

# ROTEIRO EXPERIMENTAL PARA ENSINO DA DIFRAÇÃO

Braian Barbosa de Oliveira

Professor da Rede Estadual de Ensino da Bahia  
braiandeoliveira@gmail.com

---

Produto educacional da dissertação de mestrado apresentada ao programa de Pós Graduação em Ensino de Astronomia da UEFS, desenvolvido sob a orientação do Prof. Dr. Marildo G. Pereira.

---

Pós-Graduação em **Astronomia**  
MESTRADO PROFISSIONAL  
UEFS



**UEFS**  
UNIVERSIDADE ESTADUAL  
DE FEIRA DE SANTANA

**Ficha catalográfica - Biblioteca Central Julieta Carteado - UEFS**

Oliveira, Braian Barbosa de  
O45r Roteiro experimental para o ensino da Difração / Braian Barbosa de  
Oliveira. – Feira de Santana, 2020.  
15f.: il.

Produto educacional da Dissertação Critério de Resolução de  
Rayleigh: proposta de atividade experimental para o ensino da difração,  
defendida no mestrado profissional em Astronomia sob a orientação de  
Marildo Geraldête Pereira.

1. Difração - Ensino. I. Título.

CDU: 535.4

Rejane Maria Rosa Ribeiro – Bibliotecária CRB-5/695

# Apresentação

Prezado (a) Professor (a), este trabalho constitui o Produto Educacional obtido como resultado da dissertação de mestrado intitulada “Critério de Resolução de Rayleigh: Proposta de Atividade Experimental para o Ensino da Difração”, desenvolvida no Programa do Mestrado Profissional em Ensino de Astronomia da Universidade Estadual de Feira de Santana – MPASTRO (UEFS). Um trabalho motivado pela percepção da baixa presença do estudo da difração no currículo da educação básica. E tendo como raiz trabalhos que sugerem o uso de elementos da Astronomia e da experimentação como agentes motivadores no ensino da Física. Propondo assim a utilização do problema do poder de resolução, sobre a perspectiva do critério de difração de Rayleigh e contextualizado à Astronomia como alternativa para contribuir no ensino da difração.

Na educação básica, o estudo da Óptica é apresentado subdividido em Óptica Geométrica e Óptica Física. A Óptica Geométrica parte de uma concepção corpuscular, estudando a luz a partir de princípios, como o de reversibilidade da propagação retilínea e da independência dos raios luminosos. Esse tratamento tem suas limitações, e pode pôr suas concepções em cheque. Por exemplo ao se questionar sob a seguinte situação – “Se a luz se propaga de forma retilínea, porque ao passar um feixe luminoso de raios paralelos por uma fenda, a luz parece se dispersar, perdendo seu paralelismo inicial?” –

O tratamento puramente geométrico não dá conta de responder esse questionamento, uma vez que, regiões onde deveria existir apenas sombra, são preenchidas por alguns raios luminosos. Neste momento, a óptica geométrica, exaustivamente explorada no ensino médio, dá lugar à óptica física, mais especificamente ao fenômeno da difração. Contudo, embora se trate de um fenômeno extremamente comum, e crucial para a compreensão de diversas situações no cotidiano, a difração não é tão valorizada nos currículos escolares, sendo muitas vezes completamente negligenciada.

Diante desse contexto, o presente trabalho tem por objetivo de contribuir para a mudança desse cenário, oferecendo uma proposta de experimento sobre o problema do poder de resolução de dispositivos ópticos. Um problema que além de ser extremamente presente no cotidiano, mantém uma relação com o fenômeno da difração. Fenômeno que por sua vez, é fundamental para a compreensão da relação que expressa o fator que limitante da capacidade de resolver a separação entre dois objetos, como os caracteres num teste de acuidade visual na tabela ou optótico de Snellen (Ver Fig. 1).

**Figura 1** - Tabela ou Optótico de Snellen, diagrama utilizado em testes de acuidade visual.

20/200	<b>E</b>	1
20/100	<b>F P</b>	2
20/70	<b>T O Z</b>	3
20/50	<b>L P E D</b>	4
20/40	<b>P E C F D</b>	5
20/30	<b>E D F C Z P</b>	6
20/25	<b>F E L O P Z D</b>	7
20/20	<b>D E F P O T E C F</b>	8
20/15	<b>L E F O D P C T P</b>	9

Fonte: ISEE - International Society for the Enhancement of Eyesight (2019).

Tendo como expectativa que ao oferecer uma alternativa simples e de baixo custo aos professores de Física do ensino médio e superior, para contextualização da difração através de uma atividade interativa que envolve o conceito da difração, estaremos contribuindo para o contexto do ensino e Física e Astronomia. Pois os resultados da dissertação que culminou neste produto indicaram quantitativamente através de análise estatística que a prática utilizada para o ensino da difração contribuiu para o aumento da aprendizagem.

O roteiro a seguir apresentou resultados quando realizado pelo professor da disciplina mediando o processo de ensino-aprendizagem através de contextualizações antes e durante a realização do experimento. Para contribuir com a construção de tais conhecimentos, é apresentado no roteiro, uma introdução teórica ao problema do poder de resolução e critério de Rayleigh. A literatura utilizada como embasamento para o trabalho, também pode ser útil a você professor no momento de estudo sobre o tema.

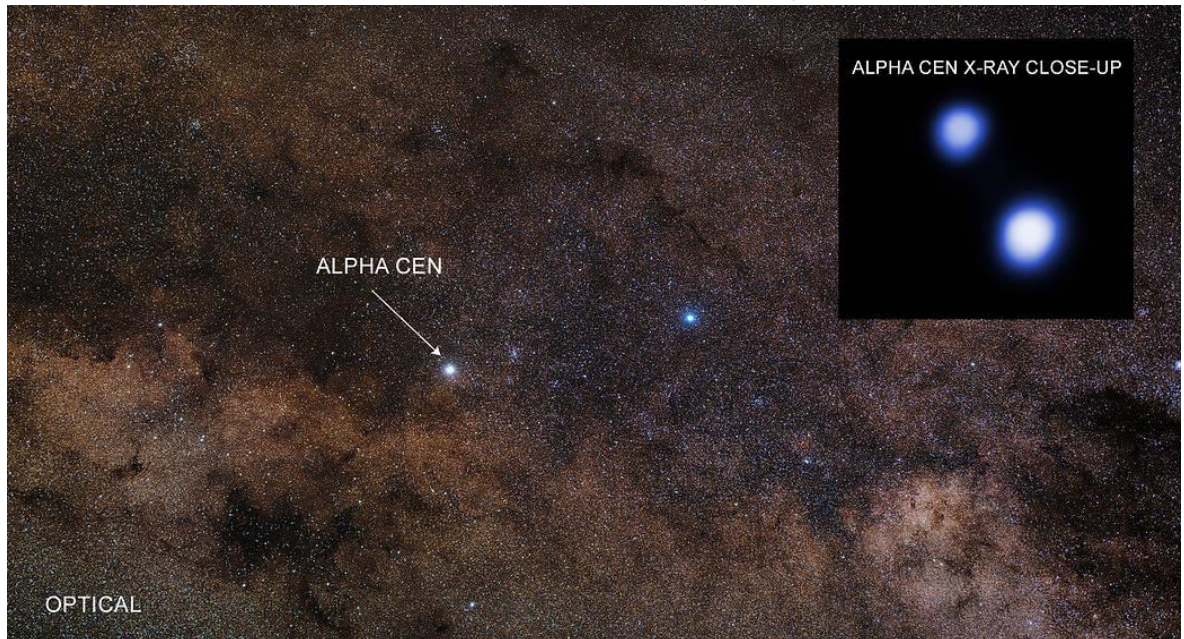
## Introdução

Nossa percepção do mundo é fundamentalmente baseada em nossos sentidos, não obstante somos traídos por eles, pelo simples motivo de termos um limite de percepção em cada um. Uma situação simples do cotidiano pode nos dar um claro exemplo disto, como por exemplo, a observação de um veículo à distância numa autoestrada pouco iluminada. Ao enxergarmos um único ponto luminoso, oriundo de um veículo, afirmaríamos categoricamente que se trata de uma motocicleta.

Entretanto, já faz parte do "senso comum" e da experiência empírica da população, que a veracidade desta afirmação depende da nossa distância ao veículo. Tal situação é tão abrangente, que influencia situações que vão desde a visualização de bactérias em um microscópio, testes de acuidade visual, ou até a observação de estrelas binárias visuais com um telescópio. A exemplo de Alfa Centauro, que quando vista a olho nu, se apresenta visível como um único objeto, ao passo que ao observá-la utilizando um telescópio de pequeno porte ou binóculo com abertura de pelo menos 5cm, é observado como um sistema duplo, ver Fig. 2.



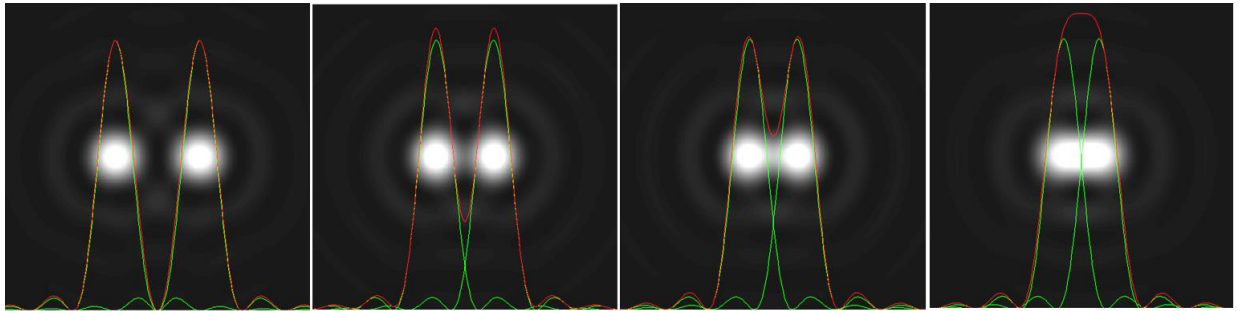
**Figura 2** –  $\alpha$  Cen e sua mais próxima companheira. Observada como uma única estrela a olho nu, e como um sistema binário num telescópio de pelo menos 5cm.



Fonte: NASA – Chandra Images (2018)

Diante de problemas, tais quais estes apresentados, foi que em 1879, J. W. Strutt III, Lord Rayleigh, propôs que o fator limitante da resolução de um instrumento óptico, em função da separação angular das fontes, seria a posição na qual o primeiro mínimo de difração da luz de um objeto coincide com o máximo central do padrão de difração do outro objeto. Quando essa separação fosse alcançada, a imagem dos objetos estaria no limite de resolução, na qual nós perdemos a capacidade de resolver individualmente as fontes, definindo assim o critério de resolução de Rayleigh (MÜLLER et. al, 1998). Para ilustrar isto, A Fig. 3. mostra a perda de resolução entre dois objetos, sobreposta aos padrões de difração quando reduzimos a separação angular.

Figura 3 - Ilustração da perda de resolução quando reduzida a separação angular das fontes, sobreposta aos padrões de difração



Fonte: *Applet Optical Resolution Model* (HWANG, 2008)

O poder de resolução é um critério arbitrário, definido através do Critério de Rayleigh, determinado através de uma relação empírica de proporcionalidade entre o comprimento de onda da luz incidente  $\lambda$  e o diâmetro do orifício  $d$  por onde entra a luz, através da relação (WOLFGANG & COSTAS, 2002).

$$\theta = 1,22 \frac{\lambda}{d} \quad (1)$$

Considerando a separação entre as fontes como  $x$ , e a distância do observador aos objetos como  $R$  é possível geometricamente reescrever, para grandes distâncias, o menor ângulo de separação descrito na Eq. 1 na forma (UROME & HINRICHS, 2012 p.1084).

$$\theta = \frac{x}{R} \quad (2)$$

Desta forma, a Eq. 2 nos permite relacionar, de maneira quantitativa, a distância do observador e a separação das fontes com o ângulo mínimo no qual é possível resolver os objetos. Por fim, deve-se ainda atentar, que o Critério de Rayleigh não se trata de uma lei, tendo em vista, que ele é obtido a partir de uma definição arbitrária (SHANNON & WYANT, 1983 p.126).



# Materiais e Metodologia

## 1 - MATERIAIS NECESSÁRIOS

Para contextualização do problema do poder de resolução, foi elaborada uma proposta simples, com materiais de fácil acesso e de simples montagem e aplicação, que utiliza os seguintes materiais:

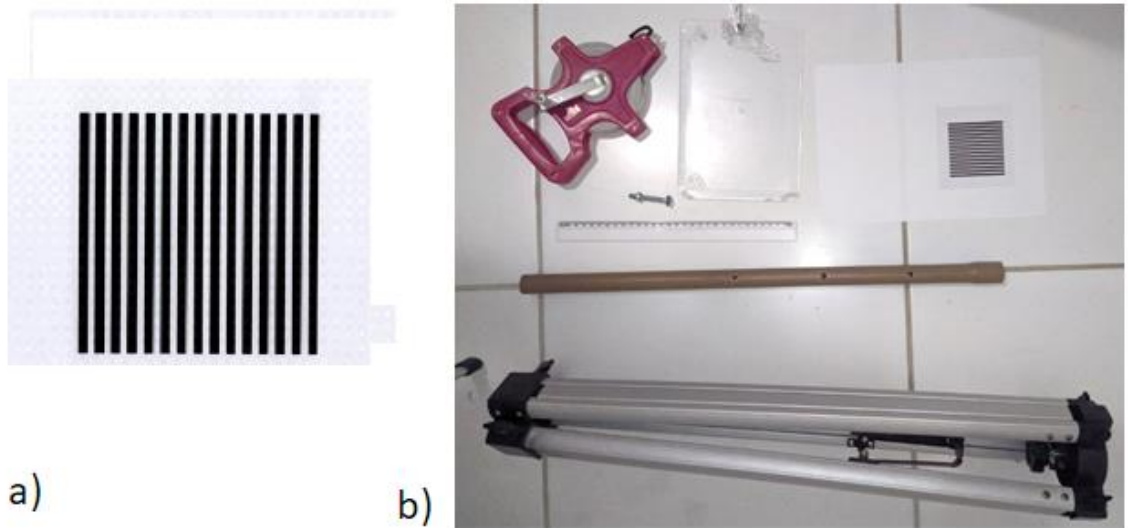
1. Folha impressa com o padrão de linhas<sup>1</sup>. Ver Fig.40a.
2. Prancheta para fixação da folha.
3. Régua de Material Translúcido/Transparente.
4. Trena (30m).
5. Tripé/Base de fixação do conjunto.
6. Porca e Parafuso para fixação da prancheta.
7. Tubo de PVC.
8. Smartphone com câmera para registro do diâmetro da pupila.

---

<sup>1</sup> Assegure que a separação entre as linhas é de 2mm na impressão. Padrões para download e impressão disponíveis no endereço  
<[https://drive.google.com/drive/folders/12Dk\\_hyYJmkcxsoR7gcQx-H3NO8HfzhD1?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/12Dk_hyYJmkcxsoR7gcQx-H3NO8HfzhD1?usp=sharing)>

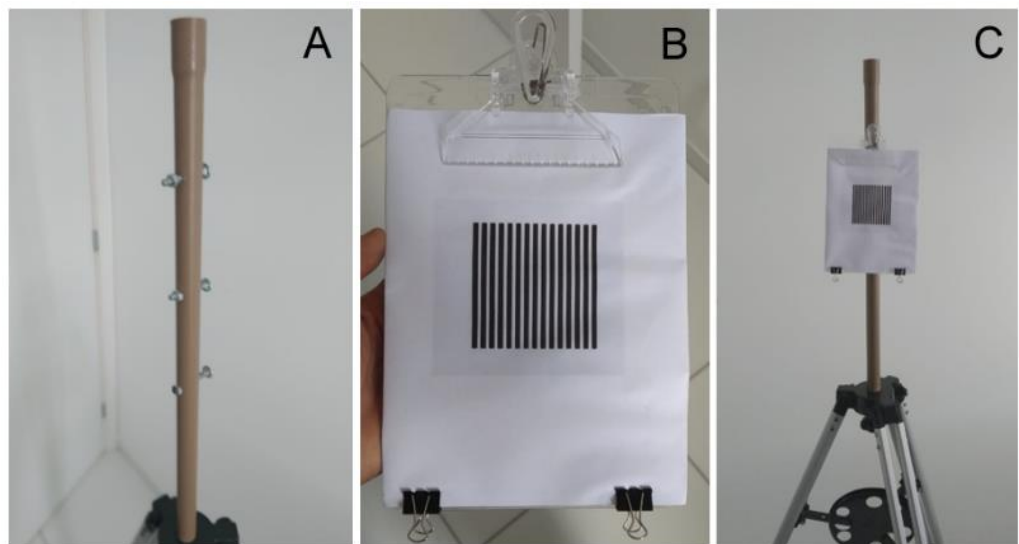


**Figura 4** – Em a) aparece o padrão de linhas montado para aplicação do roteiro. E ao lado direito, b) mostra os materiais utilizados para a realização.



O resultado final da montagem aparece na Figura 5. A montagem é relativamente simples, mas a descrição detalhada da montagem, assim como possíveis adaptações e comentários de algumas dificuldades podem ser encontrados na dissertação.

**Figura 5** - Montagem desenvolvida para estudo do critério de Rayleigh através da proposta

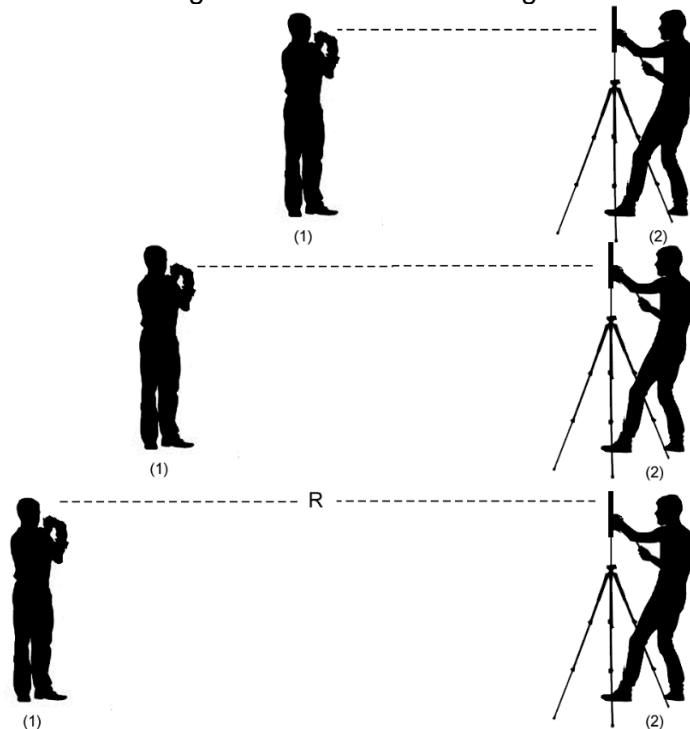


## 2 - METODOLOGIA

Compreendendo toda abordagem teórica envolvida no processo de perda de resolução, convide os estudantes a participar de um experimento onde poderão vivenciar a perda da capacidade de resolução em uma situação prática. Permitindo-os conhecer suas capacidades de resolução, através dos seguintes passos:

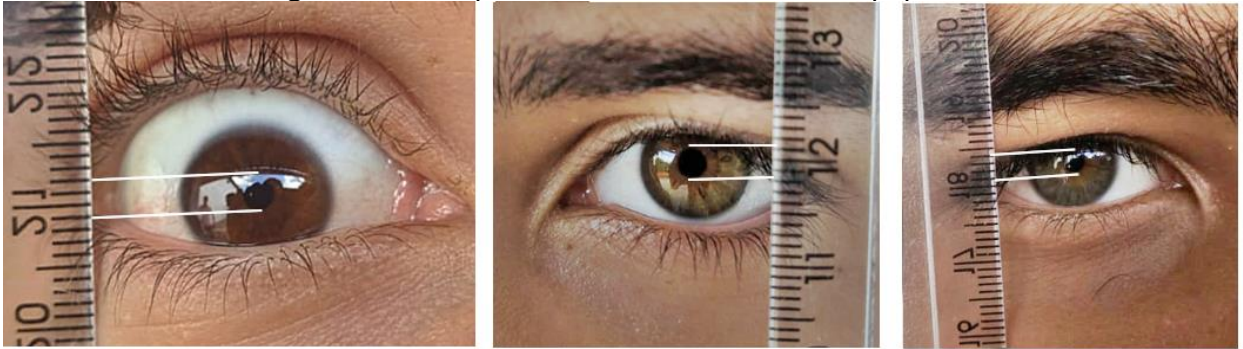
1. O estudante deverá segurar a ponta da trena na posição  $S_0=0$  próximo aos olhos. A trena, por sua vez, deve ser posicionada exatamente sobre a prancheta que contém a folha (Ver Fig. 5A).
2. Partindo de uma posição inicial em que consegue resolver individualmente as linhas escuras, ou seja, próximo à folha, onde consegue perceber a separação branca entre as linhas. O estudante deve se distanciar gradativamente da montagem até que não consiga mais perceber a separação clara entre das linhas escuras. Percebendo apenas um quadrado totalmente escuro.
3. Neste momento, mantendo as extremidades da trena fixas, e a trena deve ser tracionada com a intenção de registrar a leitura da distância ( $R$ ) na qual o estudante perdeu a resolução da separação entre as linhas (Ver Fig. 6).

**Figura 6** - Esquema em perspectiva da realização do experimento com o observador se distanciando gradativamente da montagem.



4. Para uma melhor estatística, os passos anteriores 1,2 e 3, devem ser repetidos com todo o grupo. Tomando nota das medidas através da construção de tabela com o formato da Tab. 4. Que tem por objetivo determinar a distância média, em que os estudantes desta turma perdem resolução das linhas.
5. Ao final da aplicação – desde que, sob as mesmas condições de iluminação utilizadas durante a aplicação – com a ajuda de uma régua e uma câmera, faça a estimativa o diâmetro  $d$  da pupila de uma parcela dos observadores (Ver Fig. 7).

**Figura 7** - Exemplo de medida de diâmetro de pupila.



**Tabela 1** - Medida das distâncias mínimas “ $R$ ” para as quais observador passa a não resolver individualmente as linhas.

Observador	$R$ (m)
1	$R_1$
2	$R_2$
3	$R_3$
...	...
n	$R_N$

Podemos utilizar o valor de  $R_{\text{Médio}}$  da turma para determinar o poder de resolução médio do grupo, basta para isto, utilizar a Equação 3. A qual nos permite, por meio dos valores facilmente mensuráveis – da separação entre os objetos observados ( $x$ ) e a distância ao objeto observado ( $R$ ) – o cálculo do critério de Rayleigh.

Na pesquisa, foram testadas as resoluções de um total de 141 participantes, nessas aplicações os valores médios encontrados para o critério  $\theta_E$ , separação das linhas  $x$ , diâmetro da pupila  $d$  e a distância em que os observadores perdiam resolução  $R$  foram listados e são apresentados abaixo na tabela 5.

**Tabela 5** - Resultados da aplicação do experimento para as folhas em cores

$\theta_E$ (rad)	$(1,97 \pm 0,27) \cdot 10^{-4}$
$X$ (mm)	$2,0 \pm 0,5$
$d$ (mm)	$3,0 \pm 0,5$
$R$ (m)	$10,1 \pm 0,6$

De acordo com a literatura, são esperados valores entre  $5 \cdot 10^{-4}$  e  $2 \cdot 10^{-4}$  rad de resolução angular a depender das condições de observação, maior poder resolução em condições de pouca iluminação e menor resolução para condições de maior iluminação – variando com o diâmetro da pupila (NAVER., 2016).

Atente-se ao fato, de que um maior poder de resolução corresponde a um menor valor de  $\theta$  (Critério de Rayleigh), uma vez que indica a capacidade de resolver objetos com a separação angular menor.

Perceba ainda que obtivemos valor do critério de Rayleigh utilizando uma aproximação da equação 1 para a equação 2. Como forma de análise, é interessante realizar uma comparação do resultado obtido utilizando a equação 1, com a equação 2. Utilizando para tal, o valor medido do diâmetro da pupila  $d$ , e o valor médio do comprimento de onda  $\lambda$  para a região do espectro de maior sensibilidade do olho humano 550nm.



## Considerações Finais e Contextualização



Como já citado, na aplicação da proposta obtivemos resultados positivos, a mesma desmontou através de uma análise estatística que pode contribuir para o aprendizado de conceitos da ondulatória. Na análise de alguns professores sobre o produto, que consta na dissertação que gerou este material, foi comentado sobre a simplicidade na aplicação da proposta, na objetividade e acessibilidade do material, como em alguns dos nos comentários a seguir:

*“O roteiro apresenta um experimento bastante interessante, e que, com certeza, gera entusiasmo na sua execução.”*

*“O roteiro é bom, objetivo e cumpre sua função... No geral, muito bom. Eu usaria em sala de aula!”*

Vale ressaltar a correlação direta entre o conteúdo apresentado e a Astronomia, que como citado, deve ser utilizada como agente motivador na contextualização do problema de resolução. Ao final do trabalho, caso seja interesse do professor, é de bom tom analisar com os estudantes algumas questões problema envolvendo o tema Astronomia e o critério de Rayleigh, apresentadas a seguir:

Questão 1) A cratera Abbot, na Lua, tem um diâmetro de 10km. Estime qual deve ser o diâmetro mínimo de um telescópio localizado na Terra que seja capaz de resolvê-la. Desconsidere efeitos atmosféricos e considere o comprimento de onda médio como 550nm. Distância aproximada Terra-Lua =  $3,8 \cdot 10^5$ km.

Questão 2) O planeta-anão plutão encontra-se a uma distância de  $4,5 \cdot 10^9$ km da Terra, ele e sua “Lua”, Caronte, estão separados por uma distância de cerca de 19.600km. Desconsiderando os efeitos atmosféricos, determine se é possível resolver individualmente esses objetos utilizando o telescópio do Monte Palomar (5,08m de diâmetro). Considere o comprimento de onda médio como 550nm.

Desta forma, desejo uma boa experiência na aplicação deste produto e para mais detalhes sobre o trabalho tais como a apresentação dos dados, estatística entre outros, consulte a versão completa da dissertação no portal do MP-ASTRO ou no banco da biblioteca central da UEFS.

## REFERÊNCIAS

MÜLLER M., PAULINO R., e FABRIS J. Estudo Experimental do Critério de Rayleigh. Revista Brasileira de Ensino de Física vol. 20, n. 3, Setembro, 1998

NAVE R., The Rayleigh Criterion. Hyper Physics – Light and Vision. Georgia State University. 2016

RAYLEIGH. Investigations in optics with special reference to the spectroscope. Resolving, or separating power of optical instruments. Philosophical Magazine, 8, 261–274. New York: Dover, p. 420. 1879

SHANNON R. & WYANT J. Applied Optics and Optical Engineering, Academic Press Volume IX. New York 1983.

WOLFGANG R. & COSTAS P. How to beat the Rayleigh resolution limit: A lecture demonstration. American Journal of Physics. 70. 587-594. 2002

URROME P. & HINRICHS R. College Physics. Open Stax. Rice University. Huston. 2019

VICENZI S.; Difração e Interferência para Professores do Ensino Médio. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2007.



## TERMO DE VALIDAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Atestamos para os devidos fins que o produto educacional intitulado **ROTEIRO EXPERIMENTAL PARA ENSINO DA DIFRAÇÃO**, foi aplicado no:

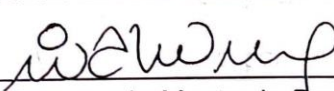
- Colégio Estadual Professora Maria do Carmo Santana (Aramari – BA), com 61 estudantes (2º ano do Ensino Médio);
- Colégio Dínamo (Alagoinhas – BA), com 39 estudantes (2º ano do Ensino Médio);
- Universidade Estadual de Feira de Santana (Disciplina de Física Experimental IV), com 13 estudantes (Graduação em Física);
- Universidade Estadual de Feira de Santana (Mestrado Profissional em Astronomia), com 28 mestrandos (Pós-Graduação).

Número total de participantes onde o produto foi aplicado perfazem um público-alvo total de 141 estudantes.

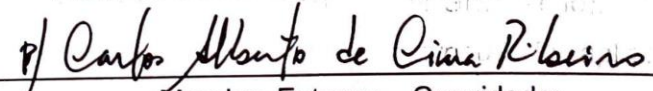
Feira de Santana, 12 de agosto de 2020.

  
\_\_\_\_\_  
Presidente da Banca de Avaliação:

Prof. Dr. Marildo Geraldete Pereira (DFIS-UEFS)

  
\_\_\_\_\_  
Membro Interno do Mestrado Profissional em Astronomia:

Prof. Dr. Germano Pinto Guedes (DFIS-UEFS)

  
\_\_\_\_\_  
Membro Externo – Convidado:

Prof. Dr. Leandro de Oliveira Kerber (UESC)