



## UEPS SOBRE O ESTUDO DA CINEMÁTICA NO DIAGRAMA ESPAÇO-TEMPO EM NÍVEL DE ENSINO MÉDIO

### UEPS ON THE STUDY OF KINEMATICS IN THE SPACE-TIME DIAGRAM IN HIGH SCHOOL LEVELS

José Roberto Gomes Soeiro<sup>1</sup>, Flávio Gimenes Alvarenga<sup>2</sup>, Laércio Ferracioli Evandro da Silva<sup>3</sup>.

<sup>1,2,3</sup> Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física/MNPEF-Polo 12, ES, Brasil

### Resumo

Propõe-se uma sequência didática no formato de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) para o ensino de cinemática relativística, baseado no livro *An illustrated guide to relativity*, Takeuchi (2010). As aulas estão distribuídas pelos seguintes tópicos: estudo sobre referencial, estudo sobre velocidade relativa, estudo sobre velocidade relativa no diagrama espaço-tempo, estudo sobre a velocidade da luz, estudo sobre velocidade relativa relativística no diagrama espaço-tempo, estudo sobre causalidade no diagrama espaço-tempo, estudo sobre sincronização dos relógios no diagrama espaço-tempo, estudo sobre dilatação dos relógios no diagrama espaço-tempo e estudo sobre contração de Lorentz. A sequência prevê uma aula para resoluções de problemas quantitativos e outra aula para questões qualitativas, que utilizará a metodologia ativa, instruções por colegas, *peer instruction*, para obter uma consolidação da aprendizagem. Espera-se que na UEPS, a cinemática clássica de Galileu facilite o atendimento da cinemática relativística e que o *peer instruction* facilite a aprendizagem através das interações entre colegas.

**Palavras Chaves:** Cinemática; Diagrama espaço-tempo; UEPS.

### Abstract

A didactic sequence in the format of a Potentially Significant Teaching Unit (PSTU) is proposed for the teaching of relativistic kinematics, based on the book *An illustrated guide to relativity*, Takeuchi (2010). Classes will be divided into the following topics: study on referential, study on relative speed, study on relative speed in the space-time diagram, study on the speed of light, study on relativistic relative speed in the space-time diagram, study on causality in the diagram space-time, study on synchronization of clocks in the space-time diagram, study on the dilation of clocks in the space-time diagram and study on Lorentz contraction. The sequence includes a class for quantitative problem solving and another class for qualitative questions, which will use the active methodology, peer instruction, peer instruction, to achieve a consolidation of learning. It is expected that in PSTU, Galileo's classical kinematics will facilitate the fulfillment of relativistic kinematics and that peer instruction will facilitate learning through peer interactions.

**Key Words:** Kinematics; Space-time diagram; PSTU.

### Introdução

Tendo em vista a importância da Física Moderna e Contemporânea no ensino médio



evidenciada nas 10 competências da Base Nacional Comum Curricular, BNCC, e pelo currículo da Secretaria de Educação do Estado do Espírito Santo, SEDU, propõe-se neste trabalho um produto educacional com ênfase na cinemática relativística.

Esse produto educacional consiste numa sequência didática no formato de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) que possibilite o entendimento de elementos da Relatividade Restrita como velocidade relativa relativística, contração espacial e dilatação espacial através de gráficos, no caso diagramas de Minkowski do espaço-tempo, pelos quais os estudantes com a utilização de papel milimetrado poderão observar e consolidar os princípios da cinemática relativística.

### 1. Fundamentação Teórica

A sequência didática para o ensino de cinemática relativística é elaborada no formato de uma UPES, Moreira 2011, que tem, por sua vez, elementos de Ausubel e Vergnaud. As contribuições de Ausubel são:

- Aprendizagem significativa;
- Organizadores prévios (pontes cognitivas);
- Disposição para aprender.

A aprendizagem significativa tem que ser relacionada com o subsunçor do aluno, o conhecimento alternativo ou científico que possui, como por exemplo o conceito de velocidade ou repouso, para que possa ancorar o conhecimento científico, por exemplo de cinemática relativística e a transformação de Lorentz. Há a necessidade de organizadores prévios, como por exemplo a cinemática não relativística e a transformação de Galileu, para que o aluno faça essa ancoragem e obtenha uma aprendizagem arbitrária e substantiva (não literal), como citado abaixo:

A aprendizagem receptiva significa implica a aquisição de novos conceitos. Exige tanto uma disposição para aprendizagem significativa como a apresentação ao aluno de material potencialmente significativo. Esta última posição pressupõe, por sua vez, (1) que o material de aprendizagem por si só pode ser relacionado a qualquer estrutura cognitiva apropriada (que possua um sentido “lógico”), de forma não arbitrária (plausível, sensível e não aleatória) e substantiva (não literal), e (2) que as novas informações podem ser relacionadas a(s) ideia(s) básica(s) relevante já existentes na estrutura cognitiva do aluno... (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980).

As principais contribuições de Gérard Vergnaud são:

- Campos conceitual;
- Situações-problemas.

Os campos conceituais serão relacionados com as teorias de Galileu e Newton com espaço absoluto, tempo absoluto e velocidade sem um limite superior de intensidade, que contrasta com a teoria de Einstein em que o espaço-tempo é relativo e a velocidade da luz no vácuo é invariante sendo o valor máximo de velocidade permitida.

As situações-problemas procuram modificar os esquemas das teorias de Galileu e Newton, que utilizam a transformação de Galileu, para a teoria de Einstein, que utiliza a transformação de Lorentz.

Algumas situações problemas da sequência didática são mostradas na figura 1.



# Encontros Integrados em Física e seu Ensino 2022

II Encontro do MNPEF (En-MNPEF)  
VIII Escola Brasileira de Ensino de Física (EBEF)  
XI Escola de Física Roberto A. Salmeron (EFRAS)

Universidade de Brasília  
Instituto de Física  
12 a 16 de dezembro de 2022

100 anos de Darcy Ribeiro

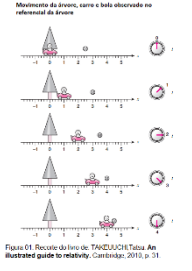
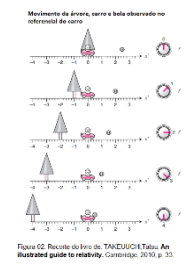
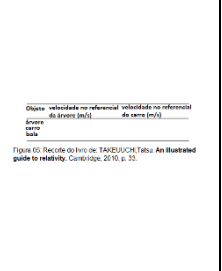
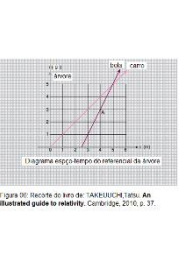
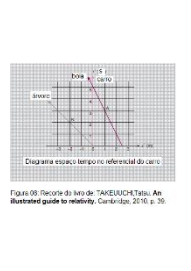
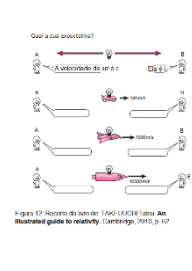
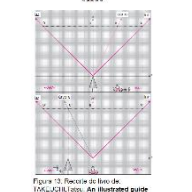
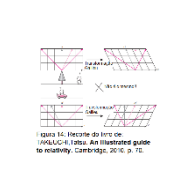
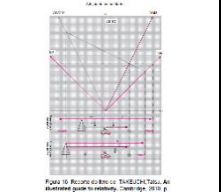
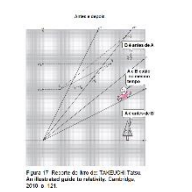
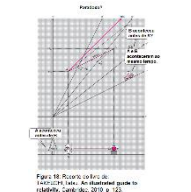
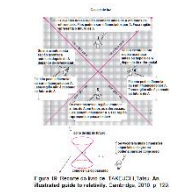
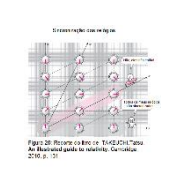
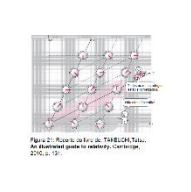
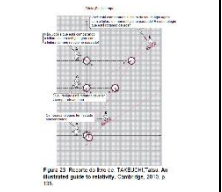
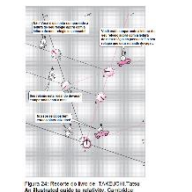
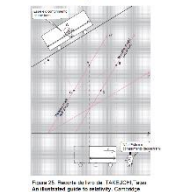
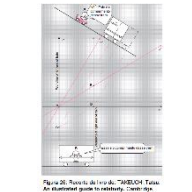
| Aula 01   |   | Aula 02   |  | Aula 03   |   | Aula 04 |  |
|---|---|---|--|---|---|---------|--|
|    |    |    |    |    |    |         |  |
| Aula 05   |   |   |  | Aula 06   |   |         |  |
|    |    |    |    |    |    |         |  |
| Aula 07   |   | Aula 08   |  | Aula 09   |   |         |  |
|  |  |  |  |  |  |         |  |

Figura 1: Exemplos das figuras contendo situações-problemas apresentadas nas aulas.  
Fonte: Adaptado de Takeuchi (2010).

Na sequência didática a metodologia ativa *peer instruction* é utilizada para a consolidação do conhecimento científico da cinemática relativística.

A citação abaixo explica o funcionamento desta metodologia ativa:

1. Se as porcentagens das respostas corretas são menores que 30%, então o conceito é revisto
2. Se as porcentagens das respostas corretas são entre 30% e 70% então, a discussão de pares segue, e o s estudantes tem chance de re-entrar a sua resposta e finalmente o professor dá a resposta com uma breve explicação.
3. Se as porcentagens das respostas corretas são mais que 70% então o professor dá a resposta com uma breve explicação e pode continuar com o próximo tópico”

Alvarez-Alvarado, Mora, Cevallos-Reyes (2019)

Os passos dessa UEPS de cinemática relativística estão resumidos no quadro 1.



## Encontros Integrados em Física e seu Ensino 2022

II Encontro do MNPEF (En-MNPEF)  
VIII Escola Brasileira de Ensino de Física (EBEF)  
XI Escola de Física Roberto A. Salmeron (EFRAS)

Universidade de Brasília  
Instituto de Física  
12 a 16 de dezembro de 2022

*100 anos de Darcy Ribeiro*

Quadro 1 – Passos da UEPS relacionados aos conteúdos da sequência didática.

| PASSOS | ATIVIDADES DESENVOLVIDAS   | OBJETIVOS  | CONTEÚDOS ABORDADOS   |
|--------|--|--|---|
| 1.     | <ul style="list-style-type: none"><li>O tópico específico a ser abordado é a cinemática</li></ul>  | Descrever o objetivo geral   | ✓ Cinemática  |
| 2.     | <ul style="list-style-type: none"><li>A externalização do conhecimento prévio do aluno obtido por pesquisa das suas concepções alternativas na literatura</li></ul>                    | Encontras na literatura concepções alternativas.   | ✓ Cinemática  |
| 3.     | <ul style="list-style-type: none"><li>Passo 03: As situações-problema em nível introdutório serão abordadas:</li></ul>   | Obter organizador prévio para cinemática relativística                                     | ✓ Aula 01: Estudo sobre referencial;<br>✓ Aula 02: Estudo sobre velocidade relativa;<br>✓ Aula 03: Estudo sobre velocidade relativa no diagrama espaço-tempo; |
| 4.     | <ul style="list-style-type: none"><li>Passo 04: O conhecimento geral a ser ensinado-aprendido são os dois postulados de Einstein e suas consequências.</li></ul>                       | Abordar os dois postulados de Einstein   | ✓ Aula 04: Estudo sobre a velocidade da luz;  |
| 5.     | <ul style="list-style-type: none"><li>Passo 05: As novas situações-problemas buscam “destacar semelhanças e diferenças relativamente às situações e exemplos já trabalhados”</li></ul> | Comparar o diagrama espaço-tempo na transformação de Galileu e na transformação de Lorentz | ✓ Aula 05: Estudo sobre velocidade relativa relativística no diagrama espaço-tempo;   |



## Encontros Integrados em Física e seu Ensino 2022

II Encontro do MNPEF (En-MNPEF)  
VIII Escola Brasileira de Ensino de Física (EBEF)  
XI Escola de Física Roberto A. Salmeron (EFRAS)

Universidade de Brasília  
Instituto de Física  
12 a 16 de dezembro de 2022

*100 anos de Darcy Ribeiro*

|    |  |  |   |
|----|--|--|---|
| 6. | <ul style="list-style-type: none"><li>Passo 06: novas situações-problema “em níveis mais altos de complexibilidade em relação às situações anteriores”</li></ul> | Entender as consequências da invariância da velocidade da luz no diagrama espaço-tempo | <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Aula 06: Estudo sobre causalidade no diagrama espaço-tempo;</li><li>✓ Aula 07: Estudo sobre sincronização dos relógios no diagrama espaço-tempo;</li><li>✓ Aula 08: Estudo sobre dilatação dos relógios no diagrama espaço-tempo;</li><li>✓ Aula 09: Estudo sobre contração de Lorentz;</li></ul> |
| 7. | <ul style="list-style-type: none"><li>A coleta de “evidencia de aprendizagem significativa do conteúdo trabalhado”</li></ul>                                     | Consolidar o conhecimento da cinemática relativística                                  | <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Aula 10: Resolução de exercícios;</li><li>✓ Aula 11: Questões qualitativas: leitura do diagrama espaço-tempo;</li><li>✓ Aula 12: Questões qualitativas: adição de velocidades;</li></ul>  |
| 8. | <ul style="list-style-type: none"><li>A UEPS será avaliada do êxito da sequência didática.</li></ul>   | Avaliação da UEPS  | <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Análise das respostas do peer struction</li></ul>   |

Fonte: De autoria própria.

## 2. Método e Materiais

Elabora-se uma sequência didática no formato UEPS utilizando diagramas do tipo espaço-tempo para o ensino de cinemática relativística. A sequência é inspirada no livro *An Illustrated guide to relativity*, de TAKEUCHI (2010). A linguagem de gráficos produzidos em papel milimetrado é empregada para a representação de movimentos relativos, contração espacial e dilatação temporal.

Esse produto educacional é voltado para um público alvo de disciplinas eletivas do novo ensino médio. A sequência didática é dividida em 12 aulas, sendo que as primeiras aulas, a saber 01, 02 e 03, abordam a cinemática não relativística; a aula 04, introduz a cinemática relativística discutindo os dois postulados de Einstein; as aulas 05, 06, 07, 08 e 09, mostram as consequências



## Encontros Integrados em Física e seu Ensino 2022

II Encontro do MNPEF (En-MNPEF)  
VIII Escola Brasileira de Ensino de Física (EBEF)  
XI Escola de Física Roberto A. Salmeron (EFRAS)

Universidade de Brasília  
Instituto de Física  
12 a 16 de dezembro de 2022

*100 anos de Darcy Ribeiro*

da invariância da velocidade da luz; e por fim, as aulas 10, 11 e 12, são utilizadas para a consolidação do conhecimento científico através de questões quantitativas, aula 10, e questões qualitativas, aula 11 e 12, onde utiliza-se a metodologia ativa *peer instruction*.

Segue abaixo o quadro 2 com as descrições das aulas.

Quadro 2 - Descrição das aulas.

| Aula | Descrição da aula |  |
|------|-------------------|--|
| 01   | Tópico            | Estudo sobre referencial   |
|      | Objetivo          | Obter indícios de compreensão de referencial   |
|      | Duração           | 50 minutos ou 55 minutos   |
|      | Local             | Laboratório de Física ou biblioteca ou sala de aula  |
|      | Recursos          | Material impresso, papel vegetal, Datashow e Chromebook  |
|      | Procedimento      | <ul style="list-style-type: none"><li>Formar grupos de no máximo 5 alunos;</li><li>Entregar material impresso ao grupo;</li><li>Leitura das questões básicas;</li><li>Mediação do professor para auxiliar os alunos;</li><li>Recolhimento do material;</li><li>Apresentação de slides.</li></ul> |
| 02   | Tópico            | Estudo sobre velocidade relativa   |
|      | Objetivo          | Obter indícios de compreensão da transformação de Galileu  |
|      | Duração           | 50 minutos ou 55 minutos   |
|      | Local             | Laboratório de Física ou biblioteca ou sala de aula  |
|      | Recursos          | Material impresso, papel vegetal, Datashow e Chromebook  |
|      | Procedimento      | <ul style="list-style-type: none"><li>Formar grupos de no máximo 5 alunos;</li><li>Entregar material impresso ao grupo;</li><li>Leitura das questões básicas;</li><li>Mediação do professor para auxiliar os alunos;</li><li>Recolhimento do material;</li><li>Apresentação de slides.</li></ul> |
| 03   | Tópico            | Estudo sobre velocidade relativa no diagrama espaço-tempo  |
|      | Objetivo          | Obter indícios de compreensão da transformação de Galileu no diagrama espaço-tempo   |
|      | Duração           | 50 minutos ou 55 minutos   |
|      | Local             | Laboratório de Física ou biblioteca ou sala de aula  |
|      | Recursos          | Material impresso, papel vegetal, Datashow e Chromebook  |
|      | Procedimento      | <ul style="list-style-type: none"><li>Formar grupos de no máximo 5 alunos;</li><li>Entregar material impresso ao grupo;</li><li>Leitura das questões básicas;</li><li>Mediação do professor para auxiliar os alunos;</li><li>Recolhimento do material;</li><li>Apresentação de slides.</li></ul> |
| 04   | Tópico            | Estudo sobre a velocidade da luz   |
|      | Objetivo          | Obter indícios de compreensão dos dois postulados de Einstein  |
|      | Duração           | 50 minutos ou 55 minutos   |
|      | Local             | Laboratório de Física ou biblioteca ou sala de aula  |
|      | Recursos          | Material impresso, papel vegetal, Datashow e Chromebook  |
|      | Procedimento      | <ul style="list-style-type: none"><li>Formar grupos de no máximo 5 alunos;</li></ul>   |



## Encontros Integrados em Física e seu Ensino 2022

II Encontro do MNPEF (En-MNPEF)  
VIII Escola Brasileira de Ensino de Física (EBEF)  
XI Escola de Física Roberto A. Salmeron (EFRAS)

Universidade de Brasília  
Instituto de Física  
12 a 16 de dezembro de 2022

*100 anos de Darcy Ribeiro*

|    |              |   |
|----|--------------|---|
|    |              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Entregar material impresso ao grupo;</li> <li>• Leitura das questões básicas;</li> <li>• Mediação do professor para auxiliar os alunos;</li> <li>• Recolhimento do material;</li> <li>• Apresentação de slides.</li> </ul>   |
| 05 | Tópico       | Estudo sobre velocidade relativa relativística no diagrama espaço-tempo   |
|    | Objetivo     | Obter indícios de compreensão da transformação de Lorentz   |
|    | Duração      | 50 minutos ou 55 minutos  |
|    | Local        | Laboratório de Física ou biblioteca ou sala de aula   |
|    | Recursos     | Material impresso, papel vegetal, Datashow e Chromebook   |
|    | Procedimento | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Formar grupos de no máximo 5 alunos;</li> <li>• Entregar material impresso ao grupo;</li> <li>• Leitura das questões básicas;</li> <li>• Mediação do professor para auxiliar os alunos;</li> <li>• Recolhimento do material;</li> <li>• Apresentação de slides.</li> </ul> |
| 06 | Tópico       | Estudo sobre causalidade no diagrama espaço-tempo   |
|    | Objetivo     | Obter indícios de compreensão da transformação de Lorentz   |
|    | Duração      | 50 minutos ou 55 minutos  |
|    | Local        | Laboratório de Física ou biblioteca ou sala de aula   |
|    | Recursos     | Material impresso, papel vegetal, Datashow e Chromebook   |
|    | Procedimento | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Formar grupos de no máximo 5 alunos;</li> <li>• Entregar material impresso ao grupo;</li> <li>• Leitura das questões básicas;</li> <li>• Mediação do professor para auxiliar os alunos;</li> <li>• Recolhimento do material;</li> <li>• Apresentação de slides.</li> </ul> |
| 07 | Tópico       | Estudo sobre sincronização dos relógios no diagrama espaço-tempo  |
|    | Objetivo     | Obter indícios de compreensão da transformação de Lorentz   |
|    | Duração      | 50 minutos ou 55 minutos  |
|    | Local        | Laboratório de Física ou biblioteca ou sala de aula   |
|    | Recursos     | Material impresso, papel vegetal, Datashow e Chromebook   |
|    | Procedimento | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Formar grupos de no máximo 5 alunos;</li> <li>• Entregar material impresso ao grupo;</li> <li>• Leitura das questões básicas;</li> <li>• Mediação do professor para auxiliar os alunos;</li> <li>• Recolhimento do material;</li> <li>• Apresentação de slides.</li> </ul> |
| 08 | Tópico       | Estudo sobre dilatação dos relógios no diagrama espaço-tempo  |
|    | Objetivo     | Obter indícios de compreensão da transformação de Lorentz   |
|    | Duração      | 50 minutos ou 55 minutos  |
|    | Local        | Laboratório de Física ou biblioteca ou sala de aula   |
|    | Recursos     | Material impresso, papel vegetal, Datashow e Chromebook   |
|    | Procedimento | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Formar grupos de no máximo 5 alunos;</li> <li>• Entregar material impresso ao grupo;</li> <li>• Leitura das questões básicas;</li> </ul>   |



## Encontros Integrados em Física e seu Ensino 2022

II Encontro do MNPEF (En-MNPEF)  
VIII Escola Brasileira de Ensino de Física (EBEF)  
XI Escola de Física Roberto A. Salmeron (EFRAS)

Universidade de Brasília  
Instituto de Física  
12 a 16 de dezembro de 2022

*100 anos de Darcy Ribeiro*

|    |              |  |
|----|--------------|--|
|    |              | <ul style="list-style-type: none"><li>• Mediação do professor para auxiliar os alunos;</li><li>• Recolhimento do material;</li><li>• Apresentação de slides.</li></ul>   |
| 09 | Tópico       | Estudo sobre contração de Lorentz  |
|    | Objetivo     | Obter indícios de compreensão da transformação de Lorentz  |
|    | Duração      | 50 minutos ou 55 minutos   |
|    | Local        | Laboratório de Física ou biblioteca ou sala de aula  |
|    | Recursos     | Datashow e Chromebook  |
|    | Procedimento | <ul style="list-style-type: none"><li>• Formar grupos de no máximo 5 alunos;</li><li>• Entregar material impresso ao grupo;</li><li>• Leitura das questões básicas;</li><li>• Mediação do professor para auxiliar os alunos;</li><li>• Recolhimento do material;</li><li>• Apresentação de slides.</li></ul>   |
| 10 | Tópico       | Resolução de exercícios  |
|    | Objetivo     | Obter indícios de compreensão da transformação de Lorentz  |
|    | Duração      | 50 minutos ou 55 minutos   |
|    | Local        | Laboratório de Física ou biblioteca ou sala de aula  |
|    | Recursos     | Material impresso, Datashow e chronebook   |
|    | Procedimento | <ul style="list-style-type: none"><li>• Formar grupos de no máximo 5 alunos;</li><li>• Entregar material impresso ao grupo;</li><li>• Leitura das questões básicas;</li><li>• Mediação do professor para auxiliar os alunos;</li><li>• Recolhimento do material;</li><li>• Apresentação de slides.</li></ul>   |
| 11 | Tópico       | Questões qualitativas: leitura do diagrama espaço-tempo  |
|    | Objetivo     | Obter indícios de compreensão da transformação de Lorentz  |
|    | Duração      | 50 minutos ou 55 minutos   |
|    | Local        | Laboratório de Física ou biblioteca ou sala de aula  |
|    | Recursos     | Datashow e Chromebook  |
|    | Procedimento | <ul style="list-style-type: none"><li>• Apresentação das questões conceituais pelo slide.</li><li>• Resposta dos alunos, se abaixo de 30% de acertos, revisão do conteúdo, se entre 30% e 70 %, os alunos irão se instruir aos pares, e depois a questão será repetida novamente, se acima de 70% de acertos, resposta do professor, e novas questões conceituais;</li></ul> |
| 12 | Tópico       | Questões qualitativas: adição de velocidades   |
|    | Objetivo     | Obter indícios de compreensão da transformação de Lorentz  |
|    | Duração      | 50 minutos ou 55 minutos   |
|    | Local        | Laboratório de Física ou biblioteca ou sala de aula  |
|    | Recursos     | Datashow e Chromebook  |
|    | Procedimento | <ul style="list-style-type: none"><li>• Apresentação das questões conceituais pelo slide.</li><li>• Resposta dos alunos, se abaixo de 30% de acertos, revisão do conteúdo, se entre 30% e 70 %, os alunos irão se instruir aos pares, e depois a questão será repetida novamente, se acima de 70% de acertos, resposta do professor, e novas questões conceituais;</li></ul> |





---

Fonte: De autoria própria.

### 3. Resultados e Discussões

A aplicação da sequência didática está em andamento, de modo que os resultados são preliminares. Uma questão apresentada pelos alunos, nesse início foi a dificuldade de entendimento do movimento da árvore que está no solo em relação ao referencial do carro, evidenciando falta de conhecimento prévio do conceito de movimento relativo. O uso de gráficos do diagrama espaço-tempo em papel milimetrado foi uma estratégia utilizada para clarear a aprendizagem do movimento ser relativo, dependendo assim do referencial adotado. Mas ainda há uma necessidade de evidência de aprendizagem significativa para essa questão.

### 4. Considerações Finais

Espera-se que, na UEPS, a cinemática clássica de Galileu facilite o atendimento da cinemática relativística e que o *peer instruction* aumente o número de alunos com aprendizagem sobre a cinemática relativística através das interações.

### Agradecimentos

À CAPES pelo suporte financeiro

### Referências

ALVAREZ-ALVARADO, Manuel S.; MORA, Cesar; CEVALLOS-REYES, Cesar B. **Peer instruction to address alternative conceptions in Einstein's special relativity**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 41, 2019.

AUSUBEL, David Paul; NOVAK, Joseph D.; HANESIAN, Helen. **Psicologia educacional**. Interamericana, 1980.

MOREIRA, Marco Antonio. **UNIDADES DE ENSEÑANZA POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS-UEPS** (Potentially Meaningful Teaching Units–PMTU). 2011.

TAKEUCHI, Tatsu. **An Illustrated guide to relativity**. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.

VERGNAUD, Gérard. La teoría de los campos conceptuales. **Recherches en didactique des mathématiques**, v. 10, n. 2, p. 3, 1990.