



INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAL – INPE

CLIMA ESPACIAL; GEOFÍSICA ESPACIAL (PQ033)



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

A teoria da indução de ondas eletromagnéticas em meios condutores fornece a base conceitual para o conhecimento das variações do campo (geo)eletromagnético, que são caracterizadas por um extenso domínio espectral e regidas por uma variedade de processos físicos internos e externos ao campo geomagnético principal. Especialmente, as fontes externas (correntes elétricas) que sustentam o processo de indução eletromagnética na superfície ou subsuperfície terrestre, como por exemplo, os sistemas de correntes relacionados à interação entre o fluxo solar e o plasma da magnetosfera-ionosfera, são manifestações de interesse da pesquisa e das aplicações em Clima Espacial.

A) As equações de Maxwell podem ser aplicadas ao problema clássico da indução eletromagnética em um meio condutor. Em uma aproximação de ordem-zero, considere o meio isotrópico e homogêneo (linear), em regime não transiente. Usando a lei de Ohm como relação constitutiva válida, tem-se:

$$\nabla^2 \begin{bmatrix} \mathbf{E} \\ \mathbf{B} \end{bmatrix} - \mu \sigma \frac{\partial}{\partial t} \begin{bmatrix} \mathbf{E} \\ \mathbf{B} \end{bmatrix} - \mu \varepsilon \frac{\partial^2}{\partial t^2} \begin{bmatrix} \mathbf{E} \\ \mathbf{B} \end{bmatrix} = 0,$$

ou seja, os campos elétrico ($\mathbf{E}(\mathbf{x}, t)$) e de indução magnética ($\mathbf{B}(\mathbf{x}, t)$) são determinados pela equação da onda (descrita pelos operadores diferenciais no espaço vetorial Euclidiano), acrescida de um termo de amortecimento, em que μ e ε representam a permeabilidade magnética e a permissividade elétrica, respectivamente, e σ a condutividade elétrica. Supondo uma solução de onda plana (com ênfase em variações na escala vertical), tal como $\propto e^{i(mz - \omega t)}$ ($i^2 = -1$), sendo ω a frequência angular da onda e m o número de onda vertical complexo, **mostrar** que $m^2 = \mu \varepsilon \omega^2 (1 + i(\sigma / \varepsilon \omega))$; também, **mostrar** que a solução de ordem-zero

do problema é: $\begin{bmatrix} \mathbf{E}(z, t) \\ \mathbf{B}(z, t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{E}_0 \\ \mathbf{B}_0 \end{bmatrix} e^{-\gamma z} e^{i(k_z z - \omega t)}$, sendo $\mathbf{E}_0, \mathbf{B}_0$ as amplitudes dos campos e o número de onda vertical complexo representado por $k_z + i\gamma = m$.

B) O comprimento característico em que as amplitudes dos campos são atenuadas pelo fator de $1/e$ é denominado de profundidade pelicular (*skin depth*), $\delta = \delta(\omega)$. Considerando a condição de aproximação quase-estática (domínio das baixas frequências), **determinar** uma expressão algébrica para δ em função das propriedades constitutivas. Também, neste domínio das baixas frequências, **identificar** as típicas fontes externas (pelo menos quatro delas) associadas às variações do campo geomagnético na superfície, apresentando-as de forma ordenada (crescente ou decrescente) em relação às respectivas ‘estimativas’ de δ (valores relativos).

C) O comportamento do campo geomagnético associado às fontes externas, na ausência de eventos solares que intensificam a transferência de energia entre o meio interplanetário e a magnetosfera-ionosfera, exhibe normalmente um padrão de oscilações quase-periódicas, submúltiplos do dia solar, porém moduladas (em amplitude e fase) por tendências de longo prazo do fluxo solar. Este padrão é conhecido como sistema de correntes ionosféricas *Sq* (*Solar quiet*), responsáveis por uma parcela das correntes internas (secundárias) induzidas e, conseqüentemente, pelas alterações do campo geoeletrico local (variável que representa a conexão entre Clima Espacial, Engenharia e Gestão de Riscos). As seguintes questões devem ser elucidadas com algum nível de detalhamento:

C₁ **Descrever** os processos físicos da alta atmosfera relacionados à geração do sistema de correntes ionosféricas *Sq*. A configuração do campo geomagnético em baixas latitudes produz um sistema de correntes particular, denominado Eletrojato Equatorial (EEJ). **Caracterizar** tal sistema. **Discutir** se EEJ pode ser tratado ou descrito de modo independente de *Sq*?

C₂ Considere que o objetivo de um projeto seja a formulação de um modelo empírico global para o campo geomagnético associado às variações *Sq*, usando uma base de dados (rede de magnetômetros) com adequada distribuição espacial. **Mencionar**, com embasamento, pelo menos quatro fatores geofísicos significativos de dependência que devem constituir um sistema de parametrizações para o modelo assim proposto. Também, **discutir** sobre o critério a ser adotado na seleção da base de dados, impondo restrições aos períodos de condição de campo geomagnético perturbado.

- 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

Os impactos de tempestades solares no nosso planeta são temas de pesquisa básica há um longo tempo, de forma a melhor entender os processos físicos/dinâmicos que ocorrem desde o Sol até a Terra. Nos últimos anos esse tema tem ganhado importância nas áreas aplicadas de engenharias, telecomunicações, aeronáutica e sistemas espaciais. Um dos efeitos das tempestades solares, ou tempestades geomagnéticas, são os distúrbios geomagnéticos nas vizinhanças da Terra, e tais perturbações causam variações abruptas nos campos magnético e elétrico da alta atmosfera (ionosfera) e em solo. A aplicação da ciência básica, que envolve estudos do comportamento do Sol, da dinâmica do meio interplanetário, da dinâmica do Geoespaço e da alta atmosfera terrestre, juntamente com a influência das tempestades solares em sistemas tecnológicos, gerou a área de pesquisa aplicada conhecida como Clima Espacial.

Levando em conta a importância desse assunto, responda aos itens a seguir.

- A) Considerando a manifestação de correntes induzidas por distúrbios geomagnéticos (GIC) nos extensos sistemas distribuídos em solo, especialmente vulneráveis às variações de GIC, descreva os elementos da interface entre clima espacial e engenharia do ponto de vista das:**
- A₁ correntes induzidas nas redes de transmissão de energia elétrica, com implicações relativas à estabilidade de suprimento da energia;**
 - A₂ correntes induzidas em sistemas de transporte de hidrocarbonetos (gasodutos e oleodutos), com implicações operacionais e funcionais dos condutos.**
- B) Discuta de que maneira os estudos de GIC em sistemas distribuídos em solo, conforme anteriormente citados, especialmente em situações de eventos solares extremos, são integrados às práticas de gestão de risco e de planejamento operacional destes sistemas, com o objetivo de minimizar os possíveis impactos ambientais e econômicos.**
- C) Mencione, pelo menos, quatro produtos, no âmbito geral das aplicações de Clima Espacial, que atualmente estão disponíveis no Brasil. Explique como esses produtos podem ser utilizados por instituições governamentais/privadas e indústrias de transformação.**

- 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

A modelagem da intensidade de correntes induzidas geomagneticamente, conhecidas como GIC (sigla em inglês), em redes de sistemas de energia elétrica requer o fornecimento de certas informações como parâmetros de entrada, incluindo características da rede de energia e a estrutura de condutividade elétrica do interior da Terra na região geográfica de interesse.

Nesse contexto, responda aos itens a seguir.

- A) Descreva, qualitativamente, o efeito da voltagem e comprimento das linhas de transmissão do sistema elétrico, bem como da estrutura de condutividade elétrica da subsuperfície, na ocorrência e a intensidade de GIC.
- B) Na modelagem de GIC, um aspecto importante é a característica espacial da fonte primária do campo geo-eletromagnético. Fontes primárias devidas, por exemplo, à correntes magnetosféricas de larga escala espacial podem ser tratadas, na superfície terrestre, como uma onda plana propagando-se verticalmente. Em quais regiões a premissa de onda plana é normalmente violada? Nesse caso, como o campo primário pode ser representado?
- C) A distribuição da condutividade elétrica do interior terrestre está contida em uma função de transferência complexa relacionando linearmente, no domínio da frequência, as componentes do campo elétrico, E_x e E_y , com as componentes do campo magnético, B_x e B_y . Descreva os métodos para obtenção dessas funções de transferência em uma determinada área geográfica de interesse.

- 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

As *correntes geomagnéticas induzidas* (GIC, na sigla em inglês) são as correntes elétricas induzidas na Terra sólida condutora e são causadas diretamente por perturbações do campo geomagnético, sendo mais intensas quando ocorrem tempestades e subtempestades geomagnéticas.

Sobre o tema, responda aos itens a seguir.

- A) Descreva os mecanismos envolvidos na geração das correntes geomagneticamente induzidas (GICs) e das variações das correntes ionosféricas no momento de ocorrência das tempestades e subtempestades geomagnéticas.
- B) Discorra sobre o motivo da diferença da intensidade e ocorrência dos GICs em diferentes regiões do planeta, assim como a importância de realizar pesquisas sobre GICs em baixas latitudes.
- C) Explique os fatores que afetam a intensidade das GICs durante tempestades magnéticas e descreva os efeitos distintos observados durante subtempestades, caso exista.
- D) Sabendo que ocorre um grande aumento na injeção de elétrons no momento de tempestades geomagnéticas, discorra sobre a forma como ocorre a injeção de elétrons de baixa energia na magnetosfera e seus efeitos nos sistemas de correntes induzidas e de correntes ionosféricas.

- 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

A interação Sol - Terra se apresenta em diversas áreas do conhecimento científico, cada uma delas usualmente ligada a um determinado fenômeno de interesse da atividade humana.

A ciência do Geomagnetismo estuda a origem, a forma e o comportamento do campo magnético da Terra – também chamado campo geomagnético – e sua relação com outros fenômenos geofísicos. É baseada, experimentalmente, em medidas do campo geomagnético em diversos observatórios espalhados pelo globo terrestre, que são interconectados por rede de magnetômetros. As redes propiciam quase em tempo real o conhecimento do *status* geomagnético do planeta, que é, majoritariamente, originado por correntes elétricas que circulam no núcleo externo da Terra e pela interação no geoespaço do vento solar (um plasma magnetizado) com o campo magnético terrestre. As redes globais são essenciais no monitoramento das tempestades e variações geomagnéticas.

Assim,

- A) Enuncie, de forma breve, o que é um observatório geomagnético.
- B) Como são chamados os instrumentos usados nas observações geomagnéticas e os registros realizados?
 - B₁ Quais os requisitos mínimos (resolução) quanto ao valor registrado e ao intervalo de amostragem das medidas?
- C) Enuncie, simplificada, o nome dos instrumentos empregados (ao menos quatro deles).
- D) Indique o significado das siglas INTERMAGNET, IMO e GIN. Explique brevemente cada uma delas.
- E) Com referência a um observatório geomagnético compatível com uma rede global, como a INTERMAGNET, por exemplo, apresente as principais características da instrumentação empregada.

- 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

