

INVESTIGANDO O FENÔMENO DA DILATAÇÃO TÉRMICA LINEAR DE MATERIAIS SÓLIDOS COM UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Thales Mendes ¹
Daniel Lima ²

RESUMO

Faz-se um relato da sequência didática numa experiência com alunos do 2º ano do curso Técnico em Agropecuária, na modalidade integrada ao Ensino Médio, do IF Baiano. A proposta foi de verificar o coeficiente de dilatação de uma haste utilizando do equipamento Dilatômetro Linear®. Para essa verificação foram utilizados recursos gráficos e de fórmulas do software Microsoft Office Excel® aplicados aos métodos estatísticos de regressão linear e média aritmética simples. Com a determinação dos coeficientes de dilatação, desvio padrão, coeficiente de determinação, R^2 , erros relativos percentuais, para os métodos utilizados foi possível compará-los e fazer inferência sobre a eficiência de cada um. De outra forma os alunos tiveram contato com a prática no laboratório, em contramão ao verificacionismo e ao reducionismo, através do estudo dos erros, dos métodos quantitativos de análise e da comparação entre eles. Durante todo o processo, por meio da sequência proposta, buscou-se mediar os alunos para uma aprendizagem mais eficaz, significativa, que possa lidar com fenômenos do cotidiano, aparatos tecnológicos para aquisição e análise de dados experimentais e com a inserção da iniciação científica no Ensino Médio.

Palavras-chave: Sequência didática, aprendizagem significativa, iniciação científica.

INTRODUÇÃO

As indicações atuais para o desenvolvimento das competências na aprendizagem de Física, no Ensino Médio, expressam ser indispensável retomar o papel da experimentação nesse ensino. Dessa forma busca-se garantir a construção do conhecimento pelo próprio aluno, manuseando, operando, agindo em diferentes formas e níveis, desenvolvendo curiosidade e aproximando-o do conhecimento científico. Porém, aponta para a necessidade de mudança em relação às situações convencionais na experimentação em laboratório.

Nesse contexto da necessidade do uso do laboratório de Física, de uma proposta de ensino que possa direcionar para uma aprendizagem significativa, de um ensino de Ciências que lide com os fenômenos cotidianos e tecnológicos, de uma educação que promova a iniciação científica no Ensino Médio é que se propõe a presente sequência didática.

Dessa forma, foi proposto para alunos do 2º ano do curso Técnico em Agropecuária, na modalidade integrada ao Ensino Médio, do IF Baiano – Campus Senhor do Bonfim a realização

¹ Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Baiano, thales.mendes@ifbaiano.edu.br;

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, daniel.berg@ifsertao-pe.edu.br.

de um experimento para verificar o coeficiente de dilatação de uma haste. Nesse percurso - do estudo do conteúdo, da realização do experimento para coleta de dados, da tabulação e análise dos dados - os alunos tiveram contato com erros associados ao experimento, utilização de *software* para modelagem matemática do fenômeno, o que permitiu fazer inferência sobre dois métodos distintos de análise quantitativa (o da média aritmética simples e o da regressão linear).

É certo que o foco desse trabalho é a sequência didática e que há necessidade de se descrever o experimento e a análise dos dados. O experimento, em si, pode parecer comum para professores de Física, mas as nuances da análise dos dados, principalmente para o Ensino Médio, é a maior contribuição nessa experiência. Quanto a isso não se precisa argumentar muito: a regressão linear, por exemplo, não é assunto comum nesse nível de ensino; ademais compará-la com outro método.

Para tanto, fundamenta-se brevemente a sequência didática com aspectos relacionados a pesquisa em ensino de Física; depois insere-se uma breve explicação da dilatação de sólidos (referenciada por autores do Ensino Médio) e dos métodos de análise quantitativo utilizando o *software* Microsoft Office Excel®.

REFERENCIAL TEÓRICO

Aprendizagem significativa, reducionismo e verificacionismo

O objetivo principal da sequência didática proposta está na tentativa de que o aluno aprenda, na perspectiva de uma aprendizagem significativa em oposição a aprendizagem mecânica. Para intensificar esta ação utilizou-se materiais potencialmente significativos, que no caso, foi o Dilatômetro Linear® e software Microsoft Office Excel®. Na perspectiva de facilitar essa aprendizagem, a teoria (da Aprendizagem Significativa) remete a utilização de organizadores prévios, como esses materiais – funcionam como verdadeiros *links* entre o que o aluno já sabe e o que ele vai aprender (MOREIRA, 2011).

Soma-se a esse aspecto cognitivo, a experimentação - que foi tratada sem exacerbado verificacionismo - e os erros - valorizados no direcionamento do não-reducionismo. Esse contexto integra um conjunto de ações para iniciação científica dos alunos do Ensino Médio. Essa dimensão investigativa dada à ciência e sua importância na sociedade como objeto e instrumento de estudo e transformação, bem como a formação do cidadão se destaca nas Orientações Curriculares para o Ensino Médio, propostas pelo MEC (BRASIL e MEC, 2006).

Especificamente no ensino de Física, o que tenta-se romper é como os fenômenos físicos são abordados: de forma desconexa e independente, dissociada da realidade e aplicação no cotidiano, tal como o descarte de interações dissipativas. Dessa forma o aluno constrói uma realidade imaginária diferente daquela que se tem. Essas variáveis podem e devem ser consideradas nos processos de ensino e aprendizagem, levando as leis físicas à aplicabilidade no cotidiano e no mundo real. Essa visão reducionista deve dar lugar para ideias e teorias novas. E a experimentação coloca-se como importante multimeio de se reconhecer as “imperfeições” nas idealizações, a exemplo dos erros associados as medidas (OFUGI, 2001).

De outra forma, a análise de dados do experimento aproxima o aluno da computação numérica. Os programas de tabulação, processamento de dados, apoio gráfico e estatístico põem-se como uma importante ferramenta, tanto para o aluno como para o professor, ajudando a esclarecer e aprofundar conceitos de Física no Ensino Médio (BARBOSA *et al*, 2006).

Assim, no laboratório didático deve-se minimizar o condicionamento do experimento de forma repetitiva, tanto na quantidade de medidas, como na realização do experimento em si mesmo. Há que se ponderar, aqui, a incompreensão epistemológica acerca do fenômeno da experimentação no ensino da Física, muito identificada com o verificacionismo (Medeiros e Bezerra, 2000), sem o esclarecimento sobre as raízes e causas da experimentação.

Esses focos – a relevância dos erros e a discussão sobre o aparato experimental - se constituem, gradativamente, em práticas que ajudam o aluno a contextualizar e a criar pontes sólidas entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente.

Dilatação de sólidos, regressão linear e média aritmética simples

A Dilatação de sólidos consiste na expansão ou contração que um determinado sólido sofre ao ser submetido a uma variação de temperatura. Essa variação provoca uma maior vibração das partículas que fazem parte da constituição do sólido, gerando como consequência, a variação das suas dimensões que pode ocorrer de forma linear, superficial e volumétrica (SAMPAIO E CALÇADA, 2008).

Na dilatação linear de um sólido, como uma haste de metal ou os trilhos de uma ferrovia, utiliza-se a equação $\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T$. Nesta, ΔL é a dilatação linear ou a contração sofrida por um sólido de comprimento inicial, L_0 , e que sofre uma variação de temperatura, ΔT . O α corresponde ao coeficiente de dilatação linear do material de que é constituído o sólido. Essa equação tem equivalência a uma equação do 1º grau. Fazendo essa comparação, temos:



ΔL	$=$	α	\cdot	L_0	\cdot	ΔT	$+$	0
↓		↓		↓		↓		↓
y		$=$	A	\cdot	x		$+$	B

Figura 1: Comparação das equações para equivalência

Nesse modelo teórico percebe-se que $A=\alpha$, $B=0$, $y=\Delta L$ e $x=L_0 \cdot \Delta T$. Assim, para obter o coeficiente de dilatação linear basta determinar a constante A da equação do 1º grau, que indica também a inclinação da reta no gráfico x por y.

Para determinar as constantes A e B da equação do 1º grau, pode-se utilizar o método estatístico de regressão linear. Esse método infere sobre a relação linear de x e y, minimizando os dados coletados a uma reta de regressão. Dessa regressão, é possível obter a inclinação da reta e a sua interceptação com o eixo y, fatores determinantes para modelização desse método.

Numa amostra, é possível obter o valor médio das medidas através da média aritmética simples. Essa média é determinada pela divisão da soma dos valores das observações pelo quantitativo dessas observações.

O programa Microsoft Excel® possui funções pré-programadas para obtenção dos valores das constantes na regressão linear. Uma é a função INCLINAÇÃO, que retorna a inclinação da linha de regressão linear através de pontos de dados x e y. A outra é a função INTERCEPÇÃO, que calcula o ponto no qual uma linha irá interceptar o eixo y usando valores de x e y existentes. Dessa forma, essas funções são baseadas em uma linha de regressão de melhor ajuste, plotada pelos valores de x e y conhecidos, ou seja, pelos valores das coordenadas. Possui, também, funções para obtenção da média aritmética simples, MÉDIA, e do desvio padrão, DESVPAD.A (LAPPONI, 2005).

METODOLOGIA

Esse trabalho possui enfoque qualitativo com características de uma ação- participativa. Nesse tipo de investigação há uma ativa participação dos sujeitos envolvido, que reconhecem os problemas e querem melhorar a estrutura existente (ALVARENGA, 2008). A sequência didática foi aplicada para dois alunos do Ensino Médio, escolhidos intencionalmente devido a limitação da quantidade do aparato experimental (somente um aparelho) e a disponibilidade dos alunos em horário extraclasse (o curso é integral e diurno). O estudo foi de corte transversal a um período de três meses (correspondente a uma unidade didática do curso).

A sequência metodológica se estreitou com a engenharia didática (ARTIGUE, 1996): primeiro, foi apresentado a ideia do projeto para os alunos; depois os alunos expuseram suas concepções sobre os assuntos relacionados (avaliação inicial); foi iniciada a execução do experimento; por último fez-se uma comparação entre a avaliação inicial e o estado atual. É importante destacar que o método utilizado para a avaliação se distingue da aplicação de “provas”, tendo se utilizado, prioritariamente, do diálogo. Esses passos compõe a sequência didática, descrita a seguir.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Da realização do experimento, coleta de dados e elaboração de tabelas no programa Microsoft Excel®, os alunos tiveram que estudar sobre erros associados a instrumentos, propagação desses erros, manipular o programa para formatação e construção de fórmulas. Ainda, as fórmulas necessárias para a propagação dos erros foram explicitadas a partir das relações de soma, subtração, multiplicação e divisão e de inferência qualitativa das derivadas. É importante frisar que os estudos estatísticos foram realizados com a ajuda do *software*, constituindo-o como instrumento pedagógico fundamental (potencialmente significativo) na aplicação da sequência didática.

Não se descreverá aqui o passo-a-passo das explicações, mediações e intervenções associadas aos conteúdos abordados. Far-se-á apenas uma abordagem macro por acreditar ser indispensável o papel do professor, de acordo com suas peculiaridades locais, na elaboração dessas explicitações. Exemplifico: a metodologia aplicada para abordar o conteúdo de dilatação linear pode variar (e deve) na inferência de cada professor. A ideia é que além de uma sequência de ensino para o docente, ela traga-lhe aprendizado significativo sobre a forma de lidar com determinado conteúdo (metodologia).

Da avaliação inicial, após a apresentação do projeto para os alunos, foi realizado estudo dirigido sobre dilatação de sólidos e erros instrumentais. Depois, com utilização do aparelho Dilatômetro Linear® foi possível obter a dilatação, ΔL , do corpo de prova, além de outras variáveis mensuráveis, L_0 , T_0 e T_f .

Após a realização do experimento, foi realizado estudo dirigido para manipulação do Microsoft Excel® (formatação de tabelas e inserção de fórmulas) e estatística de propagação de erros. Segue, portanto, ilustração da 1ª tabela utilizada para exposição dos dados coletados, onde foi associado o valor da variação da temperatura, ΔT e seu erro (*figura 2*). Foram realizadas 20 medidas.

Nº de medidas		Erro instrumental			Propagação de erros	
Nº	$T_0 \pm 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$	$T_f \pm 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$	$L_0 \pm 0,5 \text{ mm}$	$\Delta L \pm 0,005 \text{ mm}$	$\Delta T \pm 0,7 \text{ } ^\circ\text{C}$	
1	25,0	98,0	300,0	0,240	73,0	
...

Figura 2: Modelo da 1ª tabela com os dados coletados

Regressão linear

Com os dados da 1ª tabela e com ajuda das funções do programa, foi constituído a 2ª tabela com os valores da multiplicação $L_0 \cdot \Delta T$, seu erro e a ΔL (figura 3). Nesse procedimento intencional foi utilizada a correspondência da figura 1, onde este termo representa as ordenadas (y) e aquele as abcissas (x).

Propagação de erros		Erro instrumental	
Nº	$L_0 \cdot \Delta T \text{ (mm} \cdot \text{ } ^\circ\text{C)}$	Erro (mm.°C)	$\Delta L \pm 0,005 \text{ mm}$
1	21897,0	$\pm 154,4$	0,240
...

Figura 3: Modelo da 2ª tabela

No programa utilizado foi realizado o estudo teórico-prático para inserção e formatação de gráficos e compreensão do método da regressão linear.

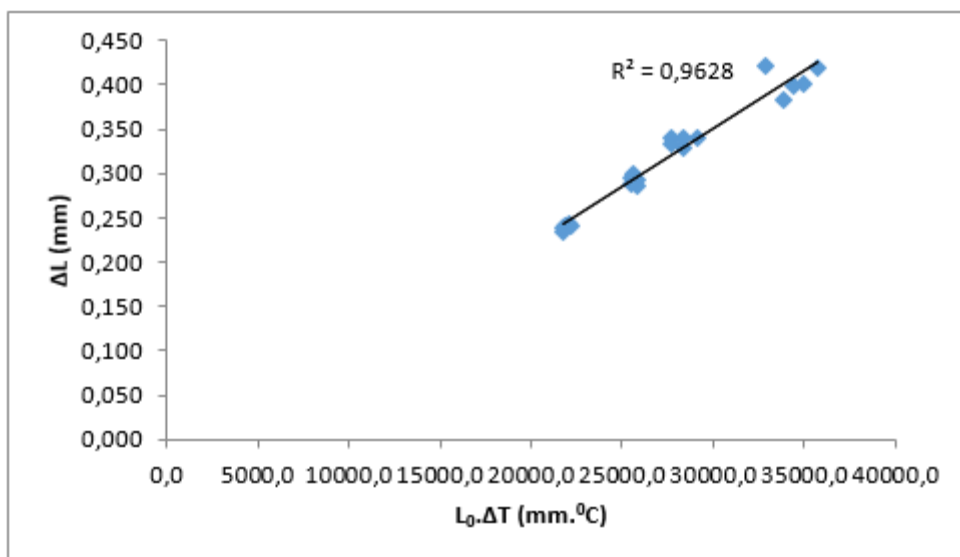


Figura 4: Gráfico de dispersão com tendência linear e R^2

Com os dados da 2ª tabela, foi inserido um gráfico de dispersão com tendência linear e calculado o coeficiente de determinação, R^2 . O R^2 significa quanto os dados coletados se adequam ao modelo de regressão escolhido e esse valor é, aproximadamente, 96% (figura 4).

Com os dados da mesma tabela, com as funções INCLINAÇÃO e INTERCEPÇÃO no Microsoft Excel®, determinou-se o coeficiente de dilatação linear do material (α_1) e o valor da constante de intersecção (0,0) com o eixo representado por ΔL . Compila-se os dados em uma tabela e associa o erro padrão da estimativa, S_e , e o desvio padrão do coeficiente angular da reta de progressão, que correspondente ao desvio padrão do coeficiente de dilatação linear, S_{α_1} . Esses dados seguem no *quadro 1*:

Quadro 1: Dados da regressão linear

α_1 ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	S_{α_1} ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	R^2	S_e
$1,3 \times 10^{-5}$	$6,1 \times 10^{-7}$	96%	0,01

Média aritmética simples

Orienta-se para entendimento e utilização das fórmulas aplicada ao método da média aritmética simples no programa.

A partir dos dados da 1ª tabela, foi calculado no Microsoft Excel® o coeficiente de dilatação linear para cada repetição (N°) do experimento e seu erro. Determinou-se, também, a média aritmética simples do coeficiente, $\bar{\alpha}_2$, e o desvio padrão S_{α_2} . Esses dados seguem no modelo da 3ª tabela (figura 5).

Funções do Microsoft Office Excel®: MÉDIA e DESVPAD.A						
N°	$T_0 \pm 0,5$ $^{\circ}\text{C}$	$T_f \pm 0,5$ $^{\circ}\text{C}$	$L_0 \pm 0,5$ mm	$\Delta L \pm 0,005$ mm	α_2 (10^{-5} $^{\circ}\text{C}$)	Erro de α_2 (10^{-7} $^{\circ}\text{C}$)
1	25,0	98,0	300,0	0,240	1,1	2,5
...
$\bar{\alpha}_2$ (10^{-5} $^{\circ}\text{C}^{-1}$)					1,2	-
S_{α_2} (10^{-7} $^{\circ}\text{C}^{-1}$)					6,0	-

Figura 5: Modelo da 3ª tabela

Comparação entre os métodos

Com os valores do coeficiente de dilatação linear pelo método da regressão linear e média aritmética simples, α_1 e $\bar{\alpha}_2$, respectivamente, e o valor indicado pelo fabricante da haste, α_f , se calculou o erro relativo percentual em relação a α_f :

Quadro 2: Comparação do α_1 e α_2 com o α_f

Coeficiente de Dilatação Linear ($10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}$)		Erro Relativo Percentual
α_1	1,3	18,2%
$\bar{\alpha}_2$	1,2	9,1%
α_f	1,1	-

O resultado do erro relativo do *quadro 2*, indica que o $\bar{\alpha}_2$ se aproxima mais de α_f (9,1%) que α_1 (18,2%). Esse percentual seria suficiente para estimar qual método é mais eficiente – o da média aritmética simples, porém os resultados e estudos realizados apontam para um questionamento sobre os dados fornecidos sobre a haste, suposta de aço, pelo fabricante. Constata-se que o valor do coeficiente de dilatação linear pode variar $1,1 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ até $1,9 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, devido à diversidade de composição do aço (Instituto Aço Brasil, 2014). Dessa forma, por não se poder confirmar o α_f , fica inviabilizada a constatação do material da haste e a determinação da eficiência dos métodos, pela análise acima descrita.

De outra forma, com os dados dos dois modelos propostos, foi realizada comparação entre os valores obtidos: determina-se o desvio percentual do coeficiente de dilatação linear, $S_{\alpha\%}$, em cada modelo.

Quadro 3: Comparação entre os métodos de análise

Método	α ($^\circ\text{C}$)	S_α ($^\circ\text{C}$)	$S_{\alpha\%}$ ($^\circ\text{C}$)	$\alpha - S_\alpha$ ($^\circ\text{C}$)	$\alpha + S_\alpha$ ($^\circ\text{C}$)
Regressão Linear	$1,3 \times 10^{-5}$	$6,1 \times 10^{-7}$	4,7%	$1,2 \times 10^{-5}$	$1,4 \times 10^{-5}$
Média Aritmética	$1,2 \times 10^{-5}$	$6,0 \times 10^{-7}$	5,0%	$1,1 \times 10^{-5}$	$1,3 \times 10^{-5}$

Ao analisar os dados do *quadro 3*, o coeficiente de dilatação linear com menor desvio percentual é o do método de regressão linear (4,7%). Esse valor, corroborado pelos valores do

coeficiente de determinação, $R^2 = 96\%$, e erro padrão da estimativa de regressão, $S_e = 0,01$, expostos no *quadro 1*, inferem para uma melhor eficiência do método.

Dessa forma, tomando como referência o α_1 , foi calculado o erro relativo percentual entre os dois coeficientes, α_1 e $\bar{\alpha}_2$. O valor é 7,7%. A diferença constatada por esse percentual é considerável. Para dimensionar essa relação foi exposto no *quadro 3* o intervalo de confiança para cada coeficiente de dilatação linear, determinado pelo desvio padrão.

Com esses intervalos é possível calcular a intersecção nessa margem, ou seja, a correspondência entre os dois métodos. Dessa maneira, calcula-se o percentual de correspondência entre as duas medidas, levando em consideração o intervalo de intersecção (de $1,2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ até $1,3 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) e o intervalo total (de $1,1 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ até $1,4 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$). O valor dessa correspondência é 33,3%. Ou seja, há pouca correspondência entre os valores dos coeficientes de dilatação linear obtidos pelos dois métodos propostos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora a prática utilizada aluda a verificação do coeficiente de dilatação linear de uma haste, em primeiro olhar, o objetivo principal não é sua obtenção. Ele está nos passos necessários para atingir seu valor em um conjunto de operações (no sentido cognitivo) que permita e facilite uma aprendizagem significativa para os alunos. Compreenda que a verificação citada acima difere do verificacionismo, não corroborado com essa prática na sua execução. Aliás, esse é um ponto de discordância quanto aplicabilidade de experimento no Ensino Médio.

De outra forma, o tema de dilatação permite uma abordagem no cotidiano do aluno e juntamente com a experimentação, as idealizações e generalizações das fórmulas experimentais geram discussões quanto aplicabilidade do método científico. A ideia primordial surgiu do não acoplamento dos pontos a reta de regressão, que difere da fórmula teórica e aproxima o aluno ao mundo da realidade. Essa perspectiva corrobora com o não-reducionismo, mas não subtrai a importância das generalizações. Conclama assim, a atenção para que não se crie um mundo de idealizações físicas estanque do real.

O *software* computacional foi fundamental para estudo teórico-experimental dos conteúdos de dilatação de sólidos, de erros e suas propagações e de métodos estatísticos, além do aprender a manipular o programa em si. Juntamente com o aparato experimental, integraram-se como materiais potencialmente significativos.

Esse conjunto de ações, integrantes na sequência didática, planejada, orientada, mediada, constituíram como verdadeiros *links* para o aprender. Há que considerar aqui que a

realização desse experimento pode não ser de fácil acesso, devido a utilização de aparato laboratorial pronto. Porém, a sequência utilizada pode e deve ser utilizada para outros experimentos. O método de regressão (não só o linear) com a ajuda do *software* utilizado pode ser aplicado em diversos experimentos de física no Ensino Médio.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, E. M. Metodologia de la investigación cuantitativa y cualitativa. Assunción: A4 Diseños, 2008.

ARTIGUE, M. Engenharia Didática. In: Didáctica das Matemáticas, p.193-217, 1996.

BARBOSA, A. C. C.; CARVALHAES, C. G.; COSTA, M. V. T. A computação numérica como ferramenta para o professor de Física do Ensino Médio. In: *Revista Brasileira de Ensino em Física*, vol. 28, nº 2, p. 249-254, 2006.

BRASIL; MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – Física, 2006.

INSTITUTO AÇO BRASIL. Site: <http://www.acobrasil.org.br>, 2014.

LAPPONI, J. C. Estatística Usando Excel. Rio de Janeiro: Campus, 2005.

MEDEIROS, A.; BEZERRA FILHO, S. A natureza da ciência e a instrumentação para o ensino da Física. In: *Ciência & Educação*, v. 6, n. 2, p. 107-117, 2000.

MENDES, T. C.; FILHO, M. P. S. Análise do influxo de um programa estatístico no ensino de física por meio da engenharia didática. In: *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 3, p.11546-11554, 2020.

MENDES, T. C.; LIMA, D. B. A. Statistical analysis on dilation of solids-a possibility for high school. In: *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 7, p. 71130-71141, 2021.

MENDES, T. C.; LIMA, D. B. A.; GONÇALVES, M; GONÇALVES, M. Exemplo de sequência didática para iniciação científica no ensino médio. In: Simpósio Nacional de Ensino de Física. Atas... São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 2016.

MOREIRA, M. A. Teorias de aprendizagem. 2a ed. São Paulo. Editora Pedagógica e Universitária, 2011.

OFUGI R. C. *Inserção da teoria da Relatividade no Ensino Médio: uma nova proposta*. Tese de Mestrado, UFSC, Florianópolis, 2001.

SAMPAIO, J. L.; CALÇADA, C. S. Universo da Física. São Paulo: Saraiva S.A, 2008.