

USO DE EXPERIMENTO MENTAL DE GALILEU COMO MOTIVADOR PARA O ENSINO DE MOVIMENTO RELATIVO NO ENSINO MÉDIO

Nathálie Marinho de Almeida¹, Ildeu de Castro Moreira²

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro, profnathaliemarinho@gmail.com

² Universidade Federal do Rio de Janeiro, ildeu@if.ufrj.br

Resumo

Este trabalho apresenta os resultados de uma das atividades que compõem uma sequência didática sobre cinemática que visa o uso de abordagens alternativas ao ensino tradicional e algébrico do tema. A atividade abordada neste trabalho trata do movimento relativo e dispõe de um experimento mental de Galileu que desempenhou um importante papel na construção da base de diversos conceitos da física, como referenciais e inércia. Neste texto será realizada uma breve síntese do que é um experimento mental e de como ele pode ser útil no contexto de sala de aula e, em seguida, o experimento será apresentado. Por fim, a aplicação da atividade, o contexto em que foi aplicada e os resultados obtidos serão discutidos. O uso do experimento mental de Galileu mostrou-se ser um bom motivador para o ensino do movimento relativo no ensino médio, representando um vínculo tanto com a história da Física quanto com cenas próximas do cotidiano dos estudantes, tornando a aprendizagem mais significativa.

Palavras-chave: Experimento mental; Movimento relativo; Barco de Galileu.

Introdução

No contexto do ensino de Física, o uso de abordagens inovadoras tem ganhado cada vez mais relevância, especialmente quando se busca ir além da mera aplicação de fórmulas e equações. Entre essas abordagens, destacam-se os experimentos mentais, que historicamente têm desempenhado um papel crucial na construção do conhecimento científico. Propostos inicialmente por filósofos e cientistas como Galileu, esses experimentos fornecem uma maneira poderosa de explorar conceitos abstratos, como o movimento relativo, sem a necessidade de instrumentação física.

Este trabalho aborda uma das atividades de uma sequência didática que visa aplicar o experimento mental do barco de Galileu no ensino do movimento relativo. A proposta envolve não apenas a apresentação do experimento, mas também sua aplicação em sala de aula, buscando engajar os estudantes do ensino médio em discussões que conectam conceitos de Física à história da ciência. A atividade permite que os alunos reflitam sobre referenciais e inércia de maneira acessível e vinculada a situações do cotidiano, promovendo uma aprendizagem mais significativa. Ao longo do artigo, será feita uma análise dos resultados obtidos com a aplicação da atividade, evidenciando a importância de se adotar práticas pedagógicas que favoreçam o raciocínio crítico e a compreensão conceitual.

Experimentos mentais

O surgimento da Física está intimamente ligado à observação do mundo natural e à busca por explicações para fenômenos que nele ocorrem. Questões como a composição do universo, a posição dos corpos celestes e a origem dos movimentos sempre intrigaram a humanidade e lançaram as bases para o desenvolvimento dessa

ciência. Com o passar dos séculos, essas discussões se tornaram mais complexas, mas a essência das perguntas permaneceu.

A abordagem das questões físicas pode variar, indo desde experimentos físicos tradicionais até experimentos mentais, como os utilizados por Aristóteles. Embora alguns autores, como Wilkes (1988), argumentem que "imaginar algo não significa que este algo seja possível" (apud KIOURANIS; SOUZA; SANTIN FILHO, 2010), outros defendem a importância dessas simulações mentais para o avanço científico. Brown (1991, apud GUIMARÃES, 2022), por exemplo, afirma que experimentos mentais são legítimos desde que respeitem as leis da natureza.

Os experimentos mentais também desempenham um papel significativo no ensino de Física. Velentzas, Halkia e Skordoulis (2006) destacam que eles favorecem a compreensão conceitual e desenvolvem a capacidade argumentativa dos estudantes, além de melhorar a comunicação em sala de aula. Ademais, esses experimentos podem familiarizar os estudantes com a metodologia científica, o que pode despertar um interesse sério pela Física.

No entanto, a produção científica sobre o uso de experimentos mentais no ensino de Física no Brasil ainda é limitada. Beiral e Sousa (2022) encontraram apenas três artigos nacionais sobre o tema entre 2010 e 2020. Isso sugere que, embora reconhecidos como ferramentas cognitivas eficientes, os experimentos mentais ainda são subutilizados na educação, deixando espaço para futuras pesquisas e aplicações pedagógicas.

O uso de experimentos mentais na Física não apenas enriquece a compreensão de conceitos complexos, como também conecta os estudantes à história da ciência. Exemplos como o experimento do gato de Schrödinger e o paradoxo dos gêmeos mostram como esses métodos ajudam a elucidar princípios fundamentais em áreas como a mecânica quântica e a relatividade geral. Além disso, ao estudar o contexto histórico desses experimentos, os estudantes podem desenvolver uma visão mais ampla e humanizada da ciência.

Experimentos do barco de Galileu

Os experimentos do barco de Galileu são experimentos mentais descritos em sua obra, *Diálogo*, e fazem parte de sua argumentação a favor da mobilidade da Terra. Aristóteles acreditava que a Terra ficava imóvel no centro do universo por ser o elemento mais pesado e seu modelo geocêntrico dominou o cenário da Física por muitos anos. Foram elaborados argumentos corroborando essa teoria, como o de Ptolomeu de que se a Terra se movesse (girasse), não se veria nuvens se movendo para o leste, nem qualquer outra coisa que voasse, porque a Terra sempre ultrapassaria o movimento deles (MARTINS, 1986).

Durante sua juventude, Galileu defendia e ensinava as teorias de Aristóteles e Ptolomeu aos seus alunos. Com o passar dos anos, suas observações astronômicas o levaram a defender o sistema copernicano e, posteriormente, ele reuniu os argumentos teóricos necessários para ir de encontro à física aristotélica. Contudo, esta discussão perdurou muitos anos e envolveu muitos cientistas. No seu processo de reflexão, uma das ferramentas usadas por Galileu para elucidar as questões que envolviam a mobilidade da Terra foram seus experimentos mentais. Dois deles foram selecionados e utilizados na atividade que será descrita na próxima seção. O primeiro deles é o seguinte:

Tranque-se com um amigo na cabine principal abaixo do convés de um grande navio e leve com você algumas moscas, borboletas e outros pequenos animais voadores. Tenha um grande pote com água com alguns peixes dentro; pendure uma garrafa que esvazie gota a gota dentro de um grande recipiente abaixo dela. Com o navio parado, observe cuidadosamente como os pequenos animais voam com a mesma rapidez para todos os lados da cabine. Os peixes nadam indiferentemente em todas as direções; as gotas caem dentro do recipiente abaixo; e, ao jogar algo para o seu amigo, você não precisa jogar com mais força em uma direção do que em outra, as distâncias sendo iguais; [...]. Quando você observar todas essas coisas cuidadosamente [...], faça o navio se mover com a rapidez que você desejar, desde que o movimento seja uniforme e não flutue de um lado para o outro. Você não descobrirá a menor mudança em todos os efeitos mencionados, nem poderá diferenciar a partir deles se o navio estava se movendo ou parado (GALILEI, 1967, p.186-187, tradução nossa).

Este experimento traz elementos observáveis no cotidiano, o que favorece a participação dos estudantes, que não se sentem tão distantes da discussão. A partir dele é possível tratar a ideia de referenciais e como eles influenciam na observação da realidade.

O segundo experimento selecionado explora a trajetória de objetos em queda livre, tema que fez parte da discussão sobre a mobilidade da Terra em diversos momentos e que comumente é abordado nas aulas de Física. Apesar de este experimento já ter sido discutido em outros formatos anteriormente, Galileu o incorpora em sua obra com uma nova roupagem. No trecho abaixo, retirado da tradução da carta de Galileu ao padre e defensor do geocentrismo Francesco Ingoli, está descrito experimento:

Esse argumento eles [aristotélicos] confirmam posteriormente com um exemplo tomado de uma outra experiência, dizendo que isso se vê manifestamente em um navio, no qual, quanto ele está parado no porto, deixa-se da sumidade do mastro cair livremente uma pedra, esta, descendo perpendicularmente, vai percutir ao pé do mastro e precisamente naquele ponto que fica a prumo por debaixo do lugar de onde se deixou cair a pedra; efeito que não acontece (supõem eles) quando o navio se move em curso veloz; [...] (MARICONDA, 2005, p. 502-203).

Ensinar movimento relativo utilizando como motivação os experimentos mentais de Galileu trazem uma riqueza histórica à aula, além de possibilitar a discussão sobre como os modelos explicativos sobre o assunto foram aperfeiçoados ao longo dos anos, contribuindo para desenvolver uma visão da ciência como construção humana. Contudo, é importante esclarecer que o movimento de rotação da Terra é mais complexo do que o movimento retilíneo uniforme de um navio. O experimento do barco de Galileu é uma boa analogia que desferiu um forte golpe no heliocentrismo, desencadeou o princípio da relatividade galileana e pode ser usada no ensino; todavia, cabe tornar claro aos estudantes que a relatividade moderna é um pouco mais elaborada que a galileana e que os experimentos se limitam ao movimento retilíneo uniforme.

Aplicação da atividade

A atividade abordada neste trabalho integra a etapa final de uma sequência didática sobre cinemática. Os conceitos de posição, velocidade e aceleração foram discutidos na primeira etapa e não serão explorados neste texto. A etapa final, voltada para o movimento relativo, constitui o foco deste estudo. A pesquisa visa verificar a

efetividade do experimento mental de Galileu como motivador para o ensino do conceito de movimento relativo.

Os resultados, que serão apresentados na próxima seção, são de uma turma de primeiro ano do ensino médio que já havia estudado movimento relativo nas aulas de Física do ensino fundamental. Apesar de o tema já ter sido discutido com os estudantes, uma sondagem inicial revelou a turma não recordava os conceitos ensinados.

Em sala de aula um questionário inspirado no experimento do barco de Galileu foi aplicado em dois momentos: um anterior e outro posterior à exposição dialogada sobre movimento relativo. A primeira aplicação teve por objetivo sondar o quanto cada estudante sabia do assunto. A segunda, realizada três meses após a primeira, visou verificar se os estudantes internalizaram os conceitos estudados, em vez de memorizá-los, e se o processo de ensino-aprendizagem atendeu as expectativas. As figuras a seguir trazem recortes da atividade que terá seus resultados discutidos na seção seguinte.

1 - Imagine que você e um amigo estão na cabine de um barco que está parado no cais. Dentro da cabine há borboletas voando e um aquário com alguns peixes nadando em todas as direções.

O navio parte do cais na direção **leste** e, após algum tempo, ele atinge a velocidade de cruzeiro e a mantém. Nesse momento:



- Se você saltar, cairá no mesmo lugar de onde saltou, mais a leste ou mais a oeste? Explique sua resposta.
- Observando de dentro do barco, as borboletas voarão mais rapidamente para alguma direção ou voarão da mesma forma que voavam enquanto o barco estava parado?
- Os peixes ficarão mais cansados ao nadar em alguma das direções? Explique sua resposta.

Figura 01: Questão sobre movimento relativo presente no questionário

2 - A figura abaixo ilustra um barco em duas situações: (i) parado no cais e (ii) se movendo com velocidade constante. Salviati, que se encontra no topo do mastro, solta uma pedra nas duas situações.

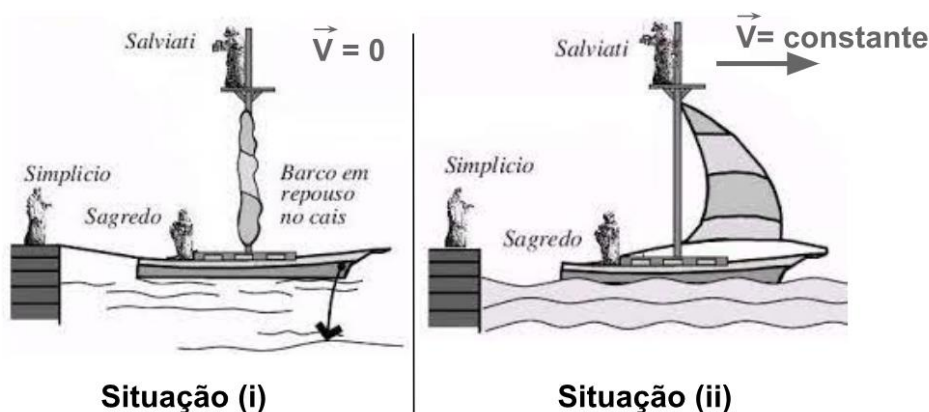


Figura 02: *Questão sobre movimento relativo presente no questionário – parte a*

Situação (i)	
a) Na situação (i), a pedra cai no pé do mastro, ou à sua esquerda ou à sua direita? Justifique sua resposta.	
b) Esboce a trajetória vista por Sagredo, que está dentro do barco, com uma linha tracejada na situação (i).	c) Esboce a trajetória vista por Simplicio, que está fora do barco, com uma linha tracejada na situação (i).

Figura 03: *Questão sobre movimento relativo presente no questionário – parte b*

Como se pode observar, as perguntas da questão 1 (Figura 01) convidam o estudante a refletir sobre movimentos simples do cotidiano. Num primeiro olhar tais perguntas podem parecer triviais, mas ao começar a refletir nas variáveis envolvidas, como o ar ou a água que faz parte dos sistemas mencionados, a maior parte dos estudantes se sentiu insegura em respondê-las.

A questão 2 (Figuras 02 e 03) é mais direta ao pedir que os estudantes esbocem a trajetória de uma pedra em queda livre num barco em repouso (situação i) e em movimento uniforme (situação ii). Como a trajetória é um dos temas abordados no ensino fundamental, esperava-se que os estudantes se recordassem dessa discussão e pudessem responder à questão mais facilmente. No entanto, a dificuldade e a insegurança foram evidentes e o índice de acertos para a trajetória de queda dentro de um barco em movimento foi muito baixo.

No período entre esta atividade, que iniciou e encerrou a aula sobre movimento relativo, houve um momento de exposição dialogada no qual os estudantes se mostraram bastante engajados. O contexto histórico do experimento de Galileu foi apresentado, intrigando os estudantes ao mostrar como movimentos simples dentro de um barco poderiam estar relacionados com a discussão sobre o movimento (ou não) da Terra.

O desejo de compreender esta conexão os fez participar de forma ativa da aula, mesmo que fosse um momento de explanação. Daí o termo exposição dialogada aqui utilizado. Embora o tempo disponível para a discussão do tema não permitisse realizar atividades além da exposição, a motivação dos estudantes fez com que essa aula fosse dialógica, participativa e produtiva. Os resultados obtidos após três meses, que serão apresentados na seção seguinte, coadunam nesse sentido.

A explanação dialógica foi dividida em dois momentos. No primeiro, foi feita uma retrospectiva na discussão que culminou no experimento mental de Galileu. No segundo, foram realizadas análises e discussões conjuntas com os estudantes sobre como se daria a percepção sobre o movimento de diferentes pontos de vista.

No primeiro momento, foram apresentados aos estudantes diversas figuras históricas como Aristóteles, Ptolomeu, Oresme, Copérnico, Giordano Bruno, Tycho Brahe, Kepler e Galileu. A cada nova personagem, um novo argumento contra ou a favor do movimento terrestre era introduzido. O objetivo desta etapa era demonstrar aos estudantes que um conceito físico não surge do dia para a noite, criado por um

único cientista, como alguns deles podem imaginar. Apesar de não discutir este desenvolvimento conceitual neste artigo, ele será abordado na dissertação do qual este trabalho é um recorte.

A longa lista personagens mencionada acima foi intencionalmente colocada a fim de demonstrar o quanto o debate sobre o tema foi extenso e repleto de opiniões, argumentos e contra-argumentos. No intuito de desencadear uma linha de raciocínio nos estudantes, foi preparada uma explanação trazendo de forma resumida a contribuição de cada um deles. No entanto, da mesma forma que ler a lista de nomes pode ter sido cansativo ao leitor, a explanação muito detalhada sobre o tema se revelou cansativa aos estudantes do ensino médio. Se algum professor desejar discutir o contexto histórico com sua turma, a sugestão é que não pormenorize tanto esta discussão.

O segundo momento, marcado pela discussão com os estudantes sobre movimentos cotidianos observados de diferentes referenciais, se mostrou mais produtivo e interessante aos discentes. A trajetória, velocidade e aceleração de diferentes movimentos foram discutidos com a turma, que se demonstrou bem engajada e participativa. Houve até tentativas de encenar os movimentos e observá-los através da câmera lenta do celular.

Resultados obtidos

As figuras 04 e 05 abaixo ilustram os resultados obtidos nas duas aplicações do questionário. As respostas foram lidas e analisadas pelo professor, que as dividiu nas categorias acerto, erro ou ilegível/em branco. Foram consideradas como acerto, para fins desta análise, apenas as respostas completamente corretas. Respostas ilegíveis ou que não fizeram sentido para o que foi perguntado foram preteridas nesta análise

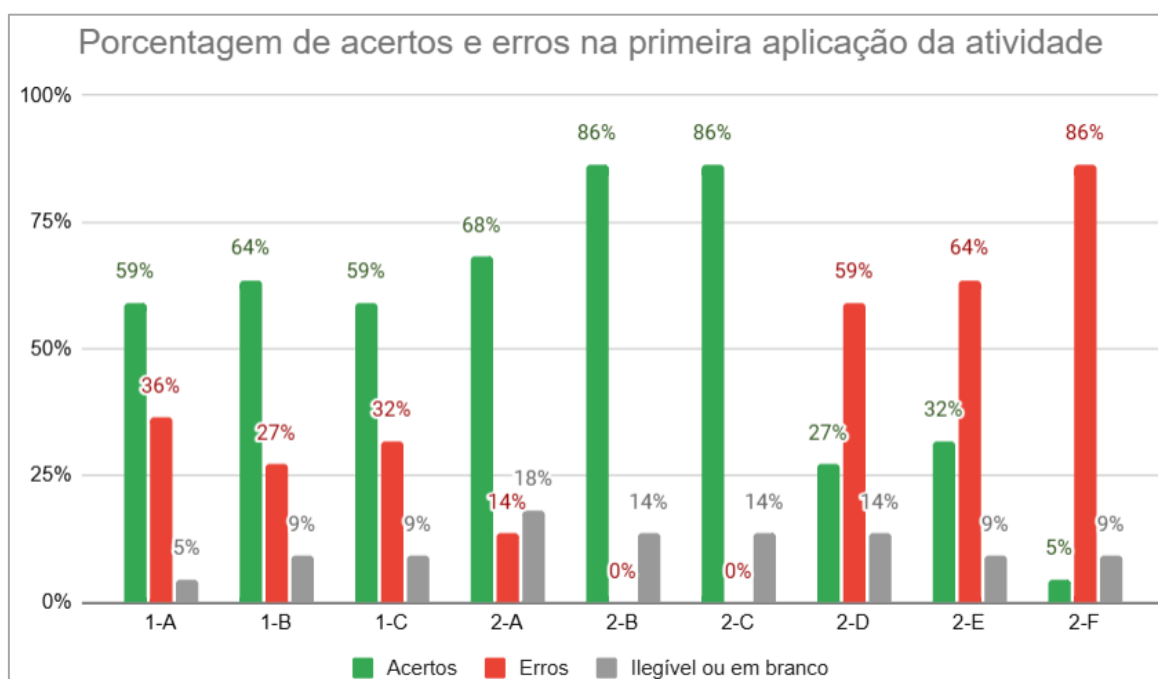


Figura 04: Análise das respostas à primeira aplicação

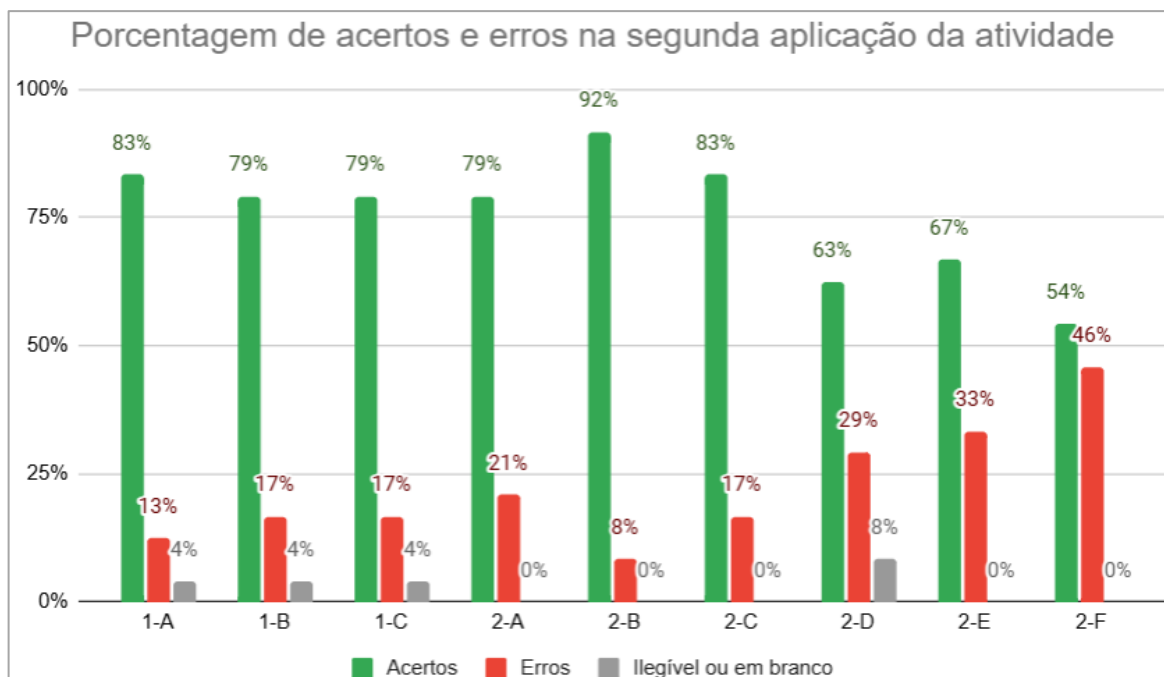


Figura 05: Análise das respostas à segunda aplicação

De maneira geral, observou-se uma melhora significativa no desempenho da turma na segunda aplicação, realizada três meses após a aula. A diferença mais notável está nos três últimos itens, que abordam a observação de um movimento de queda livre dentro de um barco em movimento uniforme, considerando diferentes referenciais.

Considerações finais

Este artigo explorou o uso de experimentos mentais no ensino de Física, com foco nos experimentos do barco de Galileu. Através da atividade proposta, foi possível observar como esses experimentos podem ser ferramentas poderosas para facilitar a compreensão de conceitos complexos, como o movimento relativo, e para conectar os estudantes ao contexto histórico da ciência.

Os resultados obtidos demonstram que, mesmo após três meses da aula sobre movimento relativo, os estudantes foram capazes de reter e aplicar os conceitos discutidos, o que reflete a eficácia do uso de experimentos mentais como uma estratégia pedagógica. A metodologia empregada não só incentivou a participação ativa e o engajamento dos alunos, como também os aproximou da ciência enquanto uma construção histórica e coletiva.

No entanto, é importante ressaltar que o sucesso dessa abordagem depende de uma mediação cuidadosa por parte do professor. A complexidade dos conceitos e a necessidade de contextualização histórica exigem que a exposição seja clara e equilibrada, evitando sobrecarregar os estudantes com informações excessivas.

Embora o uso de experimentos mentais seja subutilizado na educação em Física, como evidenciado pela escassa produção científica nacional sobre o tema, este trabalho sugere que há um vasto potencial a ser explorado. Futuras pesquisas podem aprofundar o estudo dessas metodologias, buscando maneiras de integrá-las

de forma ainda mais eficaz ao ensino de Física, e contribuindo para uma formação científica mais crítica e reflexiva.

Em suma, os experimentos mentais, como os de Galileu, não apenas enriquecem o ensino de Física, mas também proporcionam aos estudantes uma visão mais ampla e humanizada da ciência. Através dessas abordagens, é possível desenvolver uma compreensão mais profunda dos conceitos científicos e fomentar uma atitude investigativa e curiosa em relação ao mundo natural.

Referências

BEIRAL, Josilândia de Oliveira; SOUSA, Carlos Eduardo Batista de. O cenário das pesquisas sobre a utilização dos Experimentos de Pensamento no Ensino de Física. **Experiências em Ensino de Ciências**, [S.l.], v. 17, n. 1, p. 14-34, abr. 2022.

GALILEI, Galileu. **Dialogue concerning the two chief world systems**: ptolomaic and copernican. Berkeley: Trad. Stillman Drake, 1967.

GUIMARÃES, Ricardo Rangel. Epistemologia dos experimentos mentais, argumentação e explicações científicas no ensino de Física e de Ciências. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**, [S.L.], v. 4, n. 3, p. 1225-1241, 2 set. 2021. UPF Editora.

KIOURANIS, Neide Maria Michellan; SOUZA, Aguinaldo Robinson de; SANTIN FILHO, Ourides. Experimentos mentais e suas potencialidades didáticas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.L.], v. 32, n. 1, p. 1507-1510, mar. 2010.

MARICONDA, Pablo Rubén. Carta de Galileu Galilei a Francesco Ingoli. **Scientiae Studia: Estudos de Filosofia e História da Ciência**, São Paulo, v. 3, n. 3, p. 477-517, set. 2005.

MARTINS, Roberto de Andrade. Galileo e o princípio da relatividade. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, [S.L.], n. 9, p. 69-86, 1986.

VELENTZAS, Athanasios; HALKIA, Krystallia; SKORDOULIS, Constantine. Thought Experiments in the Theory of Relativity and in Quantum Mechanics: their presence in textbooks and in popular science books. **Science & Education**, [S.L.], v. 16, n. 3-5, p. 353-370, maio 2006. Springer Science and Business Media LLC.
<http://dx.doi.org/10.1007/s11191-006-9030-1>.