



# INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAL – INPE

## PROVA DISCURSIVA

### TG22

#### DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS ÓPTICOS PARA SENSORES E INSTRUMENTOS ESPACIAIS



#### SUA PROVA

- Além deste caderno contendo **5 (cinco)** questões discursivas **com as respectivas folhas de rascunho**, você receberá do fiscal de prova as folhas de textos definitivos;



#### TEMPO

- Você dispõe de **4 (quatro) horas** para a realização da prova;
- **2 (duas) horas** após o início da prova, é possível retirar-se da sala, sem levar o caderno de questões;
- A partir dos **30 (trinta) minutos** anteriores ao término da prova é possível retirar-se da sala **levando o caderno de questões**.



#### NÃO SERÁ PERMITIDO

- Qualquer tipo de comunicação entre os candidatos durante a aplicação da prova;
- Anotar informações relativas às respostas em qualquer outro meio que não seja no caderno de questões e nas folhas de textos definitivos;
- Levantar da cadeira sem autorização do fiscal de sala;
- Usar o sanitário ao término da prova, após deixar a sala.



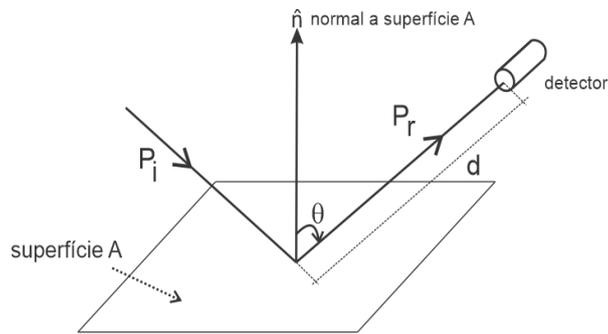
#### INFORMAÇÕES GERAIS

- Verifique se seu caderno de questões está completo, sem repetição de questões ou falhas. Caso contrário, **notifique imediatamente o fiscal da sala**, para que sejam tomadas as devidas providências;
- Confira seus dados pessoais, especialmente nome, número de inscrição e documento de identidade e leia atentamente as instruções para preencher as folhas de textos definitivos;
- Para o preenchimento das folhas de textos definitivos, use somente caneta esferográfica, fabricada em material transparente, com tinta preta ou azul;
- Assine seu nome apenas no(s) espaço(s) reservado(s) no cartão de respostas;
- Caso você tenha recebido caderno de cargo **diferente** do impresso em suas folhas de textos definitivos, o fiscal deve ser **obrigatoriamente** informado para o devido registro na ata da sala;
- O preenchimento das folhas de textos definitivos é de sua responsabilidade e **não será permitida a troca de folha de texto definitivo em caso de erro cometido pelo candidato**;
- Para fins de avaliação, serão levadas em consideração apenas os textos das folhas de textos definitivos;
- A FGV coletará as impressões digitais dos candidatos na lista de presença;
- Os candidatos serão submetidos ao sistema de detecção de metais quando do ingresso e da saída de sanitários durante a realização das provas.
- **Boa prova!**



## Questão 1

Considere uma área  $A = 2 \text{ m}^2$  irradiada com potência  $P_i = 4 \times 10^{-4} \text{ W}$ . A área  $A$  é um refletor difuso com o coeficiente de refletividade  $\rho = 0,8$ . Um detector cuja a área é  $A_d = 2 \text{ cm}^2$ , detecta a radiação refletida,  $P_r$ , sob um ângulo  $30^\circ$  em relação a normal a área  $A$ . A distância,  $d$ , da área  $A$  ao detector é de 1.000 m (ver figura abaixo).



Dados:

$$\sin 30^\circ = 0,5 ; \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} \text{ e } \tan 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{3}$$

Calcule as seguintes grandezas radiométricas:

- Irradiância  $H$  na superfície da área  $A$ .
- Emitância  $E$  da superfície da área  $A$ .
- Radiância  $R$ .
- Irradiância  $H_{d'}$  no detector; faça um desenho baseado na figura do enunciado e indique todos os parâmetros associados para o cálculo de  $H_{d'}$  na nova figura.
- A potência  $P_r$  recebida no detector.



## Questão 2

---

Há dois ângulos que merecem especial atenção na área de óptica: o ângulo crítico (Reflexão Interna Total) e o ângulo de Brewster. Em relação ao assunto, responda ao que se pede a seguir.

### Parte 1

- A) Faça um desenho esquemático mostrando o ângulo crítico, existente na interface entre dois meios transparentes, deixando claro qual é o meio que tem maior índice de refração.
- B) Obtenha a fórmula do ângulo crítico para uma interface entre dois meios, sendo  $n_s$  o índice de refração da parte superior da interface e  $n_i$  o índice de refração da parte inferior da interface.
- C) Explique como obter a reflexão interna total frustrada, para as condições do item (A).

### Parte 2

- D) Para o ângulo de Brewster, considerando um feixe de luz não polarizado, incidindo numa interface entre dois meios transparentes, com índices de refração  $n_1$  e  $n_2$ , faça um desenho esquemático mostrando:
  - D<sub>1</sub> a condição para que o ângulo de Brewster ocorra; e
  - D<sub>2</sub> os feixes: incidente, refratado e refletido, com as respectivas polarizações.
- E) Obtenha a fórmula para o ângulo de Brewster usando os dados acima.



### Questão 3

---

O LISA ("Laser Interferometer Space Antenna", ou Antena Espacial de Interferômetro a Laser, em Português) é um ambicioso instrumento a ser lançado ao espaço na próxima década para investigar o espectro de ondas gravitacionais em baixas frequências. O princípio de funcionamento do instrumento é fundamentalmente o mesmo do Interferômetro de Michelson, frequentemente utilizado em laboratórios de Óptica para caracterização de componentes, medida de índices de refração, metrologia, etc. No contexto de instrumentos para missões no espaço, esse tipo de tecnologia já foi utilizado para prospectar características da Lua e de Marte.

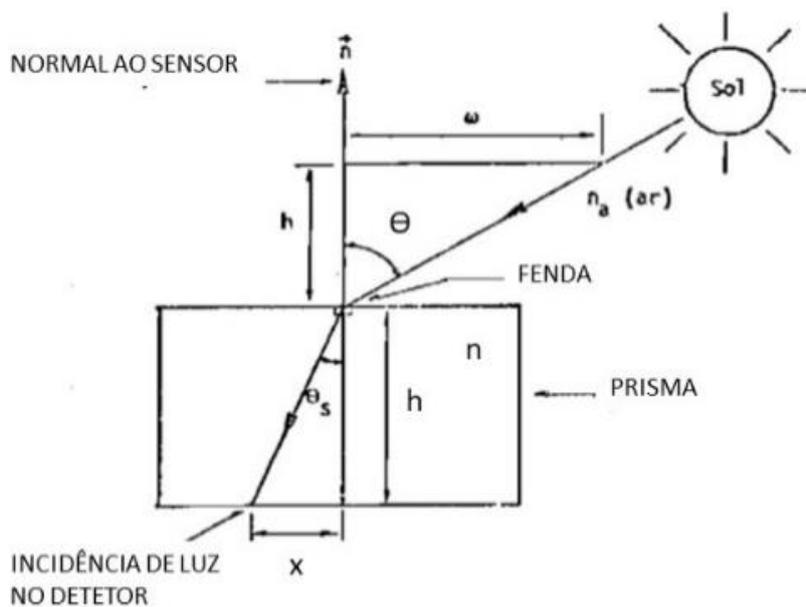
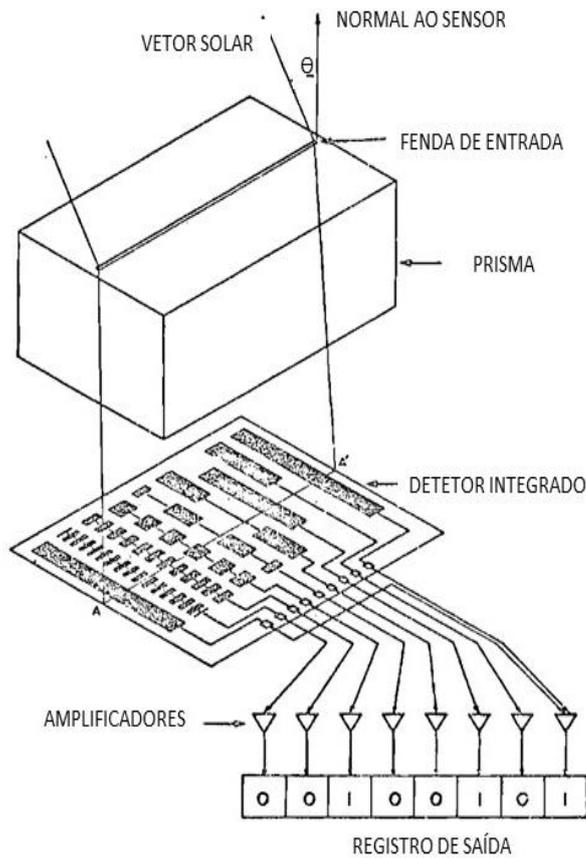
- A) Esboce um diagrama esquemático e descreva os principais componentes, os parâmetros importantes e o princípio de funcionamento de um Interferômetro de Michelson.**
- B) Quando um Interferômetro de Michelson recebe, em sua entrada, um feixe colimado de luz monocromática (por exemplo, de um laser), a saída registrada por um fotodetector é um sinal elétrico. Demonstre matematicamente, com explicações circunstanciadas, a forma do sinal de saída em função do deslocamento do espelho móvel.**



### Questão 4

Sensores solares são equipamentos utilizados na determinação da atitude de satélites artificiais. Um sensor solar digital é constituído por um prisma de material transparente (p. ex vidro, quartzo, sílica fundida) de índice de refração  $n$ , onde no centro da face superior do prisma é gravada uma fenda com largura micrométrica.

Conforme ilustrado nas figuras abaixo, a luz solar incide sobre a fenda formando um ângulo  $\theta$  com a normal à superfície do prisma e sendo projetado sobre uma matriz de detetores (fotodiodos de silício) posicionada a uma distância mínima logo abaixo do prisma. Sobre as linhas de fotodiodos está impresso um código digital Gray com áreas sensíveis e não sensíveis. A palavra digital fornecida pelo sensor está relacionada com o ângulo de incidência dos raios solares em relação ao vetor normal, o que, após processamento eletrônico, permite calcular a posição do satélite em relação ao Sol.



Considere que o índice médio de refração do prisma é de  $\sqrt{2}$ , que a altura  $h$  do prisma é igual a  $6\sqrt{3}$  mm e que o índice de refração no ar é aproximadamente igual a 1.

- A) Deduza a função de transferência do sensor, que exprime o ângulo  $\theta$  de entrada em função da variável  $x$  (distância entre a incidência da luz nos fotodiodos e a reta normal passando pela fenda), da altura  $h$  do prisma e do índice de refração  $n$  do prisma.
- B) Calcule a largura  $l$  da superfície inferior do prisma para uma incidência máxima dos raios solares variando de  $\pm 45^\circ$  em relação à normal ao prisma.
- C) O menor tamanho do retículo do código digital gravado sobre a matriz de fotodiodos é determinado pela largura real da imagem incidente sobre os detectores. Descreva quais são os principais efeitos que podem causar um aumento na largura da imagem da fenda quando iluminada pelos raios solares.
- D) Apresente a equação que exprime a corrente fotogerada por um fotodiodo iluminado pelos raios solares após passar pela fenda e atravessar o prisma, levando em consideração a área iluminada do fotodiodo, a irradiância solar, a responsividade do detector e a transmitância do prisma.
- E) Calcule a corrente fotogerada entre 600 nm e 650 nm para o caso de incidência solar normal ao plano da fenda.

Despreze os efeitos que provocam um alargamento da imagem da fenda sobre a matriz de detectores.

Utilize os seguintes dados para o cálculo da corrente:

- Largura do fotodiodo: 1,5 mm
- Largura da fenda: 100  $\mu\text{m}$
- Transmitância  $\sigma$  do prisma entre 600 nm e 650 nm: 95%
- Irradiância solar média e responsividade do detector média para várias faixas espectrais, de acordo com a Tabela abaixo.

$i$	$\lambda_i$ (nm)	$\lambda_{i+1}$ (nm)	IRRADIÂNCIA SOLAR $\bar{H}_i \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{nm}} \right)$	RESPONSIVIDADE $\bar{R}_i \left( \frac{\text{A}}{\text{W}} \right)$	$\Delta\lambda$ (nm)
1	400	450	1,707	0,195	50
2	450	500	2,021	0,325	50
3	500	550	1,846	0,405	50
4	550	600	1,709	0,460	50
5	600	650	1,611	0,505	50
6	650	700	1,456	0,550	50
7	700	750	1,315	0,575	50
8	750	800	1,185	0,595	50
9	800	850	1,061	0,605	50
10	850	900	0,948	0,595	50
11	900	950	0,869	0,565	50
12	950	1000	0,802	0,455	50
13	1000	1050	0,487	0,315	50



## Questão 5

---

### Parte 1

Dado um feixe de luz monocromático e não polarizado:

- A) Utilizando um polarizador linear e uma lâmina de quarto de onda, como se pode obter um feixe circularmente polarizado à esquerda?
- B) Qual a polarização resultante, se a ordem desses dois elementos (polarizador e lâmina) forem trocados de posição?

### Parte 2

- C) Como funcionam e qual a diferença entre um polarizador Glan-Foucault e um Glan-Thompson?
- D) O que ocorre com o feixe ordinário e o extraordinário em cada um deles? Faça um desenho esquemático, caso necessário.







Realização

