



# INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAL – INPE

## CLIMA ESPACIAL, GEOFÍSICA ESPACIAL (PQ035)



### 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

---

O estudo e monitoramento de irregularidades ionosféricas na região equatorial e de baixas latitudes utiliza instrumentação ativa e passiva no espectro dos sinais de rádio frequências, como:

- I. radares de espalhamento incoerente e coerente;
- II. ionossondas/digissondas; e
- III. receptores de sinais de GPS.

Destes três instrumentos mencionados, escolha dois e descreva seu funcionamento, abordando nessa descrição:

- A) os princípios de funcionamento do equipamento.
- B) as quantidades diretamente medidas e as quantidades deriváveis.
- C) cite equipamentos em uso no Brasil e/ou no exterior, mostrando resultados, vantagens e limitações de cada abordagem instrumental.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25
- 26
- 27
- 28
- 29
- 30
- 31
- 32
- 33
- 34
- 35

36  
-----  
37  
-----  
38  
-----  
39  
-----  
40  
-----  
41  
-----  
42  
-----  
43  
-----  
44  
-----  
45  
-----  
46  
-----  
47  
-----  
48  
-----  
49  
-----  
50  
-----  
51  
-----  
52  
-----  
53  
-----  
54  
-----  
55  
-----  
56  
-----  
57  
-----  
58  
-----  
59  
-----  
60  
-----

## QUESTÃO 2

---

A *ionosfera equatorial* possui características únicas devidos a diversos processos físicos e eletrodinâmicos da região. Diversos são os fenômenos associados à ionosfera equatorial, tais como o Eletrojato Equatorial e a Anomalia de Ionização Equatorial. A ionosfera equatorial possui também irregularidades, sendo as bolhas de plasma uma delas.

Dessa forma:

- A) Descreva bolhas de plasma equatoriais, indicando sua extensão, o momento de intensidade máxima e sua durabilidade.
- B) Em que momento ocorrem as bolhas de plasma na ionosfera?
- C) Quais são as dimensões das bolhas de plasma? E qual a ordem de grandeza de sua velocidade de propagação?
- D) Qual é a importância do estudo das bolhas de plasma?
- E) Indique os instrumentos que são utilizados para estudar as bolhas de plasma?
- F) Analise a sazonalidade da ocorrência das bolhas de plasma no Brasil e em outras regiões. Qual é o período em que há maior ocorrência de bolhas de plasma?
- G) Explique, detalhadamente, o principal mecanismo associado à formação de bolhas de plasma.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25
- 26
- 27
- 28
- 29
- 30
- 31
- 32
- 33
- 34
- 35

36  
-----  
37  
-----  
38  
-----  
39  
-----  
40  
-----  
41  
-----  
42  
-----  
43  
-----  
44  
-----  
45  
-----  
46  
-----  
47  
-----  
48  
-----  
49  
-----  
50  
-----  
51  
-----  
52  
-----  
53  
-----  
54  
-----  
55  
-----  
56  
-----  
57  
-----  
58  
-----  
59  
-----  
60  
-----



### QUESTÃO 3

---

Segundo a *teoria de formação de bolhas ionosféricas equatoriais*, elas são produzidas, principalmente, ao pôr do sol. Na realidade, essas bolhas sofrem mais instabilidades, gerando estruturas menores, as irregularidades no plasma. Após produzidas, bolha e irregularidades seguem, aproximadamente, o movimento do plasma, na região F, servindo como ‘marcadores’ do movimento do plasma, para equipamentos de radiosondagem do plasma e seu movimento.

A causa do movimento do plasma da região F é devida, principalmente, à deriva eletrodinâmica, também conhecida como ‘deriva **EXB**’, onde **B** é o campo geomagnético e **E** um campo elétrico de polarização. O campo elétrico de polarização se origina da ação de ventos zonais (Leste-Oeste ou vice-versa) sobre o plasma.

Na região F, a atmosfera é praticamente constituída de oxigênio neutro, O, cujo movimento coletivo é o vento na região. Esse vento, de velocidade **U**, atua sobre o plasma via colisões entre átomos de oxigênio neutro O e íons  $O^+$  do plasma.

Aqui não abordaremos a formação das irregularidades ionosféricas, apenas discutiremos a física relacionada à deriva zonal do plasma da região F.

**Baseando-se no que foi exposto acima, discuta, podendo também desenhar, um modelo simples da deriva zonal do plasma (e irregularidades) na região F, durante o equinócio, obedecendo à seguinte sequência:**

- A) Analise e ilustre o processo do surgimento do campo de polarização, **E**, devido a um vento constante, **U**, soprando de Oeste para Leste, mostrando o sentido da velocidade de deriva das irregularidades devido a esse campo.
- B) Discuta o efeito da ionosfera da região E na intensidade do campo elétrico de polarização da região F, mencionando os horários locais nos quais o campo tem maior intensidade. Considere que o vento é uniforme e sopra de Oeste para Leste.
- C) Mostre *que* o campo elétrico de polarização atinge uma condição estacionária ( $E = \text{constante}$ ) quando atinge o valor  $E = -v \times B$ , onde  $v$  é a velocidade do vento zonal.
  - C<sub>1</sub> Dê a ordem de grandeza, não o valor exato, do tempo que se passa depois do por do Sol, na região E, para que isso (condição estacionária) ocorra. Uma boa estimativa para isso é o tempo entre duas colisões sucessivas entre O e  $O^+$ . A frequência de colisões entre partículas neutras e íons,  $\nu_{ni}$ , é da ordem de  $2 \times 10^{-4}$  (0,0002) por segundo, na região F à altura de 300 km.
- D) Em latitudes baixas também se observa a deriva de irregularidades de origem equatorial na ionosfera acima da região não equatorial. Explique como isso é possível.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25
- 26
- 27
- 28
- 29
- 30
- 31
- 32
- 33
- 34
- 35

36  
-----  
37  
-----  
38  
-----  
39  
-----  
40  
-----  
41  
-----  
42  
-----  
43  
-----  
44  
-----  
45  
-----  
46  
-----  
47  
-----  
48  
-----  
49  
-----  
50  
-----  
51  
-----  
52  
-----  
53  
-----  
54  
-----  
55  
-----  
56  
-----  
57  
-----  
58  
-----  
59  
-----  
60  
-----

## QUESTÃO 4

---

- A) Qual o significado das siglas GPS e GNSS em inglês?
- B) Os sistemas GNSS são desenvolvidos para determinar a posição e a velocidade de um objeto/receptor fixo ou móvel, colocado sobre ou perto da superfície da terra, usando os sinais de satélites na órbita da Terra.  
Para esta determinação é necessário obter a distância entre os satélites e o receptor.  
B<sub>1</sub> Como (e de quantas maneiras) essa distância é obtida?  
B<sub>2</sub> O que é a ambiguidade?
- C) As distâncias obtidas não representam a distância geométrica entre satélite e receptor, tanto que são chamadas de pseudo-distâncias. Quais os fatores que afetam a pseudo-distância?
- D) Com as pseudo-distâncias entre satélites visíveis e o receptor é possível obter a posição do receptor.  
D<sub>1</sub> Descreva como isto pode ser feito para obter a posição na condição em que tanto o receptor quanto os satélites estão no mesmo plano (mundo em duas dimensões).  
D<sub>2</sub> Indique o número mínimo de satélites para determinar a posição do receptor quando:  
I. receptor e satélites estão no mesmo plano (2D); e  
II. quando receptor e satélites não estão no mesmo plano (3D).
- E) Os sinais dos satélites do GNSS atravessam a Ionosfera e um parâmetro importante é o Conteúdo Eletrônico Total. O que é Conteúdo Eletrônico Total?
- F) O sinal dos satélites do GNSS pode ser afetado por irregularidades na Ionosfera causando cintilação do sinal recebido pelo receptor.  
F<sub>1</sub> Quais regiões do globo terrestre são mais afetadas pela cintilação?  
F<sub>2</sub> Cite fenômenos que podem provocar cintilação.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25
- 26
- 27
- 28
- 29
- 30
- 31
- 32
- 33
- 34
- 35

36  
-----  
37  
-----  
38  
-----  
39  
-----  
40  
-----  
41  
-----  
42  
-----  
43  
-----  
44  
-----  
45  
-----  
46  
-----  
47  
-----  
48  
-----  
49  
-----  
50  
-----  
51  
-----  
52  
-----  
53  
-----  
54  
-----  
55  
-----  
56  
-----  
57  
-----  
58  
-----  
59  
-----  
60  
-----

## QUESTÃO 5

---

O campo magnético da Terra interage continuamente com o vento solar, que é um plasma quente, magnetizado, supersônico e não colisional que carrega uma grande quantidade de energia cinética e energia elétrica. Ao interagir com o campo magnético da Terra, o vento solar atua de modo análogo a um gerador magnetohidrodinâmico. Dependendo das condições, parte da energia e matéria que carrega pode ser depositada na ionosfera e na alta atmosfera.

Em uma tempestade geomagnética, condição em que o vento solar se encontra mais denso e energizado em razão de ejeções de massa coronal, os efeitos da interação do vento solar com a magnetosfera podem alcançar a ionosfera de baixas latitudes por mecanismos que, embora muito estudados, ainda não são inteiramente conhecidos.

Para caracterizar a tempestade geomagnética utilizam-se medidas de instrumentos de solo e medidas de instrumentos instalados em satélites localizados no meio interplanetário, próximos à Terra. Pela análise comparativa entre essas medidas e as observações da ionosfera equatorial, é possível investigar os efeitos das tempestades geomagnéticas sobre a ionosfera equatorial.

Com base no texto acima, responda aos itens a seguir.

Considere o sistema geocêntrico-solar-magnetosférico (GSM), em que a origem do sistema está fixada no centro da Terra e o eixo  $x$  aponta da Terra para o Sol. O eixo  $y$  é definido como sendo perpendicular ao eixo de dipolo magnético da Terra de modo que este esteja contido no plano  $x$ - $z$ . O sentido positivo do eixo  $z$  é escolhido de modo a estar apontando no mesmo sentido do polo magnético norte.

- A) Estime a diferença de potencial elétrico em volts produzido pelo vento solar ao longo da distância  $L$ , onde  $L = 20 R_e$  é o comprimento característico da magnetosfera ao longo do eixo  $y$ ,  $R_e = 6 \cdot 10^3$  km o raio da Terra,  $v_x = -500$  km/s a componente  $x$  da velocidade do vento solar e  $B_z = 5 \cdot 10^{-9}$  tesla o campo magnético do vento solar na direção  $z$ .
- B) Apresente os principais índices baseados em medidas de instrumentos de solo usados para caracterizar tempestades geomagnéticas e que são necessários para a identificação das *fases da tempestade* e suas *subtempestades*. Descreva em linhas gerais como são obtidos estes índices.
- C) Apresente ao menos quatro grandezas físicas que são diretamente medidas *in situ*, ou que são derivadas destas medidas, e que são relevantes para a caracterização da tempestade geomagnética.
- D) Explique os principais efeitos das tempestades geomagnéticas sobre a eletrodinâmica da ionosfera equatorial. A explicação deve abranger e citar os efeitos de superblindagem (*overshielding*), sub-blindagem (*undershielding*) e dinamo perturbado (*disturbance dynamo*).

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25
- 26
- 27
- 28
- 29
- 30
- 31
- 32
- 33
- 34
- 35



36  
-----  
37  
-----  
38  
-----  
39  
-----  
40  
-----  
41  
-----  
42  
-----  
43  
-----  
44  
-----  
45  
-----  
46  
-----  
47  
-----  
48  
-----  
49  
-----  
50  
-----  
51  
-----  
52  
-----  
53  
-----  
54  
-----  
55  
-----  
56  
-----  
57  
-----  
58  
-----  
59  
-----  
60  
-----





Realização

