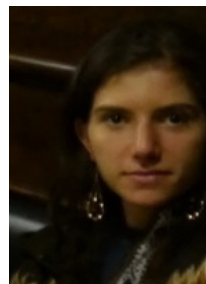


# **Relatório Pré-Final II F 609:**

Interferômetro de Michelson e anéis por reflexão em placas com laser de diodo de aproximadamente 100mW para sala de aula



**Aluna:** Maira Lavalhegas Hallack

**Orientador:** Prof. José Joaquin Lunazzi

**Campinas**

**29 de dezembro de 2014**

## INTERFERÔMETRO DE MICHELSON

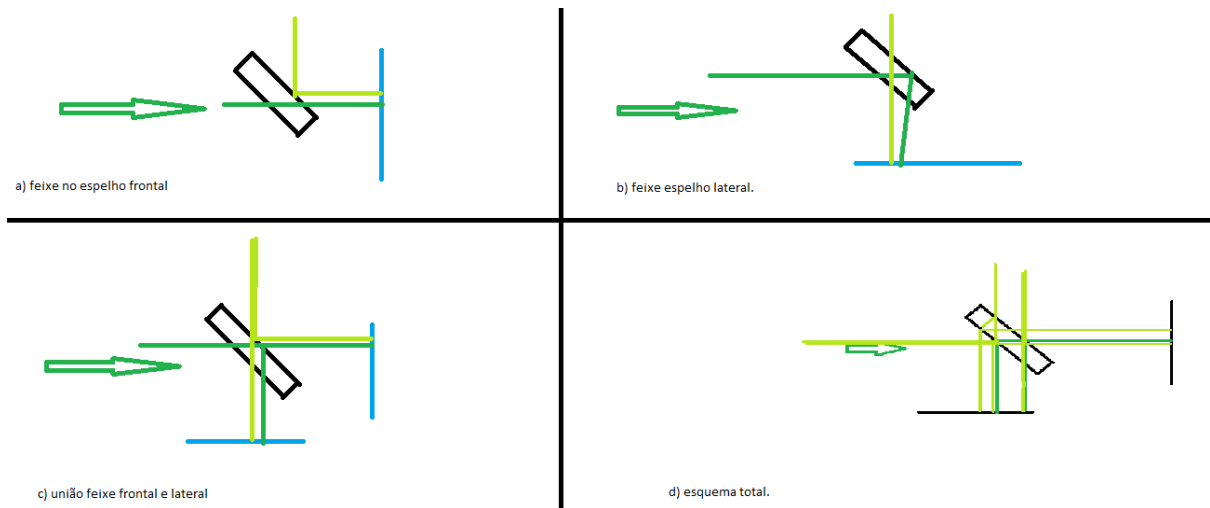
Primeiro, nos familiarizamos com o interferômetro de Michelson que estava montado no laboratório de Ótica da UNICAMP. Depois que entendemos o funcionamento do experimento, começamos a tentar desenvolvê-lo de maneira menos custosa e mais simples possível. Por outro lado, algumas estranhezas nos foram sucedidas, como anéis formados por acrílico – discutimos este assunto melhor no tópico de anéis de interferência por reflexão.

O interferômetro (figura 1), até agora, está montado com um laser de diodo de potência de 50-100 mW e luz verde, sem a lente convergente, não precisando portanto de uma lente expansora do feixe. Os espelhos utilizados foram dois quadrados de 2cm por 2cm de um mesmo retrovisor de carro, pois os espelhos atuais são de primeira superfície. O divisor de feixes é um vidro simples de 0,1 cm de espessura, também, temos a trabalhados com a modalidade de um vidro duplo, que é possível adquirir em vidrarias comuns e com lâmina semirefletiva entre duas lâminas de vidro, como nos interferômetros tradicionais.



*Figura 1: Interferômetro feito por nós, formando anéis.*

Também, adicionamos dois “tampões”, arame com um pedaço de cartolina preta. Eles permitem que visualizemos a trajetória pelos feixes refletidos pelos espelhos individualmente, esquematizados na figura 2 a e b. Permitindo que os alunos possam ver que é a adição dos feixes que gera o fenômeno da interferência.



**Figura 2:** Esquema a) feixe refletido espelho frontal, segunda superfície, b) feixe refletido espelho lateral, segunda superfície, c) união do feixe refletido pelo espelho frontal e lateral, segunda superfície e d) das redes de interferência além da principal.

Anteriormente, questionamos com qual dos dois divisores de feixes seria mais nítido os anéis. Pelos cálculos (abaixo), notamos uma relação quadrática entre o feixe principal do espelho lateral e frontal.

$$I = T^2 R_F R + T^2 R R_L T^2 \quad [1]$$

Sendo  $I$  a intensidade luminosa no anel com amplitude máxima,  $T$  e  $R$  são, respectivamente, a transmissão, refração do divisor de feixes.  $R_F$  a reflexão do espelho frontal e  $R_L$  a reflexão do espelho lateral. Contudo, a equação 1 é válida, se e somente se, os valores de transmissão e reflexão das duas superfícies do divisor de feixe forem iguais, o que não ocorre com o caso de vidros. Sendo assim, temos:

$$I = T_2 T_1 R_f R_1 + T_1^2 R_2 R_l T_2^2 \quad [2]$$

Sendo  $R_2$  e  $T_2$ , respectivamente, a reflexão e transmissão na segundo superfície do divisor de feixe, a partir do laser, e  $R_1$  e  $T_1$ , na primeira superfície. Também, sabemos que:

$$T_1 + R_1 + A_1 = 1 \quad [3]$$

Com  $A_1$ , absorção na primeira superfície do divisor, supondo que ela seja 0,2, valor da absorção para o vidro. Ficamos:

$$T_1 + R_1 = 0,8 \quad [4]$$

Para segunda superfície, com  $A_2$  sendo a absorção na segunda superfície, temos:

$$T_2 + R_2 + A_2 = 1 \quad [5]$$

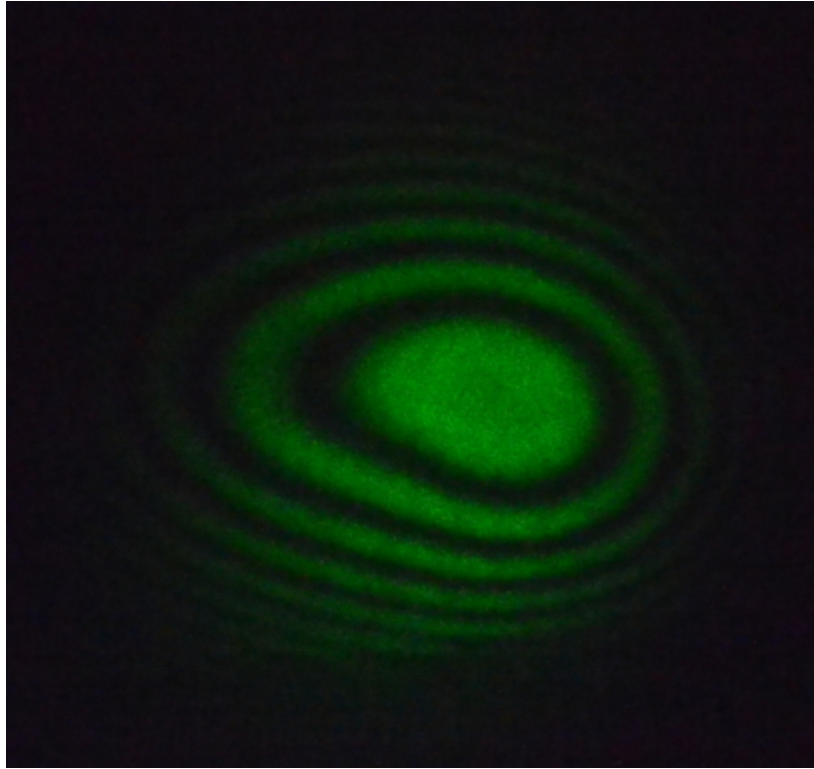
Novamente, considerando a absorção da superfície como 0,2:

$$T_2 + R_2 = 0,8 \quad [6]$$

Para que ocorra o contraste entre os anéis de intensidade máxima e mínima, é necessário que:

$$R_2 > R_1 \quad [7]$$

Notamos que supondo valores para  $R_2$  entre 0,7 e 0,1, o valor que traria maior nitidez entre as franjas é quando intensidade máxima é a maior, isto seria quando  $R_2$  (reflexão no segundo espelho) é de 0,4. Todavia, não fizemos o inverso, ou seja, supomos valores para  $R_1$ , para encontrar o valor de maior nitidez.



**Figura 3:** Anéis de interferência formados pelo interferômetro com vidro duplo.

Embora, estejamos utilizando um laser de diodo com ventilação, temos observado uma instabilidade na nitidez dos anéis (com o divisor semirreflexivo e de duplo vidro) e, o que temos percebido, ela diminui conforme o tempo que o laser tem ficado ligado. Porém, com o vidro simples, a nitidez fica comprometida independente do tempo de exposição.

Para pesquisas posteriores, deixamos em aberto, a questão da nitidez dos anéis, como possível solução a construção de um interferômetro menor, onde fosse garantido que a ventuinha do laser ficasse na parte externa a caixa, de maneira, que a ventilação do laser não fosse prejudicada pela caixa de acrílico. Também, sugerimos que a constução do suporte dos espelhos, ao invés, deste suporte importado que temos utilizado, fosse feito com um pote de areia ou fosse colocado os espelhos fixamente em um ângulo entre eles que os aneis fossem observados.

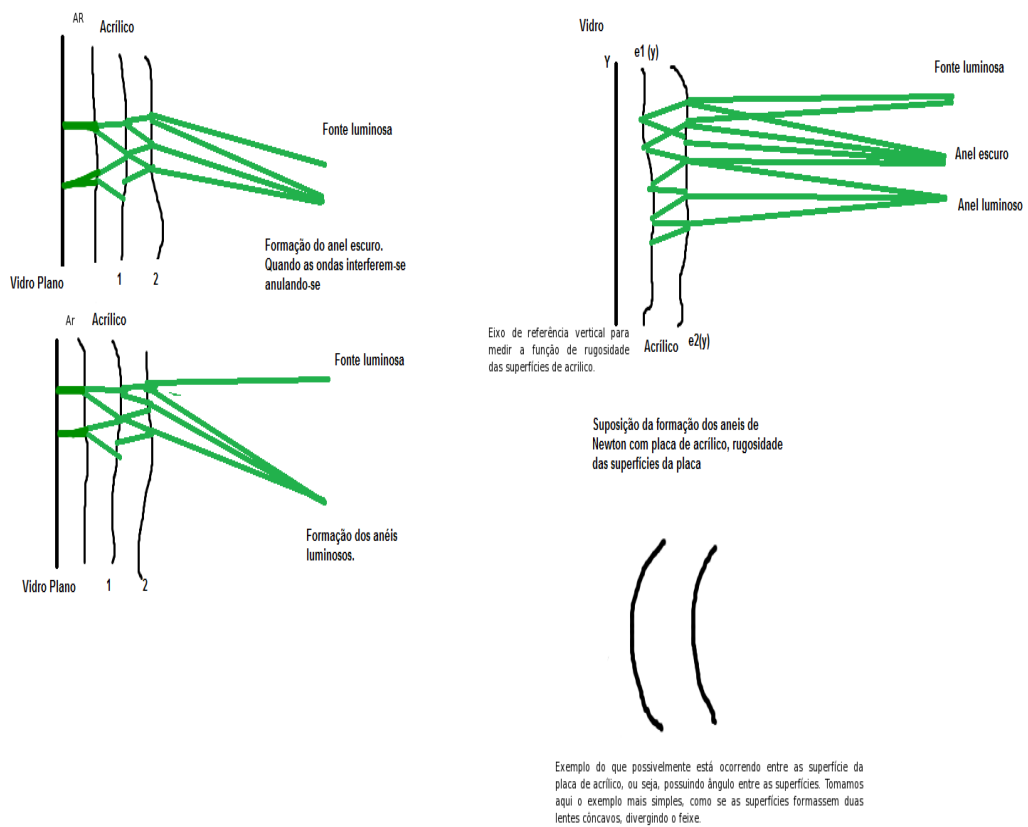
## **Anéis de interferência por reflexão**

Manuseando o interferômetro de Michelson do laboratório, dentro da sua caixa de acrílico, observamos uns anéis de interferência formados por reflexão atrás da caixa de acrílico. Não eram esperados pois a superfície do acrílico costuma ser menos uniforme que o vidro. Com isso ampliamos o que vínhamos estudando de experiências em sala de aula que trabalhassem a interferência.

Ou seja, conseguimos que anéis de interferência fossem formados sem uma placa de vidro bem plana. Todavia, ainda não sabemos qual a espessura máxima e mínima, qual a qualidade do acrílico para formá-los. Sabemos que é possível formar anéis com acrílico de espessura 0,4 cm e 0,5 cm.

Também, sabemos que há uma distância máxima entre a placa de acrílico e o laser para obtermos os anéis. A distância da placa de acrílico menos espessa (0,4 cm) é maior (aproximadamente, 78cm) que a mais espessa (aproximadamente, 18cm).

Outra problemática do acrílico seria a forma de suas superfícies – possível motivo da formação dos anéis [Figura 3]. Logo, a explicação seria diferente dos anéis formados pelas placas de vidros de superfícies planas. Estariam relacionadas à forma diferencial entre as superfícies da placa.

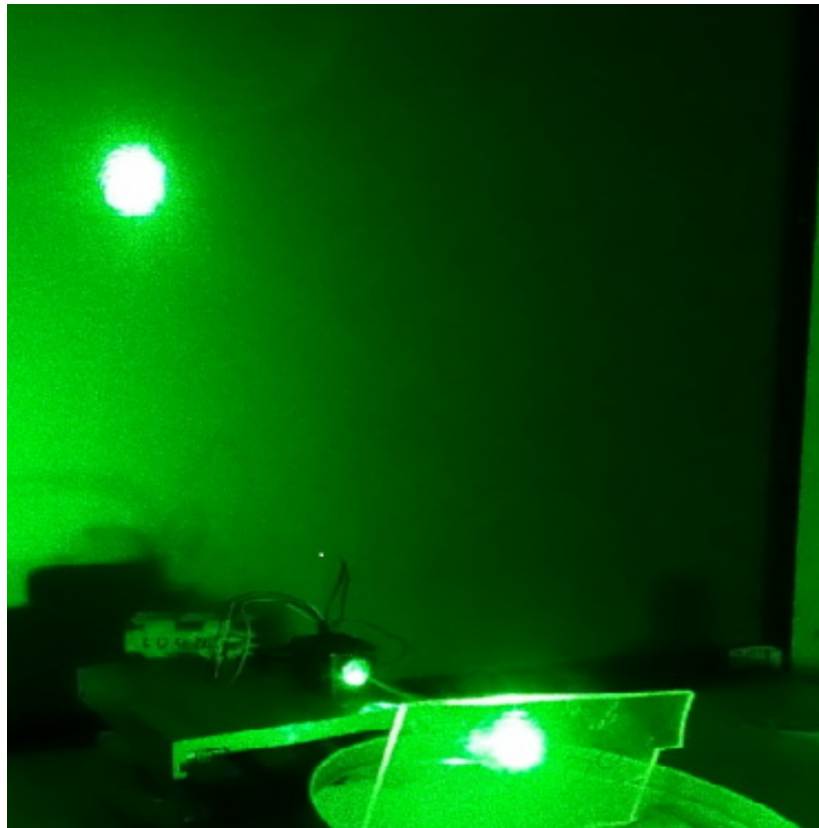


**Figura 4:** Esquema do que supomos que esteja ocorrendo nas superfícies do acrílico para formação de anéis.

Sabendo disso, buscamos possíveis ângulos para formação dos anéis [tabela 1] nas diferentes distâncias entre o laser e a placa de acrílico (0,4cm e 0,5 cm). Estes ângulos formados eram tanto no sentido azimutal, quanto zenital. A simetria entre os ângulos formados foi de  $120^\circ$ , ou seja, a rotacionar a placa de acrílico em  $90^\circ$ , os anéis formavam-se mas com uma diferença angular de  $120^\circ$ .

	Placa 1 (0,4 cm)	Placa 2 (0,5 cm)
Distância1 (cm)	25	16
Ângulo azimuntal (rad)	0,64	0,72
Ângulo cenital (rad)	0,60	0,72
Distância2 (cm)	21	13
Ângulo azimuntal (rad)	0,33	0,48
Ângulo cenital (rad)	0,49	0,95
Distância3 (cm)	11	12
Ângulo azimuntal (rad)	0,00	0,91
Ângulo cenital (rad)	0,59	0,99

**Tabela 1:** Ângulos de formação de anéis de interferência resultantes da reflexão de duas placas de acrílico com 0,4 cm e 0,5 cm.

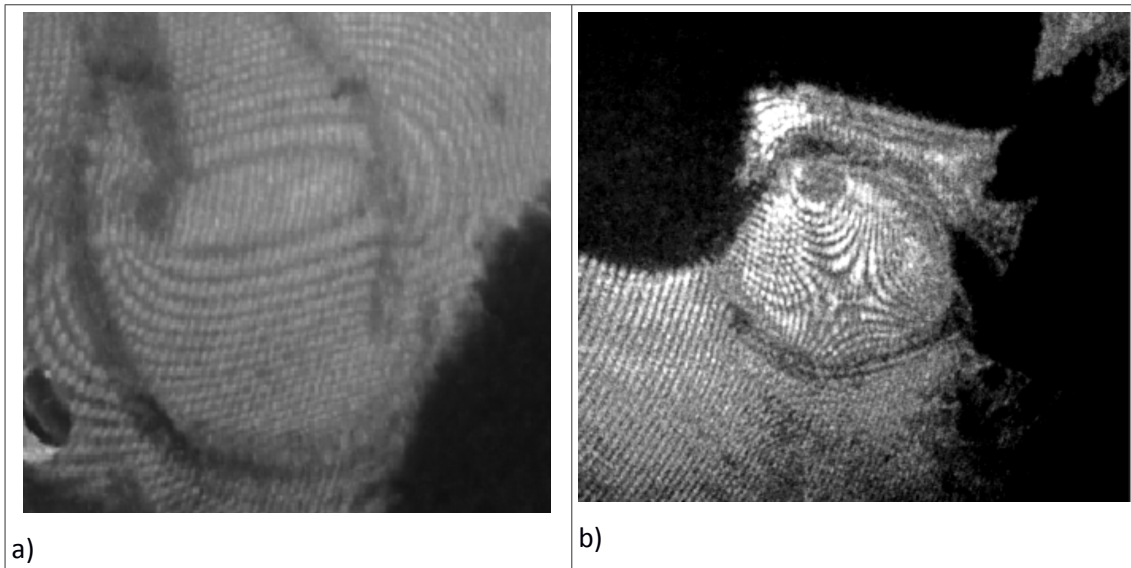


**Figura 5:** Como foram feitas as medidas dos ângulos da placa de acrílico.

Notando esta possibilidade de anéis com acrílico, optamos por avaliar as superfícies contra a de uma lâmina de vidro de alta planicidade ( $\lambda/4$ ) e verificar os anéis



que estas placas formavam. Observamos que placas de 0,4 e 0,5 cm formam quase anéis [figura 5]. Conseguimos, graças a ter ângulo na superfície da placa de vidro, que o sistema de anéis observável fosse somente o das superfícies em contato (camada fina de ar) sendo que os da outra superfícies geravam franjas finas, que pouco atrapalham na observação. Fizemos assim um teste equivalente ao que se obtém, com um interferômetro de Fizeau.



**Figura 6:** a) Anéis formados pelas placas de acrílico. b) Hiperbóles formadas pelas placas de acrílico.

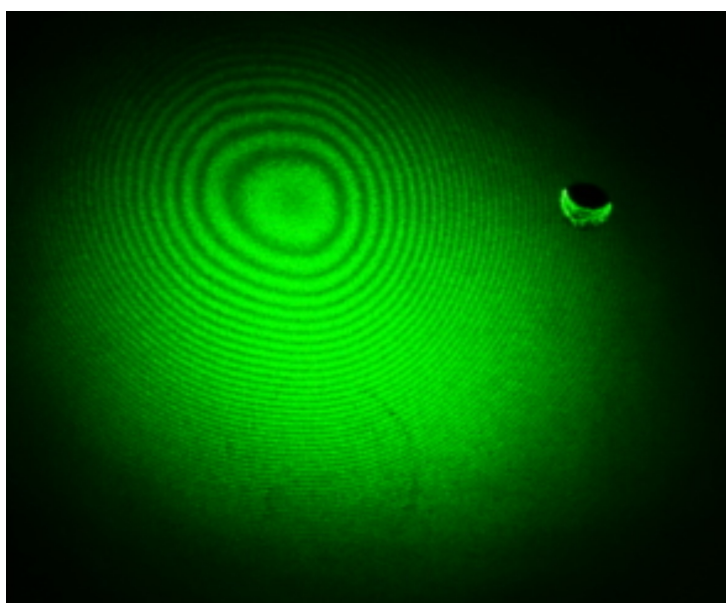
A não esfericidade de uma das superfícies explicaria porque os anéis somente acontecem a uma distância particular.

Alentados pelo resultado, passamos a procurar anéis em lâminas de vidro comum. Mesmo dispondo de lâminas com planicidade de  $\lambda/4$  e até  $\lambda/10$ , nossa intenção é sempre procurar a maneira de que o público possa reproduzir nossos sistemas.

Após um levantamento entre três vidrarias, duas de Barão Geraldo e uma de Paulínia, descobrimos que a maior espessura de vidro no Brasil é de 19 mm. Providenciamos em encomendar duas placas de 20 cm por 20 cm a R\$ 50,00 cada uma, visto que este tamanho era o menor fornecido pela vidraria, aparentemente o menor que consegue ser cortado com os recursos convencionais. Devido ao orçamento ser mais

barato, optamos por encomendar na vidraria de Paulínia. Se quisermos lâminas a medida (6cm x 6cm, p.ex.) a encomenda sairia por R\$ 180,00 cada uma!

Com esta placa de 19 mm, embora as circunferências dos anéis de interferência de Newton não sejam perfeitas, conseguimos em uma das duas placas, um ângulo entre as superfícies de maneira que os anéis não formassem na saída do feixe do luz do laser senão em ângulo, possibilitando a projeção em distância por trás dele. Sendo o ideal para levar em salas de aulas, pois só assim, conseguiríamos projetá-las de tamanho suficiente para que os alunos pudessem vê-la. [figura 6]



*Figura 7: Anéis formados pelas placas de vidro de 19mm formando ângulo com o feixe incidente do laser.*

Como trabalho posterior, deixamos a ideia de unir duas placas de vidro de 10mm ou 19mm; a qual obtivemos a informação de vidrarias que é considerado vidro de segurança; de maneira a formarem os anéis de reflexão a um ângulo do feixe emitido pelo laser, para o caso de não ter sorte de que as placas de vidro venham originalmente com este ângulo.

#### **COMENTÁRIO ORIENTADOR:**

O trabalho foi muito abrangente e com ótimos resultados, vasculhamos em várias possibilidades que surgiram e propomos novos elementos para uso didático, ao alcance do professor. Começamos a escrever um artigo para revista brasileira de ensino.

## Referências:

CATELLI, F. & VICENZI, S.; Interferômetro de Michelson. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v.21, número especial, 2004. (disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/10025/14562>)

COSTA, D.S., SILVA, T. A., LUNAZZI, J.J.; Relatório Final IV: Interferência. In: [http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530\\_F590\\_F690\\_F895/index.htm](http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F895/index.htm)

JUNIOR, N. B., CARVALHO, A. M. P.; “O uso do interferometro de Mach-Zehnder para promover argumentacao no discurso de alunos do ensino medio”. VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências - 2011 – Campinas, SP. In: <http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/viiienpec/resumos/R0302-1.pdf>

JUNIOR, N. B., PAIVA, J. R., CARVALHO, A. M. P. “Promovendo a argumentacao no discurso de alunos do Ensino Medio com o uso do interferometro de Mach-Zehnder em uma sequencia de ensino investigativa.”, XX Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF 2013 – São Paulo, SP. In: [http://www.researchgate.net/profile/Josias\\_Paiva/publication/235745931\\_PROMOVENDO\\_A\\_ARGUMENTAO\\_NO\\_DISCURSO\\_DE\\_ALUNOS\\_DO\\_ENSINO\\_MDIO\\_COM\\_O\\_USO\\_DO\\_INTERFERMETRO\\_DE\\_MACH-ZEHNDER\\_EM\\_UMA\\_SEQUENCIA\\_DE\\_ENSINO\\_INVESTIGATIVA/links/0fcfd5130f76c97e7a000000](http://www.researchgate.net/profile/Josias_Paiva/publication/235745931_PROMOVENDO_A_ARGUMENTAO_NO_DISCURSO_DE_ALUNOS_DO_ENSINO_MDIO_COM_O_USO_DO_INTERFERMETRO_DE_MACH-ZEHNDER_EM_UMA_SEQUENCIA_DE_ENSINO_INVESTIGATIVA/links/0fcfd5130f76c97e7a000000) ou:

<http://tinyurl.com/interferometronaescola>

LUNAZZI, J. J. & MOREIRA, W. L. Interferometria e holografia com laser de diodo. Proc.of the Brazilian Commission for Optics- XXIII Enc. Nac. de Fís. da Mat. Condensada-SBF, Caxambu-MG- BR, 09-13.05.00 p.146-149

TELES, J. "Interferômetro de Michelson com um laser de caneta", trabalho orientado por um estudante universitário para um grupo de estudantes secundários nas aulas de ciências de um estudante apresentado no Instituto de Matemática da Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, Brazil, dezembro de 1998.