



## A paralaxe como tema agregador interdisciplinar e a bússola como recurso motivador na aprendizagem ativa da Física

Parallax as an interdisciplinary aggregative theme and the compass as a motivating resource in the active learning of Physics

M. C. S. Rodrigues<sup>1</sup>; S. Scarano Jr<sup>2\*</sup>.

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física, Universidade Federal de Sergipe, 49100-000, São Cristóvão-SE, Brasil

<sup>2</sup>Departamento de Física, Universidade Federal de Sergipe, 49100-000, São Cristóvão-SE, Brasil

\*scaranojr@gmail.com

(Recebido em 30 de novembro de 2021; aceito em 02 de julho de 2022)

---

Em razão da grande quantidade de objetos de conhecimento, o ensino de Física requer estratégias que unifiquem e facilitem a construção das competências necessárias à formação dos estudantes. Neste sentido, o conceito de paralaxe é uma escolha que promove interdisciplinaridade, sem perder o foco na Física. Elaboramos uma sequência didática de Ensino Híbrido utilizando o método colaborativo de Rotação por Estações e uma bússola, como recurso motivador para determinar experimentalmente distâncias de alvos terrestres. Promovemos uma discussão sobre o fenômeno de paralaxe como objetivo principal da medição, como efeito presente no procedimento de medição e como um problema no uso de instrumentos analógicos. Além dos métodos experimentais envolvidos, reforçamos conceitos fundamentais como distância, direção, sentido e incerteza. Também promovemos uma revisão histórica da literatura para fornecer aos professores um repertório sobre como a paralaxe e a bússola se relacionam nas Ciências da Natureza, Matemática, Ciências Humanas, Códigos e Linguagens e suas respectivas tecnologias. Por fim, relatamos a aplicação, fornecendo todo o material, as instruções e as sugestões de como explorar os conceitos aprendidos para empregá-los à paralaxe em Astronomia. Durante a aplicação desta proposta os participantes desenvolveram suas relações interpessoais enquanto aprendiam os conceitos explorados, potencializados por recursos híbridos. Mediram então distâncias por meio de paralaxes com precisão da ordem de 10%, além de apresentarem a análise dos resultados, o que os permitiu desenvolver o senso crítico acerca dos resultados e meios para atingir objetivos científicos.

Palavras-chave: Ensino de Física, paralaxe, bússola.

In reason of a large number of objects of knowledge, Physics teaching requires strategies that unify and facilitate the construction of the skills necessary for the formation of students. In this sense, the concept of parallax is a choice that promotes interdisciplinarity, without losing focus on Physics. We elaborated a hybrid teaching didactic sequence using the Rotation by Seasons method in a collaborative way and a compass, as a motivating resource to determine experimentally distances of earth-based targets. We promoted a discussion about the parallax phenomenon as the main measurement objective, as an effect during the measurement procedure, and as an issue while using analog instruments. In addition to the experimental methods involved, we reinforce fundamental concepts such as distance, direction and uncertainties. We also promoted a historic review in the literature to provide to the teachers a repertoire on how parallax and compass are related to Natural Sciences, Mathematics, Human Sciences, Codes and Languages and their respective technologies. Finally, we report the application, providing the whole material, the instructions, and the suggestions on how to explore the learned concepts to apply parallax in Astronomy. During the application of this material, the participants increased their interpersonal relationships skills while they were learning of the explored concepts, enhanced by hybrid resources. They measured distances through parallax with an accuracy of 10%, in addition to presenting the analysis of the results, which allowed them to develop constructively their critical sense on the methods and means to achieve scientific aims.

Keywords: Physics teaching, parallax, compass.

---

## 1. INTRODUÇÃO

Em nosso cotidiano cada vez mais estamos tomados por recursos de medidas que substituem procedimentos analógicos por digitais. Apesar de se tratar de uma mudança absolutamente conveniente [1], perde-se com ela algo que está tão vinculado com a essência da Física experimental quanto o ato de medir: a noção da incerteza sobre o que se está medindo [2]. A dificuldade que experimentamos ao realizar medidas a partir de leituras em instrumentos cujas escalas são analógicas (como a régua, transferidores, relógios, manômetros, jarras medidoras para líquidos, multímetros e vidrarias de laboratório), também revela a necessidade, mesmo que implícita, de identificar os limites de validade do que é medido [2].

Além das limitações impostas pela escala, o ato de medir pode levar a um erro de leitura provocado pelo desvio aparente do marcador da escala do instrumento durante a medida, devido à observação a partir de uma direção não alinhada à direção da escala [3]. De modo curioso é justamente este desvio angular, conhecido como paralaxe, que permite medir comprimentos, como tamanhos e distâncias, em dimensões nas quais seria impossível obter medidas por comparação direta com um padrão, seja numa escala analógica ou digital. Nestes casos a medida mais direta possível é pelo procedimento de triangulação e a medida da paralaxe.

O procedimento da triangulação é utilizado na medida de grandes distâncias, como a largura de rios a altura de obstáculos, acidentes geográficos, marcas de relevo e construções, seja por meio de medidas diretas ou de satélites usando o GPS. Entretanto, foi em escalas astronômicas que o conceito de paralaxe se consagrou [4].

Frequentemente, quando se fala de paralaxe em Astronomia, se passa da clássica alternância de piscares de olhos frente ao próprio indicador a um desenho exagerando as proporções da órbita da Terra frente às distâncias interestelares, super simplificando o procedimento mais direto de que dispomos para a medida das distâncias das estrelas. Foi apenas em junho de 2020, que o efeito de paralaxe (Figura 1), do modo como comumente registrado em livros [4-6], pôde ser observado diretamente pela Sonda *New Horizons* [7]. Isto é, sem a necessidade de técnicas instrumentais e observacionais como as conduzidas originalmente por Bessel (1838) [8], com um heliômetro, ou as complexas observações com o telescópio espacial Gaia [9]: duas observações simultâneas tomadas a partir de perspectivas diferentes.

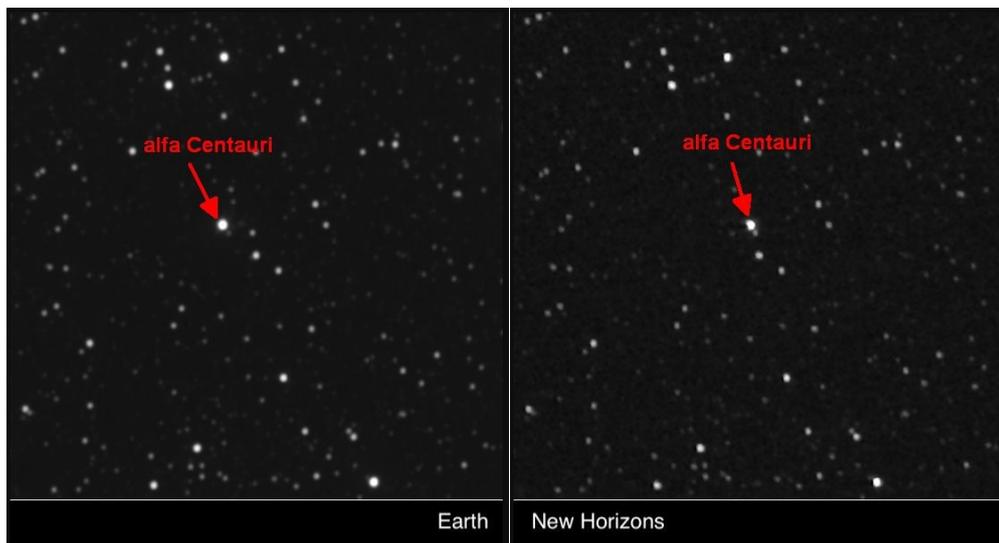


Figura 1: Deslocamento angular da estrela alfa Centauri quando observada quase simultaneamente a partir de duas perspectivas observacionais diferentes: da Terra (esquerda) e da sonda espacial *New Horizons* (direita), quando ela se encontrava a 7 bilhões de quilômetros da Terra. Adaptado de [7].

Podemos argumentar que, ao invés de aproximar (o que se oculta tanto nos recursos para executar medidas em Física, quanto nos procedimentos), obter tais medidas acaba por pular etapas em um processo de aprendizagem que pressupõe que o concreto e o abstrato se complementam

[10]. As enormes distâncias que nos separam dos astros e as simplificações que são possíveis de se fazer nos cálculos envolvendo corpos tão distantes, acabam por nos conduzir a um conjunto de abstrações que podem nos fazer perder a relação que o procedimento da triangulação utilizado na Astronomia tem com o cotidiano. Isso também pode nos levar a erros conceituais elementares, como a falsa impressão da correlação entre brilho e a distância dos astros ou da relação do tamanho angular de um corpo e quão afastado este se encontra de nós [4].

Segundo Batista et al. (2009) [11], o aprendiz incorpora um conhecimento físico como uma prática do cotidiano quando esse conhecimento faz sentido para ele e permite que entenda o mundo ao seu redor. Então como um estudante do ensino fundamental ou do ensino médio pode entender a paralaxe astronômica e a sua importância na medida da distância entre uma estrela e a Terra? Ou como ele pode perceber que esse processo permite o cálculo de grandes distâncias em nosso cotidiano?

Percebemos a importância de se utilizar uma abordagem capaz de conciliar objetos de conhecimento, instrumentos de fácil manipulação e o método geométrico, em dimensões em que comparações entre o método da triangulação e medidas diretas podem ser realizadas. Nesse contexto é que percebemos a bússola como um recurso simples e de apelo histórico, que conecta os conceitos de medidas diretas e indiretas, para que o salto do concreto ao abstrato possa ser realizado de forma sustentada.

Assim, o caminho entre o que se aprende da geometria elementar e como se pode extrapolá-la por meio da paralaxe, pode ser beneficiado por passos intermediários. Estes devem estimular a curiosidade dos estudantes através de um tema motivador, consolidar a capacidade de abstração, o poder de generalização e a prática da investigação científica crítica, ao explorar recursos apropriados de medida. Segundo Freire (2015) [12], sem a curiosidade que move, inquieta e insere o estudante no processo de busca, não há uma aprendizagem que exija do mesmo a reflexão crítica, dialógica, indagadora e não apassivada.

Em termos curriculares a abordagem se enquadra no tema estruturador Universo, Terra e Vida para o ensino da Física dos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio [13], englobada pela Base Nacional Curricular Comum [14], pois ao envolver a Astronomia permite-se que o educando entenda a sua posição no Universo, não apenas fisicamente, mas historicamente, articulando conhecimentos apreendidos em Trigonometria básica, Ciências e Geografia, explorados no Ensino Fundamental e início do Ensino Médio. O estudante desenvolve a habilidade necessária para “elaborar explicações, previsões e cálculos a respeito dos movimentos de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo, com base na análise das interações gravitacionais.” (Brasil, 2018, p. 543) [14]

Outro tema estruturador é o de Movimentos: Variações e Conservações, que se relaciona com o anterior, mas também desenvolve no aprendiz a habilidade de, segundo Brasil (2018):

“... elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.” (Brasil, 2018, p. 545) [14].

Baseados nestes temas estruturadores elaboramos uma sequência didática aplicada em duas aulas, em que circunstâncias do cotidiano do estudante da primeira série do ensino médio foram apresentadas em situações de conflito, caracterizando-se como desafios a serem resolvidos por eles. O conceito principal envolvido nas atividades foi o da paralaxe, utilizado dentro das estratégias para a leitura de instrumentos, observação de imagens e medida de distâncias, junto a noções de trigonometria.

A parte experimental da sequência didática teve como recurso principal a bússola, utilizada para o cálculo da distância solicitada, através do método da triangulação. A ideia era dar significado à aprendizagem do conceito da paralaxe, entendendo a importância deste no cálculo de distâncias astronômicas. O professor atua como mediador, apresentando as ferramentas e o método de desenvolvimento da experimentação, permitindo que o estudante se aproprie do conceito com maior facilidade. Isso é possível quando o trabalho investigativo exige do estudante

diferentes ações cognitivas, como a manipulação de materiais, observação, questionamentos e verificação de hipóteses levantadas através de tentativas e erros.

Os estudantes trabalharam em equipes, o que permitiu a colaboração entre os seus componentes e a participação ativa no processo. Finalizadas as atividades, as equipes calcularam o erro percentual dos resultados encontrados e compartilharam com todos os envolvidos, promovendo um debate que permitiu a discussão das possíveis causas de erros e a reflexão crítica da prática realizada. Segundo Freire (2015) [12] esta análise permite que todos se aproximem da prática e transformem o seu estado de curiosidade ingênua em curiosidade epistemológica, através da rigorosidade metódica.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Esta proposta foi planejada para aplicação em duas aulas presenciais de 45 minutos cada, uma em que se trabalha o rodízio das equipes pelas estações, com o ambiente devidamente preparado, e outra aula em que se desenvolve a parte experimental.

Na configuração de um ambiente colaborativo, a turma é dividida em um número de equipes igual ao de estações (em nosso caso foram sete). A formação dos grupos pode ser feita segundo a escolha dos estudantes, mas é importante conversar com a turma, de modo que pelo menos um estudante da equipe tenha perfil de organização, liderança e comunicação.

Uma semana antes do primeiro encontro a turma recebeu um pequeno texto sobre a paralaxe, via online [15]. Ele funciona como um organizador prévio, e seu objetivo é, além de minimizar as diferenças entre os conhecimentos prévios dos estudantes, orientá-los para o acompanhamento das aulas.

Para fornecer ao professor o repertório necessário à aplicação do produto, de perfil interdisciplinar, em seguida são apresentados o conceito trabalhado nas aulas (a paralaxe), a ferramenta motivadora (a bússola), o modelo sustentado de ensino híbrido que serviu de base à primeira aula (rotação por estações) e a sequência didática.

### 2.1 Paralaxe

#### 2.1.1 A triangulação e a paralaxe como ferramenta útil

A triangulação consiste em qualquer procedimento envolvendo conceitos de trigonometria com o propósito de localizar pontos no espaço pelo cálculo de distâncias e direções associadas aos lados e ângulos de triângulos. Dos registros mais antigos sobre a aplicação da trigonometria encontra-se o papiro de Rhind, de 1650 a.C., embora se especule sobre aplicações trigonométricas anteriores, mesmo no Egito, em procedimentos de agrimensura ou em 1900 a.C., entre os Babilônios, que já utilizavam tabelas trigonométricas [16].

Uma das histórias mais populares sobre triangulação remete-nos a Tales de Mileto, no século IV a.C. Ainda que possa se tratar de uma lenda, devido às dificuldades práticas de medição [17, 18], há relatos de Diógenes de Laertios e Plutarco (dos primeiros séculos de nossa era) sobre o uso de uma inferência sobre tamanhos iguais das sombras e dos objetos que as produzem ou mais provavelmente uma relação de proporcionalidade entre o tamanho das sombras das pirâmides e a própria sombra de Tales (Figura 2). Em pelo menos uma hora do dia a sombra e o objeto que a projeta tem o mesmo tamanho  $h$ . No entanto, para que a altura da pirâmide fosse aferida diretamente pelo tamanho de sua sombra  $s$ , sem relações trigonométricas, seria necessário que ela fosse perpendicular à base da pirâmide, de tamanho  $b$ , o que só ocorre na passagem meridiana do Sol em único dia do ano.

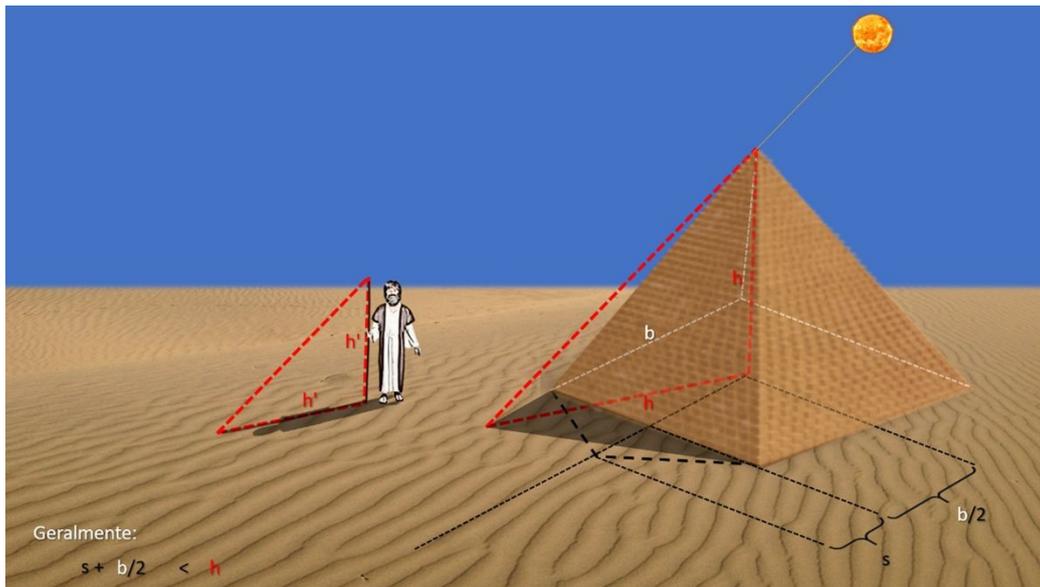


Figura 2: Ilustração sobre a dificuldade de Tales para a medida da altura de uma pirâmide.

A mesma ideia matemática é utilizada modernamente na cartografia de planetas, no sistema GPS e no sistema de posicionamento utilizando antenas de celular. Em termos biológicos, pode-se dizer que a evolução garantiu que as funções de percepção dos sentidos, como a visão e audição, se disponham aos pares em diversos organismos vivos, de modo a garantir-lhes a estimativa de distância estereoscópica por meio de triangulação.

É uma ideia de poder tão representativo que o mesmo termo é utilizado na área de humanas, sendo como os cientistas sociais buscam a confiabilidade nos fenômenos observados, ao elaborar métodos que minimizem vieses qualitativos, sugerindo aos pesquisadores transitarem por “ângulos” em diferentes linhas de visada, questionando os dados, as teorias, os métodos e os próprios pesquisadores [19-21].

Algo semelhante acontece com o conceito de paralaxe. De forma genérica, a palavra paralaxe deriva do grego “alteração” e refere-se à mudança de posição aparente de um objeto quando observado a partir de perspectivas diferentes. Sendo assim, a paralaxe pode ser traduzida como o efeito físico de observar um objeto a partir de diferentes direções, ou seja, diferentes ângulos.

De forma equivalente à das ciências sociais, o termo paralaxe também foi utilizado nas abordagens filosóficas de autores como Kojin Karatani e Slavoj Žižek [22] e antes mesmo influenciou uma corrente literária, como por exemplo James Joyce, descrevendo as diferentes perspectivas assumidas ao longo de um dia do personagem Leopold Bloom, no livro *Ulisses*; nas narrativas e eventos temporais dos contos de Katherine Mansfield, que como parte de um movimento mais amplo influíram nos aspectos impressionistas da obra de Graça Aranha [23]. O conceito literário de paralaxe tem influenciado correntemente filmes e séries.

Em termos observacionais, a paralaxe pode produzir, por exemplo, o efeito de leitura errada de uma escala lida por intermédio de um ponteiro. No entanto, é quando combinada com os procedimentos de triangulação que a paralaxe pode fornecer grandes frutos: a medida de distâncias por meio da mudança de perspectiva que se tem em relação a um objeto.

Assumindo uma linha de base  $b$ , perpendicular a direção que liga um objeto e dois pontos de observação, podemos determinar mais facilmente a distância  $d$  ao objeto, utilizando o ângulo  $2p$ , observado entre as duas perspectivas. A paralaxe produzida pela mudança da direção da linha de visada em relação ao objeto é representada na Figura 3 a seguir:

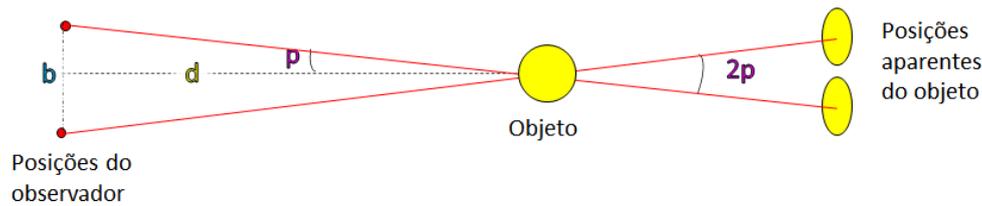


Figura 3: Deslocamento angular aparente na direção de um objeto.

Matematicamente o ângulo  $p$  pode ser obtido como:

$$\tan p = \frac{b/2}{d} \quad (1)$$

Note que para uma mesma linha de base quanto maior a distância, menor a paralaxe.

### 2.1.2 A paralaxe na medida da distância dos astros

A ideia de uma esfera celeste com estrelas fixas é derivada do conceito de paralaxe, ou melhor, da ausência da paralaxe. O fato de não se observar a paralaxe das estrelas a olho nu, devido ao relaxamento dos músculos ciliares para a visão de objetos muito distantes, cria a falsa impressão, no cérebro, de que todos os objetos se encontram a mesma distância. A visão de uma esfera material de estrelas fixas, construída por Eudoxo de Cnido no século IV a.C. e consolidada por Aristóteles, no quarto século a.C. [24], perdurou até a época de Copérnico. Isso apesar de que, no século III a.C., Aristarco compreendeu que a impossibilidade de medir as paralaxes das estrelas poderia ser entendida como uma evidência de um Universo muito maior que a órbita da Terra em torno do Sol (Aristarco era um heliocentrista).

Abd al-Rahman al-Sufi estendeu esta interpretação ao primeiro registro de objetos extragalácticos, como a Grande Nuvem de Magalhães e a galáxia de Andrômeda em 964 d.C. [25], para as quais apenas recentemente dados de paralaxe estão disponíveis [26, 27].

Foi Tycho Brahe quem usou a ausência de paralaxe diária (associada à rotação da Terra) como argumento para concluir que a nova estrela observada por ele na constelação de Perseu, em 1572, que na verdade se tratava de um evento cataclísmico da morte de uma estrela em supernova, deveria estar junto com a esfera das estrelas [28]. Brahe também utilizou a paralaxe para verificar que o cometa de 1577 não era um fenômeno atmosférico (como pensava Galileu), e que seu caminho no céu passava além da órbita da Lua, se deslocando entre os planetas [29, 30].

Apenas estas duas observações, por mais contrárias às próprias percepções de Brahe, eram marcos significativos que rompiam com as ideias seculares de Aristóteles. A primeira rompia com o conceito de perfeição e imutabilidades dos céus, comprometendo a essência da teoria dos elementos e consequentemente da gravidade de até então; enquanto a segunda apontava para inexistência de “esferas cristalinas” que manteriam os astros em órbitas em torno da Terra, visto que seria difícil conciliar a ideia de um corpo material como um cometa (ou seja, não apenas um efeito óptico) atravessando estruturas materiais como as esferas cristalinas que eram base da Astronomia de Aristóteles, Ptolomeu e Hiparcos.

Curiosamente não foi somente a aplicação da paralaxe na Astronomia que destacou Brahe, mas talvez, até mais importante, foram seus procedimentos para construir instrumentos altamente precisos na era pré-telescópio, e que minimizavam os efeitos de paralaxe de leitura instrumental [28], condicionando configuração de diversos aparelhos de leitura e de apontamento no futuro. Isto ampliou a precisão das observações feitas até então em um fator cem [31]. Saltos como esse só foram dados na era telescópica com a verificação da aberração da luz da estrela  $\gamma$  Draconis, por Bradley (1727) [32], pela medida da primeira paralaxe, da estrela 61 Cygni, por Bessel (1838) [8] e na era espacial pelos telescópios orbitais Hiparcos e Gaia [33, 34].

Com estas paralaxes, que exigem linhas de base bem maiores, pode-se calcular distâncias dos astros com o método da triangulação. Para medir a distância da Lua ou dos planetas em relação à Terra, podemos usar a paralaxe geocêntrica, que aplica o diâmetro da Terra como linha da base [5]. Já a paralaxe heliocêntrica é utilizada na obtenção de medidas que têm como referencial o Sol, e a linha de base é o valor médio da distância entre a Terra e o Sol. Esta paralaxe nos permite encontrar as distâncias entre o Sol e as estrelas mais próximas, assim como a distância da Terra ao Sol, chamada de Unidade Astronômica. A figura a seguir representa um esquema com as posições do Sol e de estrelas próximas no processo da triangulação (Figura 4), como usualmente apresentado para o ensino do conceito de paralaxe. O exagero das escalas simplifica demais o problema, ocultando procedimentos intermediários ricos em conteúdos e contextos, explorados na proposta deste trabalho.

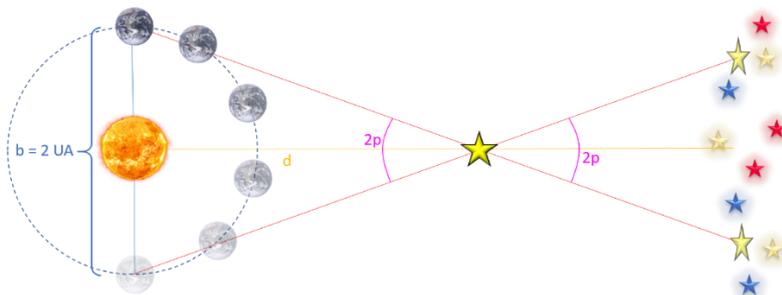


Figura 4: Representação esquemática do mesmo efeito apresentado na Figura 3, mas para triangulações, mas em escala para obter paralaxes anuais.

## 2.2 A bússola

### 2.2.1 Um pouquinho de história

A bússola é um dispositivo igualmente simples e revolucionário. Comumente sua invenção é atribuída aos chineses, há mais de 2000 anos, entre 20 a.C. e 20 d.C., na dinastia Han. No entanto, há uma enorme lacuna de registros entre sua concepção, aperfeiçoamento e aplicação prática. Autores chineses são enfáticos ao defender interpretações de textos sobre um dispositivo, chamado Sinan (Figura 5a), em que uma espécie de colher feita de magnetita, ao ser apoiada sobre uma superfície, poderia girar sobre si própria, de modo a fazer com que seu cabo apontasse para a direção Sul [35, 36]. A esta característica eram conferidas funções místicas, sendo usado para adivinhações e geomancia, conforme os preceitos do Feng Shui [36], e não como um recurso para orientação geográfica. Neste aspecto suas funções diferiam pouco de um artefato descoberto na Mesoamérica, produzido pelos Olmecas, há pelo menos um milênio antes dos chineses (Figura 5d), com registros arqueológicos testados em laboratório [37] e com dispositivos semelhantes em sítios arqueológicos pré-colombianos na Guatemala e no México [38].

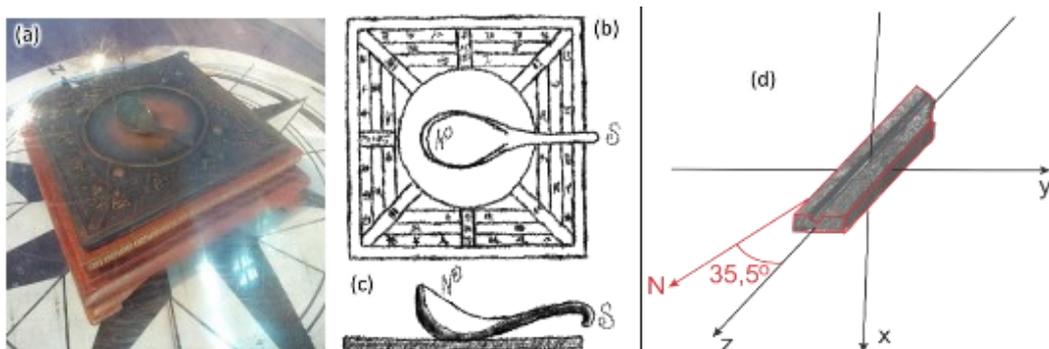


Figura 5: (a) Representação da bússola chinesa (à esquerda, de uma maquete do Espaço Catavento/SP) e desenho esquemático do dispositivo visto por cima (b) e lateralmente (c). (d) Possível bússola do povo olmeca, que pendurada por seu eixo perpendicular apresentava desvios da direção norte-sul compatíveis com a declinação magnética local [37].

A aplicação da bússola em navegações tem relatos mais seguros a partir dos séculos XI e XII d.C., com registros praticamente simultâneos entre chineses, da dinastia Song, árabes, em pleno florescimento e expansão do mundo islâmico, e europeus, no auge da aclamada “Idade das Trevas”. Nesta época brilharam nomes como o de Pedro Pelegrino, com sua detalhada teoria da atração magnética e métodos de construção de bússolas marítimas, em sua Epístola de Magnete, de 1269. Vale lembrar que Pelegrino foi professor de outro expoente científico da época: Francis Bacon.

Embora não seja única, uma hipótese muito difundida foi a de que os árabes transportaram o conhecimento da bússola chinesa para os europeus [39]. No entanto, menções literárias sobre dispositivos magnéticos aplicados em navegações europeias antecedem os registros da bússola na cultura árabe em quase 100 anos, quando foram citadas no *Fami al-Hikayat*, em 1232. Na Europa, o primeiro registro do uso de bússolas é de 1190, no tratado *De Naturisrerum*, escrito pelo britânico Alexander Neckman, entre 1157 e 1217. Isso sugere, no mínimo, a aplicação da bússola, como instrumento de navegação, no ocidente e no oriente de forma simultânea [40].

A própria origem da palavra árabe para bússola, “*al-kunbas*” se assemelha a toda família etimológica derivada do latim “*compassare*”, que significa “aquilo que coordena os passos”, resultando na palavra “*compass*” (inglês) e em nada remetendo à palavra chinesa [39]. Em português e outras línguas românicas a palavra bússola deriva do latim vulgar “*bruxula*” ou o diminutivo da palavra caixa, pois assim se refere ao material “*buxo*” que as caixinhas que continham as bússolas eram feitas.

Esses elementos sugerem, até o momento, que a utilização da bússola com finalidades militares e de navegação foi uma invenção independente e simultânea tanto no oriente quanto no ocidente [39-41].

É inegável a importância que este instrumento teve no desenvolvimento das grandes navegações, conferindo, juntamente com o astrolábio, o sextante e bem posteriormente com os relógios, precisão nas técnicas de navegação. Não por acaso, Fernando Pessoa reinterpreto a frase do general Pompeu (106 - 48 a.C.) “*Navigare necesse, vivere non est necesse*” (“Navegar é preciso, viver não é preciso”), usada na época para incitar os marinheiros a se lançarem ao mar mesmo que a custo de suas vidas, como um contraponto entre as palavras precisão e necessidade: a ciência de navegar tem precisão calculável, mas a arte de viver não tem [42].

Neste contexto Colombo se lançou ao mar, promovendo a descoberta das Américas, e transformando profundamente as relações econômicas, políticas, sociais, científicas, tecnológicas e até mesmo artísticas de sua época. O mapeamento de um “Novo Mundo”, em termos geográficos, expandiu o conceito de Terra, não apenas como um objeto esférico, mas como mais um dos planetas conhecidos, fazendo seu diâmetro, e posteriormente seu diâmetro orbital, como base para medidas de distâncias maiores com a paralaxe.

Em sua experiência com a bússola, Colombo verificou independentemente o efeito de declinação magnética, assim como os chineses. Esse efeito gera uma diferença angular entre a direção Norte-Sul magnética, associada aos polos magnéticos, e a direção Norte-Sul geográfica, demarcada pelo eixo de rotação da Terra e verificada pelo movimento das estrelas.

Uma Terra confirmadamente esférica permitiu a interpretação mais apropriada, por William Gilbert (1544-1603), dos efeitos globais de um campo magnético: a Terra agiria como um grande ímã com seus próprios polos. Em seu livro “*De Magnetes*” Gilbert, além de estabelecer a separação entre os conceitos de eletricidade e magnetismo, usou estes conceitos para defender o modelo heliocêntrico [40], antecedendo Galileu e sua perspectiva mecânica, em meio século.

Ironicamente foi em 1815 que Hans Christian Ørsted reunificaria os conceitos de eletricidade e magnetismo utilizando justamente uma bússola. Ao fazer percorrer uma corrente elétrica em um fio, cuja orientação fosse paralela à da agulha de uma bússola (Figura 6), Ørsted verificou que a agulha se alinhava perpendicularmente à direção da corrente. Isto indicava que, embora cargas

elétricas e polos magnéticos pudessem ser coisas distintas, algo os conectava por meio do movimento mecânico das partículas envolvidas.

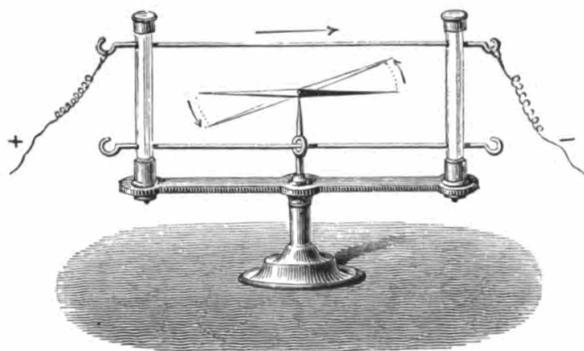


Figura 6: Ilustração por Privat-Deschanel (1877) [43] do aparato experimental de Ørsted, em 1820, na verificação de que uma corrente elétrica podia defletir a agulha de uma bússola, ao gerar um campo magnético em torno dele.

Tal unificação se completou com a teoria eletromagnética de James Clerk Maxwell, que não apenas conectava a eletricidade e o magnetismo, mas também as unia com a óptica, por meio de uma teoria de campo, em que a luz visível é uma das manifestações de um campo eletromagnético oscilante em uma faixa apropriada de frequências. Maxwell também contribuiu com a Física Estatística, que culminaria na mecânica quântica, enquanto seu trabalho sobre eletromagnetismo forneceu a premissa básica para a relatividade restrita de Einstein. Historicamente, vale lembrar que o próprio Einstein confessou um evento marcante em sua infância, em que, com a idade de 5 anos, prostrado doente em sua cama, seu pai o presenteara com uma bússola de bolso. Esse dispositivo o teria influenciado profundamente, fazendo-o se questionar como algo não material mudava a propriedade do espaço, de forma a atuar fisicamente em algo tão material como a agulha imantada da bússola [44].

Atualmente bússolas analógicas têm sido substituídas por dispositivos eletrônicos acoplados em celulares, relógios e sistemas de localização global (GPS), que fornecem sinais digitais ao converter as variações do campo magnético em diferentes direções, em diferenças de potencial eletrônico. Isso é possível por meio do efeito Hall, da indutância magnética ou da magnetorresistência. Os componentes eletrônicos compostos por materiais com estas propriedades físicas respondem à variação de disposição espacial em relação à orientação do campo magnético da Terra. Por meio de rotações em torno de três eixos espaciais e associando os resultados aos sinais dos acelerômetros e do giroscópio do dispositivo, pode-se calibrar o equipamento com relativa precisão, como uma bússola. O GPS utiliza apenas a triangulação, fornecendo posições com precisão, mas não pode informar, em princípio, se o dispositivo aponta para alguma direção específica, quando parado. Assim um bom aparelho GPS agrega uma bússola eletrônica, podendo utilizar também o movimento da fonte para indicar a direção e o sentido de orientação do dispositivo, para então localizá-lo em um mapa e fornecer a trajetória do movimento.

### 2.2.2 Elementos da bússola

A essência desta proposta experimental se baseia na capacidade da bússola em manter uma referência de orientação fixa, a partir da qual podemos medir ângulos em linhas de visada diferentes. Para entender esta ideia é necessário conhecer os elementos que compõem uma bússola, como ela funciona e como ela deve ser manuseada.

Apesar de ser possível utilizar qualquer bússola para o desenvolvimento da parte prática deste experimento, inclusive as bússolas de celulares, a precisão é significativamente ampliada (com

incertezas da ordem de 1 grau) quando são usadas bússolas do tipo militar (Figura 7). Nelas, além dos elementos clássicos de uma bússola, há um aparelho de pontaria. O corpo da bússola (Figura 7a) contém um eixo de apoio ou um fluido sobre o qual uma agulha imantada (Figura 7b) e uma escala angular azimutal (Figura 7c) são sustentados, garantindo livre rotação para o alinhamento do campo magnético da agulha com o campo da Terra. O aparelho de pontaria é composto por dois elementos que permitem definir a direção da linha de visada, conectando geometricamente o observador ao objeto observado: a fenda de pontaria (Figura 7 d), na parte mais próxima do observador, e a linha de pontaria (Figura 7e), que transpassa verticalmente uma abertura na cobertura de proteção da bússola (Figura 7f), para limitar o campo de visão do objeto observado. O mesmo braço articulado que contém a fenda de pontaria, no geral também contém uma ocular de aumento (Figura 7g), mas esta não serve como recurso de pontaria, e sim como dispositivo para aumentar a precisão na leitura da escala azimutal.

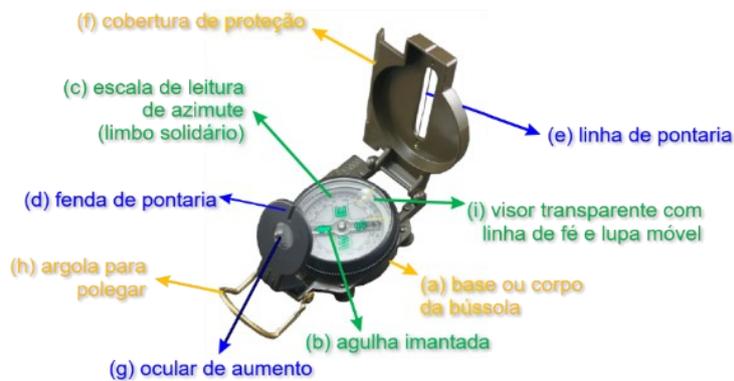


Figura 7: Elementos que compõem a bússola utilizada na atividade proposta.

### 2.2.3 Procedimentos de utilização da bússola

Para utilização da bússola, é necessário um passo preliminar que auxiliará no apontamento e principalmente na leitura do instrumento. Em uma mesa nivelada, deve-se abrir a cobertura de proteção da bússola (Figura 7f), e com o braço articulado, que contém a fenda e a ocular do aparelho de apontamento fechado (Figura 7d e g), deve-se girar o visor transparente móvel com a linha de fé e a lupa (Figura 7i), de modo que com uma visão dirigida para o centro da bússola, possa-se ver a linha de fé através a fenda de visada Figura 7e. Isto pode ser visto na Figura 8a.

Abrindo-se o componente articulado com a fenda e a ocular, e fechando-se a cobertura de proteção, deve-se verificar que o mesmo alinhamento ocorre entre a linha de pontaria e a linha de fé (Figura 8b). Boas bússolas garantem esta característica e até mesmo fornecem parafusos para corrigir a linha vertical. Caso o ajuste fino não seja possível, deve-se levar em conta estes desalinhamentos como produzindo erros sistemáticos na leitura.

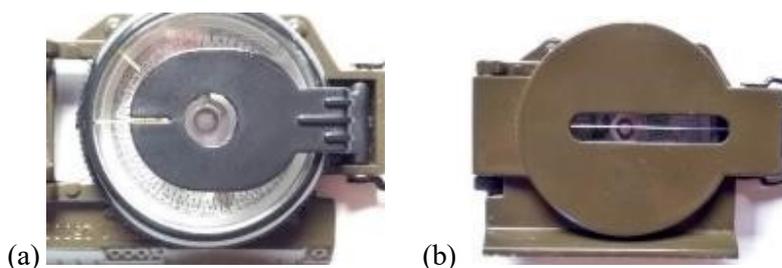


Figura 8: Procedimento preliminar de alinhamento entre: (a) a linha de fé e a fenda de pontaria; (b) a linha de fé e a linha de pontaria.

A atividade depende do manuseio apropriado da bússola, cuidado no procedimento de apontamento e paciência no processo de leitura. Há uma forma apropriada para segurar a bússola (Figura 9), e isso requer o uso das duas mãos: uma para literalmente equilibrar o centro de massa da bússola sobre o indicador e a outra para dar firmeza à primeira mão. A argola para o polegar servirá para corrigir o balanço da bússola nos primeiros momentos em que se busca o ponto de equilíbrio, impedindo-lhe a queda. Esta etapa é a que auxilia a horizontalidade do plano azimutal da bússola (o corpo da bússola com sua escala). Assim a agulha da bússola poderá girar livremente sem que atrite com o corpo da bússola.

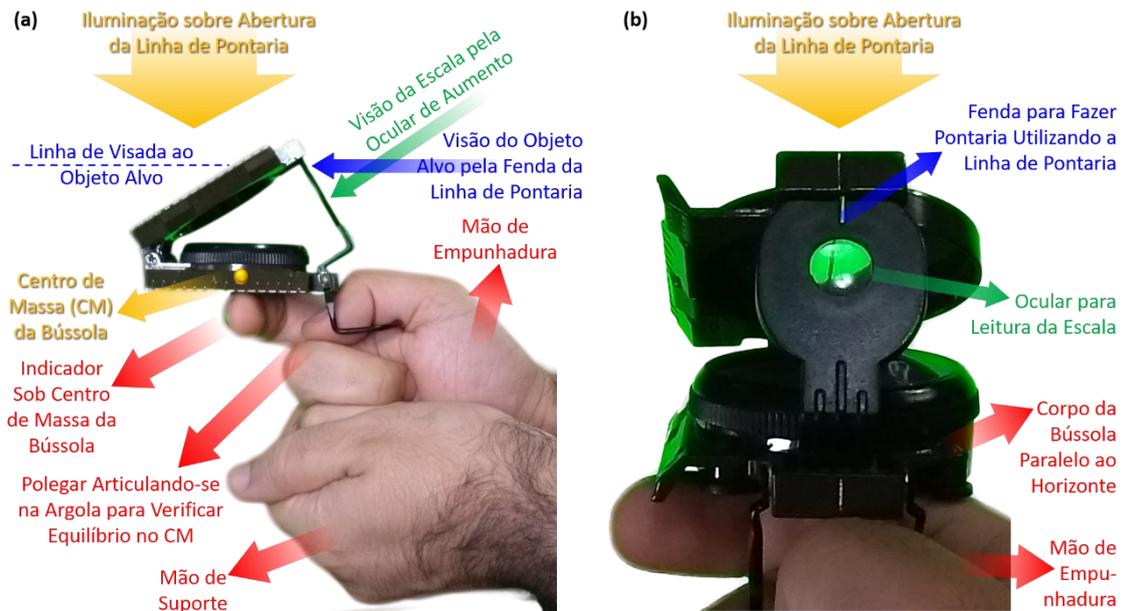


Figura 9: (a) Vista lateral da empunhadura da bússola em configuração “fechada” e (b) vista da empunhadura a partir do observador.

Braços e antebraços devem ser mantidos juntos ao tronco e peito do observador (Figura 11b), ao aproximar a bússola do olho dominante (aquele que a pessoa naturalmente usa para fazer pontaria, preferencialmente o menos míope e com menor astigmatismo). O outro olho deve ser fechado para evitar o efeito da paralaxe de leitura em razão da visão estereoscópica.

A partir disso inicia-se procedimento de pontaria. Escolha o alvo e gire o corpo como se compusesse um único objeto com a bússola, até ser possível ver o objeto de interesse através da fenda de pontaria (Figura 10a), e não da ocular de aumento. Como dois pontos determinam uma reta, para garantir o alinhamento da bússola, a linha de pontaria deve estar sobreposta ao objeto de interesse e centrada na fenda de pontaria (Figura 10b). Isso deve ser feito de modo a permitir que iguais porções do objeto de interesse sejam observados à esquerda e à direita da linha de pontaria.

Embora a bússola possa ser utilizada na configuração aberta, em que o aparelho de pontaria é desdobrado a 90 graus do horizonte (Figura 7), adotamos aqui a configuração fechada, como na Figura 9a, com diversas vantagens em ambientes de grande luminosidade. Nesta configuração, apesar da cobertura de proteção da bússola ficar semiaberta, a linha de pontaria, mesmo inclinada em relação ao horizonte, terá projeção vertical sobre a imagem do objeto alvo, caso contrário a horizontalidade do corpo da bússola não estará garantida. Qualquer desvio deste plano ficará mais evidente nesta configuração.

Mesmo sendo a fenda de pontaria estreita, ainda será possível observar o objeto alvo através da abertura da linha de pontaria, com esta última se sobrepondo ao objeto de interesse (Figura 10b). Sem mexer em nada e com o corpo completamente imóvel, nesta configuração, basta mudar a direção do olhar de horizontal, cruzando a fenda (em azul na Figura 9a) para a direção da ocular de aumento, que aponta para a escala da bússola (em verde na Figura 9a). Neste movimento

simples da direção do olhar será possível ver pelo menos 120 graus da escala angular ampliada, e mais importante: serão visíveis a linha de fé (Figura 7i) e o reflexo da linha de apontamento sobre o visor da bússola (Figura 10c).

Deve-se aguardar que a agulha da bússola se acomode após o apontamento. Em bússolas de escala fixa, a agulha tende a oscilar em torno da direção Norte-Sul após o último movimento do corpo, então é necessário esperar que ela se acomode. A partir disso deve-se prestar especial atenção para o procedimento de leitura: o valor da direção para o qual a bússola está apontando deve ser feita sobre a escala no ponto em que a direção do reflexo da linha de apontamento e a linha de fé se unam (Figura 10c). Caso elas não se unam, é indicio de que está ocorrendo um efeito de paralaxe de leitura, em razão do desalinhamento do corpo da bússola em relação ao plano do horizonte, na direção do dedo indicador.

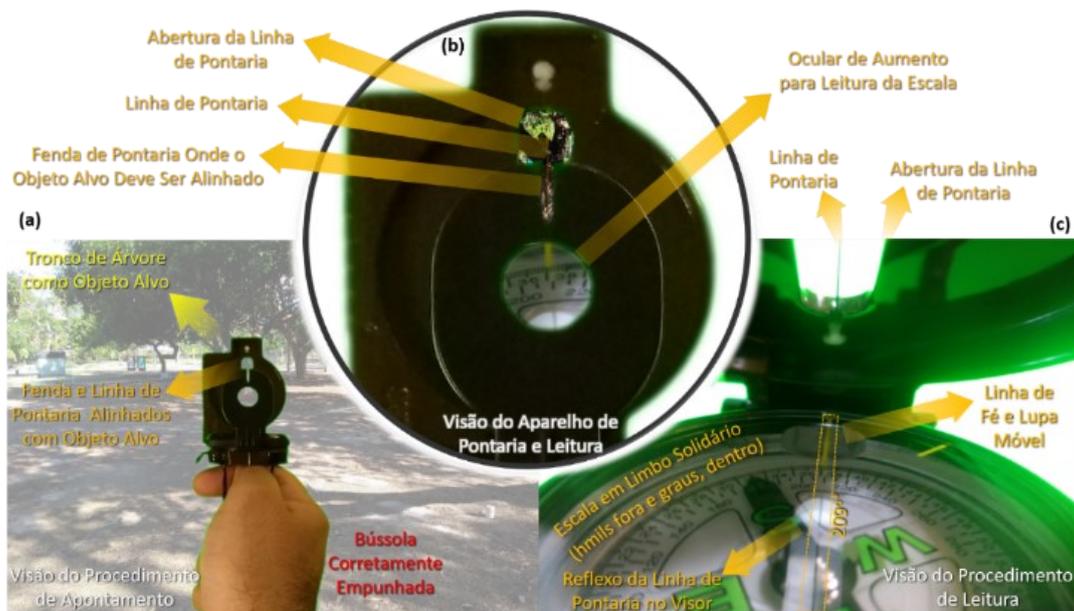


Figura 10: Detalhes sobre (a) o apontamento para um objeto de interesse (o tronco de uma árvore), (b) alinhamento e (c) leitura da bússola.

A empunhadura, conforme a Figura 9a, apenas garante o paralelismo com o horizonte na direção perpendicular ao dedo indicador. Ao longo do dedo indicador o pulso pode estar ligeiramente torcido, e é girando suavemente o punho que se pode ver o alinhamento da linha de pontaria refletida sobre o visor e a linha de fé e assim garantir que o corpo da bússola esteja completamente paralelo ao plano horizontal. A leitura deve ser feita na escala interna, em graus, que na bússola apresentada na Figura 10c está de 5 em 5 graus. Como a linha de fé tem uma largura de 2 graus, então praticamente podemos ler os valores na bússola de grau em grau (considerando a metade da largura à direita ou a esquerda da linha de fé). Em nosso exemplo na Figura 10c, a borda direita da linha de fé tangencia a borda esquerda do traçado que marca 210 graus, então o ângulo medido é 209 graus (210 graus menos 1 grau da borda até a metade da marca da linha de fé). Este é o valor a ser registrado em cada medida da atividade.

Vale mencionar que na Figura 10c, a escala externa está escrita em mils, e especificamente no exemplo da bússola utilizada são hectomils (100 x mils), indo de 0 a 64. Trata-se de uma escala de interesse militar que usa diretamente o conceito de paralaxe para determinar o tamanho dos objetos observados em solo. Cada medida fornece uma aproximação para um milésimo de radiano, cuja volta inteira mede 6283 miliradianos ( $2 \times \pi \times 1000$ ), arredondados para 6400 mils (64 hectomils) (para facilitar as contas). Assim o tamanho de um objeto com distância conhecida poderia ser obtido fazendo:

$$s = \theta \cdot d/1000 \quad (2)$$

onde  $s$  é o tamanho do objeto observado a uma distância  $d$ , dentro de um ângulo de  $q$  mils. Um objeto localizado a 1 km, por exemplo, visto dentro de um ângulo de 1 mil deve medir, portanto, 1 metro. A lupa fixada no visor da bússola, conforme Figura 7i, tem o papel, justamente, de auxiliar na leitura desta escala, que aparecerá ampliada na ocular do aparelho de apontamento. Isto permitirá a leitura de mil em mil conforme se aponta a bússola para os dois extremos do objeto a ser medido (lembrando aqui que mil não significa o número 1000, mas uma aproximação para miliradianos).

#### 2.2.4 Desenvolvimento da atividade experimental

A atividade é preferencialmente executada em ambiente externo, pelas dimensões que podem ser exploradas e pela ausência de elementos que podem interferir no campo magnético da bússola. Também é possível fazer a atividade dentro da sala de aula, de um auditório, de um laboratório ou corredor, mas recomendamos antes que seja verificado o ambiente com o magnetômetro do celular, para identificar efeitos sobre a bússola de cabos da rede elétrica ou da internet, os projetores, os computadores, a existência de conduítes e de materiais ferrosos da estrutura e dos móveis, como carteiras e mesas.

Representamos esquematicamente, na Figura 12, os procedimentos de execução da atividade experimental. Escolhido um objeto alvo  $A$ , o observador deve medir uma distância  $d$  com a trena a partir de onde fará suas próprias medidas com a bússola. Assim, é interessante fixar a posição inicial da trena junto ao objeto alvo (Figura 11a). É conveniente e instrutivo fazer as medidas em diferentes distâncias ( $d_1, d_2, d_3...$ ) mas na mesma direção. Escolhida uma medida para linha de base  $b$ , pode-se utilizar um barbante cortado com esta dimensão e dispô-lo perpendicularmente à distância  $d$ . Assim, nos extremos da base  $b$  deve-se fazer o procedimento associado à Figura 10 para o alinhamento, apontamento e leitura da medida (Figura 11b). Na Figura 12, apenas por simplicidade, o Norte está na vertical, na mesma direção do objeto, mas para o uso da bússola o objeto alvo não precisa estar nesta direção. Esta é a vantagem do uso da bússola nesta atividade: todos os ângulos sempre serão medidos em relação ao Norte, independentemente da direção de apontamento da bússola. Apesar da simetria da configuração observacional proposta, em que se espera que  $b = c, d = e$  e  $j = g$  (Figura 12), o valor numérico lido nestas medidas serão diferentes na escala, e a paralaxe observacional será a diferença  $\Delta\theta$  dos dois ângulos. Um modelo de tabela de anotação para os alunos, em que cada linha representa os resultados observacionais de uma linha de base por grupo encontra-se nas Figura 12c e 16.



Figura 11: Testes preliminares para a obtenção das medidas.

O procedimento deve ser repetido para as diferentes distâncias com a mesma linha de base. Esta configuração foi adotada, pois de forma bastante ilustrativa, representa como são feitas as medidas de paralaxes estelares. Em observações em solo, poderia se utilizar a própria bússola

para, após a primeira medida, somar 90 graus e se deslocar nesta direção o equivalente da distância da linha de base. Depois faz-se a segunda medida, já tendo um triângulo retângulo como base.

Rearranjando as linhas de base, as linhas de visada e distâncias (Figura 12b), é interessante notar que o ângulo de paralaxe diminui com a distância, e o efeito na visão do observador é que o objeto se desloca de uma medida igual a da linha de base, projetada na distância do objeto ao observador.

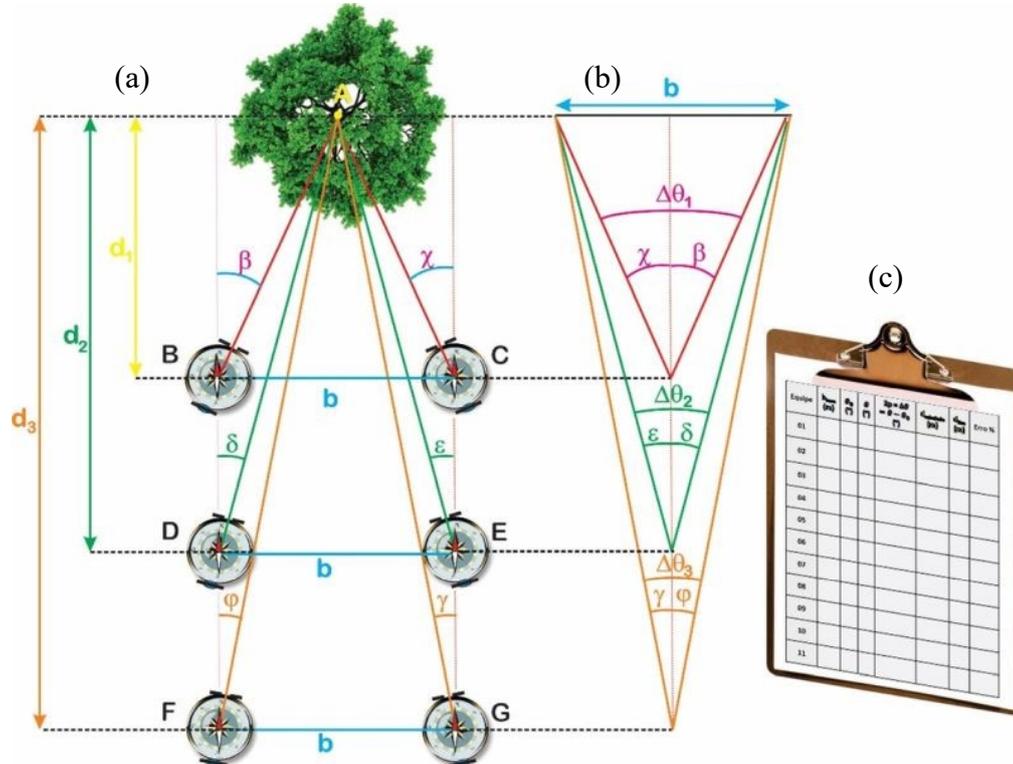


Figura 12: Representação esquemática do procedimento do uso da bússola em nossa sequência didática.

### 2.3 Inspiração: um modelo sustentado do ensino híbrido – rotação por estações

A aplicação da sequência didática aqui apresentada iniciou com os estudantes recebendo de forma online as instruções prévias sobre o que seria desenvolvido no encontro presencial. Dessa forma cada jovem determinou o ritmo extra classe de trabalho e de aprofundamento com os conceitos a serem aprendidos, seja na forma de texto, vídeo, áudio, laboratório virtual ou simulador, adquirindo autonomia para a realização individual de estudo e de autoavaliação no decorrer do processo assíncrono [45].

A autoavaliação permite que o estudante apresente as suas dúvidas antes do encontro presencial, facilitando a adaptação prévia da dinâmica em sala de aula por parte do professor, no sentido de trabalhar os conceitos que os alunos tiveram maior dificuldade para aprender. Além disso o jovem também estará melhor preparado para uma participação ativa durante o processo colaborativo. De acordo com Bergmann e Sams (2016) [46], após as instruções iniciais online as aulas presenciais permitem que as interações aluno-professor e aluno-aluno se intensifiquem. Se há um compromisso com os objetivos da aprendizagem, os participantes interagem com dedicação, desenvolvendo o respeito pelos pares e percebendo no professor a figura de orientador, desprovido do autoritarismo pedagógico.

Essa proposta foi inspirada no modelo de Rotação por Estações, mas não seguiu à risca todas as suas etapas. Ela tem como características principais a aprendizagem através do trabalho com os grupos colaborativos e através da pesquisa com o uso de tecnologias digitais [47].

Os grupos colaborativos representam uma maneira de envolver o estudante de forma ativa no processo de aprendizagem, não exigem de cada participante uma função específica, mas permitem que a interação entre os componentes do grupo contribua à aquisição de conhecimento e

desenvolvimento de competências para o trabalho de equipe. Segundo Torres *et al* (2004) [47] a aprendizagem colaborativa vem sendo implementada por pesquisadores e educadores desde o século XVIII e representa a construção do conhecimento, a partir da troca de ideias entre pessoas que buscam o entendimento de diferentes situações de conflito. Podemos observar que o conhecimento é o resultado obtido a partir do consenso entre os membros de uma comunidade, quando estes conversam, trabalham juntos direta ou indiretamente e chegam a um acordo [47].

A partir da mistura de momentos de aprendizagem presencial, com os grupos colaborativos, e de momentos de aprendizagem remota, com tecnologias digitais, temos a metodologia de ensino híbrido ou Blended Learning. A aprendizagem remota, que se utiliza de recursos digitais, como aparelhos celulares e computadores, muitas vezes é realizada pelo aprendiz de maneira solitária, esteja ele conectado à internet (online) ou não (offline). Já a aprendizagem presencial é realizada em um ambiente colaborativo, junto aos colegas e supervisionada pelo mediador. Segundo Christensen, Horn e Staker:

“O Ensino Híbrido é um programa de educação formal no qual um aluno aprende, pelo menos em parte, por meio do ensino online, com algum elemento de controle do estudante sobre o tempo, lugar, modo e/ou ritmo do estudo, e pelo menos em parte em uma localidade física supervisionada, fora de sua residência.” (Christensen et al., 2013, p. 7) [48].

Nesta abordagem metodológica o ensino está centrado no estudante e o professor tem o papel de mediador, que provoca, questiona, orienta, estimula a pesquisa e a interação nos momentos presenciais. O trabalho em grupo, aliado à pesquisa, permite que os participantes desenvolvam uma aprendizagem significativa, adquiram autonomia, senso crítico e de cooperação, através da criatividade necessária à análise da atividade apresentada.

As estratégias de ensino rotacionais, como a de Rotação por Estações, são modelos dentro do ensino híbrido consideradas sustentadas e não disruptivas, porque possuem características da sala de aula tradicional, complementadas por características do ensino online e a distância [49]. Não há um rompimento com o ensino tradicional, apenas a inserção de tecnologias, do ensino online.

Em Rotação por Estações o ambiente físico é organizado e dividido em diferentes espaços, e cada espaço representa uma estação. As estações disponibilizam diferentes atividades, desafios ou situações de conflito, independentes, mas integradas, para a aprendizagem de um mesmo conceito principal. As atividades podem exigir leitura de texto e de medidas, músicas, experimentação, cálculos, jogos ou outras ferramentas de aprendizagem. Pelo menos uma delas deve ter uma atividade online.

A turma é dividida em equipes, e cada equipe inicia em uma das estações, orientadas ou não pelo mediador. O número de estudantes por estação pode variar de acordo com o tamanho da turma, e quando este for demasiado grande, o melhor é dividir em um maior número de estações e/ou equipes, para que a quantidade de participantes em cada uma seja menor [50]. A cada intervalo de tempo, previamente combinado, as equipes trocam de estação, e esse revezamento continua até que todos tenham passado por todas as atividades. Ao final do rodízio a turma e o mediador participam de um debate, em que as respostas obtidas por todas as equipes são analisadas.

## 2.4 Sequência didática

A etapa inicial desta proposta envolve a seleção de estudantes com perfil de liderança, organização e comunicação, junto à turma. No primeiro encontro presencial, após a divisão da turma em grupos e definidos os respectivos líderes, divide-se a sala em estações (essa proposta trabalhou com sete equipes/estações), com as questões impressas e armazenadas em envelopes colocados nas mesas, um para cada estação. Envelopes extras vazios são disponibilizados para armazenar as respostas dos grupos. As estratégias utilizadas nos encontros presenciais estão descritas logo a seguir.

#### *2.4.1 Primeira aula – estações e resolução de conflitos*

- As carteiras ou mesas podem ser agrupadas na formação de cada estação, e os estudantes ficam ao redor da estação. As equipes podem iniciar por qualquer estação, a escolha é livre;
- Em cada estação há uma ficha (uma versão para impressão pode ser obtida em [15], com a descrição da atividade ou apresentação do desafio (nessa prática chamamos de conflito); os estudantes devem ler, debater e responder, podendo utilizar o celular com acesso à internet para pesquisar. A resposta, devidamente registrada, é identificada com o número da equipe e armazenada em um envelope à parte. A Figura 13 mostra as imagens das fichas utilizadas nas estações;
- O tempo para ler, analisar e resolver o desafio da estação é de 4 minutos. Em seguida há a rotação, quando as equipes passam para a estação vizinha. Esse movimento acontece até que todos os grupos passem por todas as estações.
- Finalizado o rodízio, o mediador lê as respostas e inicia a discussão com a turma. É feita, então, a apresentação do conceito através da explicação das situações de conflito.

**a** Quem está mais distante, A ou B? Por quê?

**b** O extintor está sobrepresurizado ou não? Explique:

**c** Ponta do lápis. Em que ponto do quadro você vê a imagem da ponta do lápis, utilizando apenas o olho direito? E com apenas o olho esquerdo?

**d** Encontre x, usando o transferidor:

**e** Observe o corpo celeste em verde:

**f** Compare a sua posição com a anterior. Sobreponha as duas fichas e explique o que está acontecendo:

**g** Encontre p, sabendo que b e d medem 4,8m e 1,75m.

Ângulo $\theta$ (em grau)	10	20	30	40	50
Tangente de $\theta$	0,176	0,364	0,577	0,839	1,192

**h** A imagem da ponta do lápis, projetada na cerca ao fundo e utilizando um olho de cada vez, é vista pelo rapaz em diferentes pontos. Em qual das situações apresentadas a imagem observada se desloca mais, provocando "maior erro de visão"? Por quê?

Figura 13: Imagem com as fichas utilizadas nas estações, com os conflitos a serem resolvidos pelas equipes.

#### 2.4.2 Segunda aula – a bússola no cálculo de uma distância

No segundo encontro os grupos recebem uma cópia impressa do texto disponibilizado uma semana antes da primeira aula, contendo as orientações para a realização da atividade experimental, a figura e uma tabela de registro dos dados e resultados calculados, disponíveis em [15]. O momento começa com a orientação do mediador/professor, utilizando este material como guia, com os passos indicados a seguir, a partir da Figura 14.

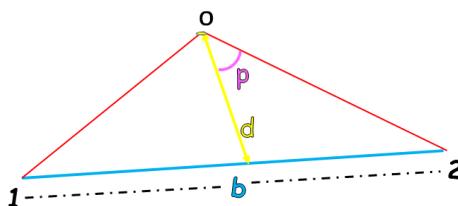


Figura 14: Imagem com a posição do ponto  $O$  a ser observado, os pontos 1 e 2 de observação, a medida da paralaxe ( $p$ ), linha de base ( $b$ ) e distância da linha de base ao ponto  $O$  ( $d$ ).

- Definir, junto com a turma, a linha de base  $b$ , a distância  $d$  ao objeto em relação à linha de base e registrar os valores; as equipes podem usar barbantes medidos com uma trena para garantir a constância destas medidas;
- No ambiente escolhido, dispor a linha de base perpendicularmente à distância  $d$  até objeto escolhido;
- Os estudantes deverão se posicionar em 1 (Figura 14), e orientando a bússola para o objeto definido em  $O$ , determinar  $\theta_1$ , registrando o seu valor;
- Os estudantes deverão se posicionar em 2 (Figura 14), e orientando a bússola para o objeto definido em  $O$ , determinar  $\theta_2$ , registrando o seu valor;
- Após o cálculo de  $\Delta\theta$ , todos os grupos deverão usar a equação (1) para encontrar  $d$  (calculado). Observe que os ângulos medidos permitem encontrar a paralaxe;
- Calculado o valor de  $d$ , as equipes compararão esse valor com o previamente medido (fixo), para encontrar o erro percentual;
- O segundo encontro termina com a turma comparando, analisando os resultados e debatendo sobre as possíveis causas de erro.

### 3. RESULTADOS

A escolha de líderes realizada pela turma foi fundamental na definição dos grupos, já que a leitura do desafio, a pesquisa realizada com o uso do celular, a troca de ideias entre os participantes e o registro da possível resposta fazem parte de um momento colaborativo, com intervalo de tempo definido em cada estação. A dinâmica estimulou a participação positiva na busca de uma solução rápida para o conflito, em razão do tempo limitado.

Não podemos deixar de considerar, no entanto, aqueles alunos que se sentiram intimidados pela diferença de agilidade e participação, em relação a seus pares, no cumprimento da tarefa em cada estação. Seria interessante considerar a troca de liderança a cada estação, sem mudar os componentes das equipes. Assim todos os estudantes teriam a chance de desenvolver a habilidade de comunicação e participação em grupo. Como a proposta exige dos estudantes novas formas de relação entre pares, estimula alternativas para negociar, apresentar posições, saber ouvir e ser ouvido com o devido respeito, gerindo conflitos sociocognitivos num processo de auto regulação. Dessa forma a heterogeneidade da equipe pode favorecer os estudantes, aumentando o potencial de aprendizagem de cada participante.

Terminada a rotação, as respostas registradas em cada estação foram lidas e iniciou-se um debate envolvendo toda a turma, através dos representantes de equipe e do professor/mediador, com o objetivo de consolidar o conceito da paralaxe. As respostas registradas pelas equipes nas três primeiras estações (Figura 13a, b e c) chamaram a atenção: não havia justificativa em cinquenta por cento das respostas do primeiro e do segundo conflitos e, quando havia, estas não tinham conexão com o que foi apresentado na imagem ou não levaram em consideração o referencial; na terceira estação (Figura 13c), quarenta por cento das respostas estavam erradas porque não observaram o referencial. Os desafios das estações seguintes tiveram um acerto acima de setenta e cinco por cento, nos quais as equipes mostraram argumentação coerente.

No conflito da primeira estação (Figura 13a) é importante lembrar que os objetos mais próximos parecem maiores que objetos mais distantes porque suas imagens ocupam maior área na retina, mas sabemos também que é possível um corpo estar mais distante e ter dimensões bem

maiores, sendo observado com tamanho maior. No caso do desafio da leitura da pressão do extintor na segunda estação (Figura 13b), o observador muda de posição para fazer as leituras, e os estudantes precisam concluir em qual posição se obtém a melhor leitura, evitando o erro de paralaxe. O conflito da terceira estação (Figura 13c) exige do aluno o traçado da linha de visada da ponta do lápis a partir de cada olho, o que permite perceber que a projeção no quadro sofre um deslocamento angular, de um olho para outro. Cada olho se comporta como o observador em uma diferente posição.

Na quarta estação mostrada na Figura 13d, o estudante precisa ler com a maior precisão possível o ângulo solicitado, evitando desvios do valor na escala do transferidor. Em seguida a Figura 13 apresenta duas fichas da próxima estação (Figura 13e, 13f), em que o fundo de estrelas é o mesmo, mas a posição do objeto celeste é diferente, simulando o que poderia ser visto a partir de diferentes posições de referência. A sexta estação exige das equipes a leitura de medidas de comprimento e análise dos valores das tangentes para o cálculo da paralaxe (Figura 13g). O conflito da última estação (Figura 13h) requer do aluno a percepção de que quanto maior é a distância entre o lápis e o observador, menor é a paralaxe, significando que para obter a paralaxe em distâncias maiores é necessária uma maior linha de base (equação (1)).

A próxima aula, de caráter experimental, começou com a apresentação e orientação dada pelo professor, sobre como usar a bússola para medir a paralaxe (Figura 15), explicado na subseção “Procedimento de utilização da bússola” (Figura 9 e Figura 10). Assim que foi definido o ponto  $O$  em relação ao qual mediriam a distância  $d$  até a linha de base  $b$ , as equipes usaram barbante para indicar no chão a linha de base  $b$ , a distância  $d$  e os pontos  $A$  e  $B$ , de onde observariam o ponto  $O$ , para encontrar a paralaxe  $p$  (Figura 14).



Figura 15: Fotos da orientação para o uso da bússola e obtenção de dados para o cálculo da paralaxe.

Com o valor de  $p$  e as informações do material, enviado no *Google Classroom* uma semana antes do primeiro encontro (também entregue em formato impresso no início da aula), as equipes calcularam a distância  $d$  através da triangulação. A distância fixada previamente como referência foi de 12,9 m. Mas o seu valor também foi calculado pelas equipes com a ajuda da bússola. As medidas, os cálculos da distância solicitada e do erro percentual do valor obtido foram registrados e apresentados na Figura 16.

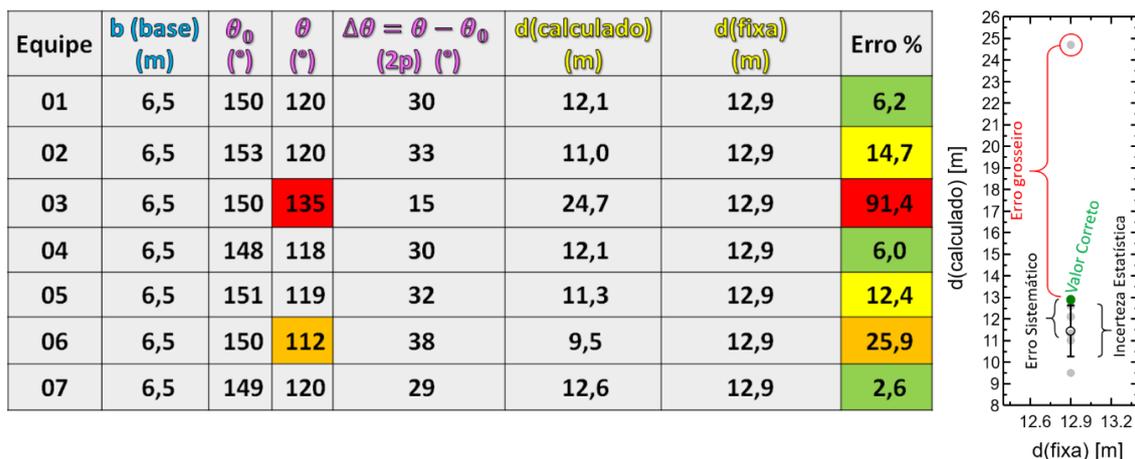


Figura 16: Dados obtidos pelas equipes na aula experimental (aula 2) e gráfico diferenciando o conceito de erro, erro grosseiro, incerteza (estatística) e erro sistemático. A incerteza instrumental tem a dimensão dos pontos.

Os resultados das equipes 03 e 06, na Figura 16, mostram erros percentuais acima de 25%, mas o erro de 91,4% revela a obtenção de valores extremamente fora do esperado. Os alunos tiveram dificuldade em manusear a bússola, por alguns possíveis motivos (Figura 15b): dificuldade em manter a bússola na horizontal, o que muitas vezes fazia com que a agulha ficasse presa na base da bússola; a não sobreposição da linha de pontaria, centrada na fenda de pontaria em relação ao objeto de interesse (como foi explicado na Figura 9). Outro problema potencial é que os alunos usaram a bússola em configuração aberta, o que dificulta o uso da ocular para a leitura da escala. A equipe 03, na discussão final com a turma, afirmou ter usado a ocular para visualizar o objeto através da fenda de pontaria, o que justifica os erros apresentados na Figura 16.

#### 4. DISCUSSÃO

De acordo com a BNCC [14], a dimensão investigativa das Ciências da Natureza aproxima o aprendiz de estratégias que o habilitam a escolher e utilizar instrumentos de medida, planejar e realizar atividades experimentais no desenvolvimento de ações de intervenção. Isso significa promover a identificação e a utilização de unidades de medida apropriadas a diferentes grandezas, como visto na seção 2. A paralaxe, conceito predominantemente utilizado no cálculo de distâncias astronômicas, é uma dessas grandezas, e foi utilizada nesta atividade como tema agregador de objetos de conhecimento interdisciplinares.

Além do seu papel no cálculo de distâncias em casos mais próximos do que em sua aplicação astronômica, a paralaxe conecta contextos em uma perspectiva mais panorâmica do entorno do fenômeno científico a ser analisado, com seus conceitos, procedimentos, cálculos experimentais e o indispensável no trabalho científico moderno: colaboração, modelos, estatísticas, reprodutibilidade e o trabalho com fontes de erro e incertezas. Na atividade prática se tornou palpável o impacto das medidas, do modelo de interpretação e dos erros na análise dos resultados. A obtenção de medidas em diferentes equipes permitiu, em vários momentos, confrontar este aspecto do desenvolvimento do trabalho científico. As atividades estimularam nos alunos a sua curiosidade [12], exigindo: a apropriação do conceito; a observação, análise e interpretação de imagens em diferentes situações; leitura de valores a partir de escalas analógicas; desenvolvimento de estratégias próprias de uma atividade experimental, para a obtenção da paralaxe, com a bússola.

O conteúdo sozinho não promoveu tais metas, mas sim quando aliado à estratégia pedagógica adequada. A proposta de aprendizagem se utilizou do modelo híbrido [**Erro! Fonte de referência não encontrada.**], combinando diferentes ambientes, ferramentas e estilos de aprendizagem. Os

participantes foram estimulados em diferentes níveis: fizeram leituras de textos, defenderam suas explicações, utilizaram-se de raciocínio lógico e de imagens para explicações. Dividida em três momentos, essa proposta dinâmica começou com uma leitura prévia e remota, seguida por dois encontros presenciais, com a turma dividida em equipes [47]. No primeiro encontro presencial participaram das atividades através da rotação por estações, utilizando-se de ferramentas de acesso à pesquisa online [49].

O desenvolvimento da tecnologia digital nos permite hoje facilitar o procedimento de medida, mas por outro lado, pode criar uma ilusão sobre a precisão e as incertezas nesse procedimento de medida, nem sempre criando momentos de aprendizagem tão ricos como esse. Paralelamente à Física, os jovens utilizaram a linguagem matemática para o desenvolvimento do raciocínio lógico e aplicação da trigonometria básica, em uma das estações da primeira aula e na aula experimental. No debate final da aula experimental os participantes revelaram o seu espanto sobre o fato de se utilizar a bússola para a obtenção de uma distância, já que vislumbravam esse instrumento apenas como recurso para a orientação geográfica.

Todo este trabalho pode ser imerso em um grande repertório de discussões interdisciplinares que dependem do fluxo de demanda dos alunos e das parcerias, para o estabelecimento de ações multidisciplinares. Neste artigo fornecemos uma revisão com o objetivo de exemplificar as ramificações do tema e fornecer material de consulta básica para o estabelecimento de conexões com os diversos ramos das Ciências da Natureza, Ciências Humanas, Matemática, Códigos e Linguagens e suas respectivas tecnologias.

A partir do benefício global desta atividade, pretendemos agregar um novo módulo, desta vez partindo da micro escala do fenômeno, dominada pelos alunos por meio de recursos concretos explorados nas atividades aqui propostas. Assim é possível discutir o fenômeno em macro escala, apelando diretamente para as observações apresentadas na Figura 1, não apenas determinando a distância da estrela em questão, mas generalizando o conceito de paralaxe para diversas estrelas observadas com o telescópio Gaia, com o objetivo de aprofundar a questão fundamental sobre nossa localização no Universo.

## 5. CONCLUSÃO

A sequência didática aqui apresentada pode ser aplicada por professores de Geografia, História, Matemática e Física, pois trata-se de uma proposta interdisciplinar. O primeiro encontro presencial foi inspirado na metodologia ativa de ensino Rotação por Estações. O trabalho em grupo, de forma colaborativa, trouxe aos participantes a oportunidade de desenvolvimento de suas habilidades, ao traçar estratégias de pesquisa rápida, buscando ativamente soluções para a situação apresentada em cada estação, analisando imagens e relacionando conceitos. No segundo encontro, durante a atividade experimental, realizada em campo aberto na escola, os estudantes se apoiaram, visando atingir um objetivo comum, estabelecendo relações de uma liderança compartilhada para as decisões tomadas, e se responsabilizaram pelos resultados, conforme suas possibilidades. A intenção das aulas presenciais foi aumentar o envolvimento e protagonismo dos alunos.

Na aplicação das aulas as turmas tiveram acesso ao material de leitura previa online, que posteriormente foi impresso e entregue às equipes na aula experimental, além de: fichas e folhas de resposta (uma para cada estação do circuito da primeira aula); trena, barbante, papel e bússola analógica militar (para a aula experimental). O material e instruções de uso estão disponibilizados livremente pelo nosso grupo. Como podemos observar, são materiais bastante acessíveis à realização da prática e que nos permitem destacar o papel do ensino de Física, com relação à interpretação de manuais no uso de um aparelho. Percebemos também o quão importante foi a aula experimental, visto que exigiu do estudante um maior número de habilidades, e nesse caso em específico, provocou um debate com a turma sobre as possíveis causas de erro na obtenção das medidas angulares, ao utilizar a bússola para a medida da paralaxe e cálculo da distância ao ponto previamente determinado.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Haag R, Araujo IS, Veit EA. Por que e como introduzir a aquisição automática de dados no laboratório didático de física? *Física na Escola*. 2005;6(1):69-74.
2. Buffler A, Allie S, Lubben F. Teaching measurement and uncertainty the GUM way. *The Physics Teacher* 2008; 46:539-43. doi: 10.1119/1.3023655
3. Frome EC. Outline of the method of conducting a trigonometrical survey, for the formation of topographical plans: And instructions for filling-in the interior detail, both by measurement and sketching: military reconnaissance, leveling with the explanation and solution of some of the most useful problems in geodesy and practical astronomy, to which are added a few formulæ and tables of general utility for facilitating their calculation. London (GB): John Weale Architectural Library; 1840.
4. Rodrigues MCS, Fortaleza EC, Scarano Jr S. Ensino de Física: Do olhar à prática. In: Sousa DN, editora. *A medida de uma distância especial: Onde estamos no Sistema Solar*. São Cristóvão (SE): Editora UFS; 2019. p. 38-55.
5. Oliveira Filho KS, Saraiva MFO. *Astronomia e Astrofísica*. São Paulo: Livraria da Física; 2014.
6. Carroll BW, Ostlie DA. *An introduction to Modern Astrophysics*. Cambridge (BG): Cambridge University Press; 2017.
7. Talbert T, editora. NASA's New Horizons Conducts the First Interstellar Parallax Experiment. United States: National Aeronautics and Space Administration (NASA) [Internet]; 10 jun 2020 [citado em 02 set 2020]; Disponível em: <https://www.nasa.gov/feature/nasa-s-new-horizons-conducts-the-first-interstellar-parallax-experiment>
8. Bessel F-W. On the parallax of 61 Cygni. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 1838;4:152-161.
9. European Space Agency (ESA); Gaia Data Processing and Analysis Consortium (DPAC). *Gaia Data Release 2: Documentation release 1.2*. ESA [Internet]; 2019 [citado em 29 nov 2021]. Disponível em: <https://gea.esac.esa.int/archive/documentation/GDR2/>
10. Rangel, M. *Métodos de ensino para a aprendizagem e a dinamização das aulas*. Campinas (SP): Papirus Editora; 2014.
11. Batista MC, Fusinato PA, Blini RB. Reflexões sobre a importância da experimentação no ensino de Física. *Acta Scientiarum. Human and Social Sciences*. 2009;31(1):43-49. doi: 10.4025/actascihumansoc.v31i1.380
12. Freire P. *Pedagogia da Autonomia: Saberes necessários à prática educativa*. 52. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra; 2015.
13. Brasil. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *PCN+ Ensino Médio – Orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias* [Internet]. Brasília: MEC; 2002 [acesso em 29 nov 2021]. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>
14. Brasil. Ministério da Educação (MEC). *Base Nacional Curricular Comum* [Internet]. Brasília: MEC; 2017 [acesso em 29 nov 2021]. Disponível em: [http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC\\_EI\\_EF\\_110518\\_versoafinal\\_site.pdf](http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versoafinal_site.pdf)
15. *Bússola e Paralaxe: Organizador Prévio, Fichas das Estações e Sequência Didática de Rodrigues e Scarano Jr* [Internet]. Aracaju (SE): DRIVE; 2019 [citado em 29 nov 2021]. Disponível em: <http://bit.ly/BussolaParalaxe>
16. Mansfield DF, Wildberger NJ. Plimpton 322 is Babylonian exact sexagesimal trigonometry. *Historia Mathematica*. 2017;44(4):395-419. doi: 10.1016/j.hm.2017.08.001
17. Redlin L, Viet N, Watson S. Thales' Shadow. *Mathematics Magazine*. 2000;73(5):347-53. doi: 10.1080/0025570X.2000.11996874
18. Fontana J. Tales de Mileto e a medição da altura da pirâmide. *Metatheoria – Revista de Filosofia e Historia de la Ciencia*. 2011;2(1):23-36.
19. Webb EJ, Campbell DT, Schwartz RD, Sechrest L. *Unobtrusive measures*. vol. 2. New York (US): Sage Publications; 1999.
20. Denzin NK. *The research act: A theoretical introduction to sociological methods*. Abingdon (GB): Routledge; 2017.
21. Patton MQ. Enhancing the quality and credibility of qualitative analysis. *Health Services Research*. 1999;34(5 Pt 2):1189.
22. Zizek S. *The parallax view*. Cambridge (US): mit Press; 2009.
23. Wink G. A formação da “nação” brasileira no romance “Canaã” de Graça Aranha – O debate intelectual sobre a questão” nacional” na primeira república como substrato de uma ficção ideológica. *Linha D'Água*. 2004;(17):113-36. doi: 10.11606/issn.2236-4242.v0i17p113-136

24. Evans J. The history and practice of ancient astronomy. Oxford, New York (US): Oxford University Press; 1998.
25. Kepple GR, Sanner GW. The night sky observers guide. Vol. 2. United States: Willmann-Bell; 1998.
26. van der Marel RP, Sahlmann J. First Gaia local group dynamics: Magellanic clouds proper motion and rotation. *The Astrophysical Journal Letters*. 2016;832(2):L23.
27. van der Marel RP, Fardal MA, Sohn ST, Patel E, Besla G, Del Pino A, et al. First Gaia dynamics of the Andromeda system: DR2 proper motions, orbits, and rotation of M31 and M33. *The Astrophysical Journal*. 2019;872(1):24.
28. Thoren VE, Christianson JR. The lord of Uraniborg: a biography of Tycho Brahe. Cambridge (GB): Cambridge University Press; 1990.
29. Grant R. History of Physical Astronomy, from the earliest ages to the middle of the XIXth Century: Comprehending a detailed account of the establishment of the theory of gravitation by Newton, and its development by his successors; with an exposition of the progress of research on all the other subjects of celestial physics. London (GB): Bohn; 1852.
30. Seargent DA. The greatest comets in history: broom stars and celestial scimitars. New York City (US): Springer; 2009.
31. Høg E. 400 years of astrometry: from Tycho Brahe to Hipparcos. *Experimental Astronomy*. 2009;25(1-3):225-40.
32. Bradley J. Account of a new discovered motion of the Fix'd stars. *Philosophical Transactions*. 1727;35:637-61. doi: 10.1098/rstl.1727.0064
33. HIPPARCOS: The Hipparcos Space Astrometry Mission [Internet]. European Space Agency (ESA); c2015 [acesso em 2021 nov 21]. Available from: <https://www.cosmos.esa.int/web/hipparcos>
34. GAIA: Science with 1 Billion Objects in Three Dimensions [Internet]. European Space Agency (ESA); c2015 [acesso em 2021 nov 21]. Available from: <https://www.cosmos.esa.int/web/gaia>
35. Shu-Hua L. Origine de la boussole II. Aimant et boussole. *Isis*. 1954;45(2):175-96.
36. Lu Y, Qian C, He H. A history of Chinese science and technology. New York City (US): Springer; 2015.
37. Carlson J B. Lodestone compass: Chinese or olmec primacy?: Multidisciplinary analysis of an olmec hematite artifact from san lorenzo, veracruz, mexico. *Science*. 1975;189(4205):753-60. doi: 10.1126/science.189.4205.753
38. Guimarães A. Mexico and the early history of magnetism. *Revista Mexicana de Física*. 2004;50(1;SUPP/E):51-3.
39. Smith JA. Precursors to Peregrinus: The early history of magnetism and the mariner's compass in Europe. *Journal of Medieval History*. 1992;18(1):21-74.
40. Guarnieri M. Once upon a time? The compass [historical]. *IEEE Industrial Electronics Magazine*. 2014;8(2):60-3.
41. May W. The history of the magnetic compass. *The Mariner's Mirror*. 1952;38(3):210-22.
42. Pessoa F. Navegar é preciso. Rio de Janeiro: Editora Bibliomundi; 2021.
43. Privat-Deschanel A. Elementary treatise on natural philosophy. New York (US): Blackie; 1877.
44. Clark R. Einstein: The life and times. London (GB): A&C Black; 2011.
45. Bacich L, Moran J. Aprender e ensinar com foco na educação híbrida. *Revista Pátio*. 2015;17(25):45-7.
46. Bergmann J, Sams A. Flipped learning for elementary instruction. vol. 5. Eugene (US): International Society for Technology in Education; 2016.
47. Torres PL, Alcántara P, Irala EAF. Grupos de consenso: uma proposta de aprendizagem colaborativa para o processo de ensino-aprendizagem. *Revista Diálogo Educacional*. 2004;4(13):129-45.
48. Christensen CM, Horn MB, Staker H. Ensino híbrido: uma Inovação Disruptiva? Uma introdução à teoria dos híbridos. United States: Clayton Christensen Institute; c2013 [citado em 29 nov 2021]. Disponível em: [https://porvir.org/wp-content/uploads/2014/08/PT\\_Is-K-12-blended-learning-disruptive-Final.pdf](https://porvir.org/wp-content/uploads/2014/08/PT_Is-K-12-blended-learning-disruptive-Final.pdf)
49. Horn MB, Staker H, Christensen C. Blended: usando a inovação disruptiva para aprimorar a educação. Porto Alegre (RS): Penso Editora; 2015.
50. de Souza PR, de Andrade MCF. Modelos de rotação do ensino híbrido: estações de trabalho e sala de aula invertida. *Revista E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial*. 2016;9(1):3-16.