímetros, metros e quilômetros.

6) Quantos segundos tem uma hora?

A1: 3600 seg.
A1: 3600 seg.

A2: 3600 seg.
A2: 3600 seg.

A3: 3600 seg.
A3: 3600 seg.

A4: 160 seg.
A4: 3600 seg.

A5: 3600 seg.
A5: 3600 seg.

A6: 3600 seg.
A6: 3600 seg.

A7: $60 \times 60 = 3600$ seg.
A7: 3600 seg.

A8: 3600 seg.
A8: 3600 seg.

A9: 3600 seg.
A9: 3600 seg.

A10: 60 seg.
A10: 3600 seg.

A11: 60 seg.
A11: 60 seg.

A12: 3600 seg.
A12: 3600 seg.

A13: 3600 seg.
A13: 60 seg.

A14:
A14: 3600 seg.

A15:
A15: 3600 seg.

A16: 3600 seg.
A16: 3600 seg.

A17: 3600 seg.
A17: 3600 seg.

A18: 3600 seg.
A18: 3600 seg.

A19: 3600 seg.
A19: 3600 seg.

A20: 3600 seg.
A20: 3600 seg.

A21: 3600 seg.
A21: 3600 seg.

A22: 60 seg.
A22:

7) O que você entende por uma onda? Cite dois exemplos.

A1:
A1:

A2: Uma onda é uma perturbação que se propaga por um meio. Ondas mecânicas e ondas eletromagnéticas.

A2: Uma perturbação que se propaga por um meio e transporta apenas energia. Mecânica (som) e eletromagnética (luz).

A3: É a perturbação de um sistema.

A3: É a perturbação em um meio. Onda mecânica: precisa de um meio material para se propagar. Ex: ondas sonoras e ondas em uma corda. Ondas eletromagnéticas não precisam de um meio material para se propagar. Ex: luz e ondas de rádio.

A4: Contém vales e cristas.
A4:

A5: Crista e vale.

A5: Onda é a perturbação de um meio. Ondas mecânicas e eletromagnéticas.

A6: Onda é um comprimento que possui uma crista e um vale. Ex: ondas sonoras e eletromagnéticas.

A6: Possui uma crista e um vale. Ex: som e luz. Onda mecânica e eletromagnética.

A7: Onda é uma perturbação em um sistema. Existem as ondas mecânicas (som) e eletromagnéticas (raios x).

A7: Onda é uma perturbação em um meio. Existem as ondas mecânicas e as ondas eletromagnéticas. O som é uma onda mecânica que precisa de um meio para se propagar.

A8: Onda da praia e onda eletromagnética.

A8: Uma interrupção que se propaga. Ondas eletrostáticas e eletromagnéticas.

A9:

A9: Uma perturbação no espaço. Transporte de energia sem matéria. Sonora e eletromagnética.

A10:

A10: Ondas mecânicas e eletromagnéticas.

A11: Ondas eletromagnéticas e ondas solares.

A11: Ondas eletrostáticas e luz.

A12: Ondas são perturbações que ocorrem em um sistema. Ondas mecânicas e eletromagnéticas.

A12: Perturbação no meio. Luz e som. Ondas mecânicas e eletromagnéticas.

A13:

A13: Um tipo de perturbação. Ex: Ondas mecânicas e ondas eletromagnéticas.

A14:

A14: Mecânica e eletromagnética.

A15:

A15: Perturbação eletromagnética.

A16:

A16: Transporte de energia sem transporte de matéria. Ondas mecânicas e ondas eletromagnéticas.

A17:

A17: Uma perturbação do meio. Eletromagnética e mecânica.

A18: Não sei explicar o conceito de ondas mas eu sei ondas eletromagnéticas e ondas do mar.

A18: Uma perturbação no meio, seja ele material ou imaterial. Ondas sonoras (som) e onda luminosa (luz).

A19: Um efeito físico de transporte de energia. Luz e som. Fenômeno físico de transporte e transformação de energia.

A19: Transporte de energia. Luz e som.

A20: As ondas podem ser sonoras.

A20: Onda é a perturbação do meio. Transporte de energia.

A21: Existem dois tipos de ondas: mecânica e eletromagnética. A onda mecânica precisa de um meio material para a sua propagação. Ex: ondas sonoras. Já, a onda eletromagnética não precisa de um meio material. Ex: luz.

A21: Onda mecânica e eletromagnética.

A22:

A22: É uma perturbação em um meio sem propagação de energia, apenas de matéria. Ondas mecânicas e ondas eletromagnéticas.

8) O que é um ano-luz?

A1: É uma grandeza de comprimento.

A1: Uma medida de comprimento.

A2: É uma unidade de distância que equivale a um ano percorrido na velocidade da luz.

A2: É uma unidade de distância equivalente a distância percorrida em um ano pela luz.

A3: É a distância percorrida pela luz.

A3: A distância que a luz percorre em um ano.

A4: Muito tempo.

A4: Quantidade de anos que há.

A5:

A5: 1000 anos.

A6: É uma unidade de medida que mede tempo e distância no espaço.

A6: Unidade de medida do espaço.

A7: É a distância percorrida pela luz em um ano.

A7: É a distância que a luz percorre em um ano.

A8: Uma unidade de medida. A distância que a luz percorre em um ano.

A8: Unidade de medida de comprimento.

A9: É a distância que a luz percorre em um ano.

A9: É a distância que a luz percorre em um ano.

A10: Um ano-luz é uma viagem com a velocidade da luz.

A10:

A11: Um bilhão de Km/h.
A11: Metros dos planetas.

A12: É a distância que a luz percorre em um ano.
A12:

A13: É a distância que a luz percorre em um ano no vácuo.
A13: Quantidade de tempo em que se viaja na velocidade da luz.

A14:
A14: É o tempo que uma coisa leva para alcançar outra coisa na velocidade da luz.

A15:
A15:

A16: É o tempo que a luz leva para se deslocar.
A16: Uma unidade para medir velocidade.

A17: É o tempo que a luz gasta para percorrer determinada distância.
A17: Uma unidade de velocidade.

A18: Ano-luz, é o modo mais comum e usual de se medir distâncias no espaço. É calculado pela distância percorrida em um ano viajando na velocidade da luz.
A18: É a distância percorrida em um ano, viajando à velocidade da luz.

A19: É a distância que a luz percorre em um ano.
A19: É a distância que a luz percorre em um ano.

A20: O quanto a luz demora para percorrer em um ano.
A20: Unidade de medida.

A21: Distância percorrida em um ano, na velocidade da luz.
A21: Unidade de medida.

A22: Distância que a luz percorre no vácuo.
A22: É a distância que a luz percorre em um ano.

9) O que é um satélite natural? Cite em exemplo.

A1: É um corpo que fica rondando em volta de um planeta como a Lua.
A1: Um corpo que roda um planeta. A nossa Lua é um exemplo.

A2: É um corpo que orbita um planeta e não possui grande massa, além de não ter sido feito pelo homem como outros satélites.
A2: Um corpo que orbita planetas. Ex: Lua.

A3: Lua.
A3: É uma estrutura que depende de outra. Ex: Lua.

A4:

A4: Lua.

A5: Um corpo natural. Sol.

A5: São astros que o homem observa no céu.

A6:

A6:

A7: É algo que orbita alguma coisa.

A7: É algo que orbita sobre algum coisa, que depende de outra coisa. Ex: A Lua orbita a Terra.

A8: Não sei definir. Lua orbita a Terra.

A8: Algo que orbita um planeta sem ter sido criado pelo homem. Ex: Lua.

A9: Lua.

A9: Lua e restos de meteoro.

A10: Um satélite natural é o oposto de um satélite artificial.

A10: Lua.

A11: Lua.

A11: Lua.

A12:

A12: Um corpo celeste que orbita um planeta de massa maior do que ele. Ex: Lua e Titã.

A13:

A13: Lua.

A14: Lua.

A14: Lua.

A15:

A15:

A16: É um fragmento de terra que se desprende do planeta e vai para o espaço e fica orbitando no espaço ao redor do planeta. Ex: Lua.

A16: É um fragmento que se desprende de um planeta e fica orbitando em volta dele. Ex: Lua.

A17:

A17: Um corpo que orbita sobre o outro e tem uma origem natural. Ex: a Lua.

A18: Satélite natural é um astro que orbita um planeta que não possui luz própria como por exemplo: nossa Lua e Fobos e Deimos de Marte.

A18: É um corpo celeste que orbita um planeta. Ex: Deimos.

A19: Corpo celeste que orbita um planeta. Ex: Lua.

A19: Um corpo que naturalmente orbita um planeta. Ex: Lua.

A20:

A20:

A21: Um corpo que orbita em torno do outro naturalmente, sem a ação humana.

A21: Lua.

A22: Lua.

A22:

10) Qual a diferença entre um planeta e uma estrela? Cite o nome de uma estrela que você conheça.

A1: A diferença é que uma estrela é quase toda feita de gás. É extremamente quente.
Ex: Cão maior.

A1: Uma estrela transmite a sua luz própria e um planeta, não. Ex: Cão maior.

A2: Uma estrela é um corpo massivo formado por hidrogênio que colide estes átomos em alta velocidade através de enorme aceleração de sua gravidade formando hélio e gerando energia liberada em forma de luz e calor. Já os planetas são compostos por muitos materiais mas mesmo assim, não possuem tanta massa nem liberam tanta energia. Ex: Sol.

A2: A estrela gera energia colidindo os átomos de hidrogênio com sua imensa gravidade. Já os planetas, são apenas aglomerados de matéria.

A3:

A3: Comprimento e do que é composto. Ex: Sol.

A4: Na estrela há luz própria e planeta é um novo mundo. Ex: estrela cadente.

A4: A estrela emite luz própria.

A5: Estrela Dalva.

A5: O planeta não tem luz própria, já a estrela tem.

A6: A estrela é mais antiga. Ex: Sol.

A6: A estrela emite luz. Ex: Sol.

A7: Planeta tem tamanho inferior a uma estrela. Ex: Alpha Centaury.

A7: Tamanho, volume e composição. Ex: Sol e Alpha Centaury.

A8: Planeta: orbita a estrela e têm formação a partir de poeira cósmica. Estrela: bola de gás adicionada a plasma. Ex: Vy Canis Majors.

A8: Estrela é uma massiva fonte de calor e energia. Ex: Vy canis.

A9: Estrela emite luz. Ex: Sol.

A9: Uma estrela é um corpo celeste que emite luz. Ex: Sol.

A10:

A10:

A11: Estrela brilha, planeta não. Ex: Sol.
A11: Sol e Andrômeda.

A12: Planetas possuem órbita elípticas e estrelas emitem luz própria. Ex: Antares.
A12: Estrelas são corpos celestes gasosos com temperatura muito elevada.

A13: Sol.
A13:

A14: Sol.
A14: Estrela emite luz. Sol.

A15: Sol.
A15: Sol.

A16: Estrela Dalva.
A16: O planeta produz uma luminosidade. Já uma estrela, a luz dela possui brilho muito mais forte e ela pisca por conta da intensidade.

A17: As estrelas emitem luz própria enquanto os planetas, não.
A17: A diferença é que as estrelas emitem luz própria. Ex: Sol.

A18: Planetas não possuem luz própria. Exemplo de uma estrela é o Sol.
A18: Um planeta não emite luz própria já as estrelas, sim.

A19: Planetas não emitem luz. Ex: Sol.
A19: Sol.

A20:
A20: Um possui luz própria, o outro não. Ex: Sol.

A21: Os planetas não possuem luz própria.
A21: Estrela possui luz própria. Ex: Sol.

A22: Planeta é aquilo que não emite luz e uma estrela é aquele que emite luz.
A22: A diferença é que o planeta não emite luz própria mas as estrelas sim. Ex: VY Canis Majoris.

11) O que é uma galáxia? Cite pelo menos um exemplo.

A1: É um disco com milhares de anos-luz de diâmetro. Ex: Via-Láctea.
A1: Via-Láctea.

A2: É um aglomerado de sistemas estelares que possuem um buraco negro em seu centro.
A2: Um aglomerado de estrelas e planetas que possuem um buraco negro em seu centro. Ex: Via-Láctea.

A3: É um conjunto de sistemas solares.

A3: É um conjunto de planetas e estrelas. Ex: Via-Láctea.

A4:

A4:

A5: Via-Láctea.

A5: É um conjunto de elementos. Ex: Via-Láctea.

A6: Conjunto de constelações e planetas. Ex: Via-Láctea.

A6: Conjunto de estrelas. Ex: Via-Láctea.

A7: Galáxia é um conjunto de estrelas e planetas e tem no seu centro, um buraco negro.

A7: Galáxia é um conjunto de planetas e estrelas. Ex: Via-Láctea.

A8: Aglomerado de estrelas. Ex: Via-Láctea.

A8: Aglomerado de estrelas. Ex: Andrômeda.

A9: É um conjunto de planetas e estrelas. Ex: Via-Láctea.

A9: É um aglomerado de corpos celestes. Ex: Via-Láctea.

A10: Uma galáxia é um conjunto de sistemas solares.

A10: Galáxia é um conjunto de sistemas solares.

A11: É um conjunto de planetas. Ex: Via-Láctea.

A11: Via-Láctea.

A12: Aglomerado de estrelas que possui no centro, um buraco negro. Ex: Via-Láctea.

A12: É um aglomerado de estrelas e planetas. Ex: Andrômeda.

A13: Via-Láctea.

A13: Via-Láctea.

A14: Via-Láctea.

A14: Via-Láctea.

A15:

A15:

A16: Galáxia é uma nuvem de poeira que se formou após a explosão do big bang e que se separou. Ex: Via-Láctea.

A16:

A17: É um conjunto de estrelas, planetas e corpos celestes. Ex: Via-Láctea.

A17: É um aglomerado de planetas, estrelas e corpos celestes. Ex: Centauros A.

A18:

A18: É um aglomerado de planetas que orbitam uma estrela.

A19: É um aglomerado de corpos celestes e estrelas.

A19: É um aglomerado de corpos celestes. Ex: Andrômeda.

A20: Galáxia é um conjunto de constelações e planetas.

A20: É um conjunto de estrelas, planetas, etc.

A21: É um conjunto de corpos celestes.

A21: É um conjunto de estrelas, etc.

A22:

A22: É um aglomerado de planetas, estrelas e nebulosas. Ex: Andrômeda.

12) Quando olhamos para o céu noturno, observamos que a Lua se apresenta muito maior que as estrelas. Ela é de fato maior? Sim ou não? Se você respondeu não, justifique.

A1: Não. Ela não é maior que as estrelas. Ela parece maior pois a Lua está mais perto de nós que as estrelas.

A1: Não, pois ela está mais perto.

A2: Não, pois ela está mais perto.

A2: Não, pois ela está mais perto.

A3: Não. O que deixa a lua maior é a distância. A Lua está mais próxima da Terra do que o satélite.

A3: Não. Por causa da distância ela está mais perto da Terra.

A4: Sim.

A4: Pois está mais perto.

A5:

A5: Não. Ela parece ser maior por conta do efeito paralaxe.

A6: Não, pois ela está mais perto.

A6: Não, pois ela está mais perto.

A7: A Lua parece maior que as estrelas porém, ela não é maior. Vemos ela parecer maior, pela baixa distância da Terra.

A7: Não. A Lua parece ser maior por estar bem perto da Terra. Já as estrelas estão mais longe.

A8: Não é. Só temos esta impressão porque ela está mais próxima da Terra.

A8: Não. Este fato se dá pela aproximação dela da Terra.

A9: Não, pois ela está mais perto.

A9: Não, pois ela está mais perto.

A10: Não. Porque a Lua é um satélite natural e gira em torno da Terra e, como ele está próximo, ela parece ser maior do que as estrelas, que, na verdade, são bem maiores que a Lua.

A10: Ela parece maior sim porque ela está próxima da Terra, mas ela não é maior que as estrelas.

A11: Não. Pois a Lua está mais perto da Terra do que as estrelas.

A11: Não, pois a quantidade de luz a deixa maior.

A12: Não, pois é a questão da distância. Ano-luz.

A12: Não. Ela está mais perto.

A13: Sim.

A13: Sim.

A14:

A14: Talvez.

A15: Sim.

A15: Sim.

A16: Não, pois a Lua está próxima da Terra, enquanto as estrelas estão muito distantes, por isso vemos a Lua maior que as estrelas.

A16: A Lua é menor pois as estrelas estão a milhares de quilômetros da Terra e a Lua está mais próxima, por isto vemos esta perspectiva.

A17: Não, pois está mais próxima da Terra em relação a outros corpos celestes.

A17: Não, pois está mais próxima de nós em relação às estrelas, por isso a impressão de ser maior.

A18:

A18: Não, porque ela está milhares de quilômetros mais perto.

A19:

A19: Não. Ela está mais perto, logo, naturalmente parece maior.

A20: Não, pela proximidade com a Terra.

A20: Isso se deve, pela proximidade que a Lua está da Terra. Já as estrelas, estão a milhares de anos-luz de nós.

A21: Não. Parece maior por estar mais perto.

A21: Não. Parece maior por estar mais perto.

A22:

A22: Não. Por causa do efeito paralaxe.

13) Um estudante disse que muitas estrelas que vemos hoje no céu, já não existem mais. Será que ele está certo? Sim ou Não? Por que?

A1: Sim, pois vemos a luz de milhares de anos atrás, pois demora muito tempo para a luz chegar até nós, ou seja, as luzes que vemos hoje pode já não ser a mesma que está realmente nesse exato momento.

A1: Sim, pois a estrela pode não existir, mas a luz dela ainda está chegando a Terra.

A2: Sim. Porque a Luz precisa de um tempo para chegar até nós, já que ela possui uma velocidade máxima. Então, a imagem que vemos, pode ser de milhões de anos atrás.

A2: Sim. Porque a luz é uma onda, logo, tem um tempo de propagação (a velocidade). Então, a imagem que vemos pode ser atrasada.

A3:

A3: Sim, porque muito do que vemos, é a luz percorrendo a distância.

A4: Não, pois ainda existem estrelas.

A4: Não.

A5: Sim, pois elas já morreram e o que vemos é só o brilho delas por anos-luz.

A5: Sim. Porque elas tem o tempo de vida e a luz delas viaja anos-luz pelo espaço até chegar na Terra.

A6: Sim. Pois as estrelas também podem deixar de existir.

A6: Sim. Pois as estrelas podem deixar de existir (morrer).

A7: Sim.

A7: Pode ser que sim, pois a luz da estrela, que já não existe mais, porque a distância é tão grande que a luz ainda está aqui e vai demorar, até a luz parar de chegar aqui, por causa da distância.

A8: Sim, pois o tempo que demora para a luz chegar até aqui é tamanho.

A8: Sim, pois elas estão tão distantes que até seu brilho chegar aqui, ela já deixou de existir.

A9: Sim, pois elas tem um tempo de vida.

A9: Sim. Até as estrelas tem tempo de vida.

A10:

A10:

A11: Sim, pois várias estrelas estão mortas mais a gente ainda vê elas pois elas estão na nossa galáxia.

A11: Sim, pois muitas delas já morreram mas conseguimos ver.

A12: Sim, ele está certo, pois o nosso tempo é completamente diferente do que em outras galáxias.

A12: Sim. A luz leva anos-luz para chegar aos nossos olhos e, até isto acontecer, a estrela já morreu.

A13:

A13: Sim.

A14: Sim, pois o brilho, demora a chegar na Terra.

A14: Sim, pois a luz demora a chegar no nosso planeta.

A15: Não.

A15: Sim.

A16: Sim, pois algumas acabam perdendo o seu brilho e quando uma estrela perde seu brilho, ela morre.

A16: Sim, pois algumas estrelas podem ter explodido e a luz delas pode ainda, estar sendo emitida.

A17: Sim, pois muitas delas, estão muitos anos-luz longe, e por isso, podem já não existir enquanto a luz ainda está viajando.

A17: Sim, pois, como a luz gasta muito tempo para alcançar certas distâncias. Quando acontece seu retorno, muitas vezes podem ter ocorrido mudanças consideráveis, drásticas ou até mesmo, a extinção de corpos celestes existentes neste caminho.

A18:

A18: Sim. Porque, pela distância, a luz da estrela demora muito até nos alcançar. Quando ela nos alcança, a estrela pode já ter morrido.

A19:

A19: Sim. Pela distância, a luz de muitas estrelas levam muitos anos-luz para chegar até aqui, e, quando chegam, a estrela pode já ter se apagado.

A20: Não, pois a poluição acaba impedindo de vermos as estrelas no céu.

A20: Sim, pois mesmo que já não existam, a sua luz viaja anos-luz até nós.

A21: Sim, pois a sua luz refletida pode ser de anos-luz atrás, porém, ainda podemos enxergá-la.

A21: Sim, pois a luz demora anos-luz para chegar aqui.

A22:

A22: Sim e não. Sim, pois as estrelas estão a anos-luz da Via-Láctea. Quando elas morrem, a luz que elas emitem, só é vista a milhões de anos-luz da estrela até aqui. Não, pois a estrela pode ter morrido já que a luz que ela emite, demora para chegar aqui.