



INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAL – INPE

PROVA DISCURSIVA

TG04

OPERAÇÃO DE SISTEMAS ESPACIAIS EMBARCADOS



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

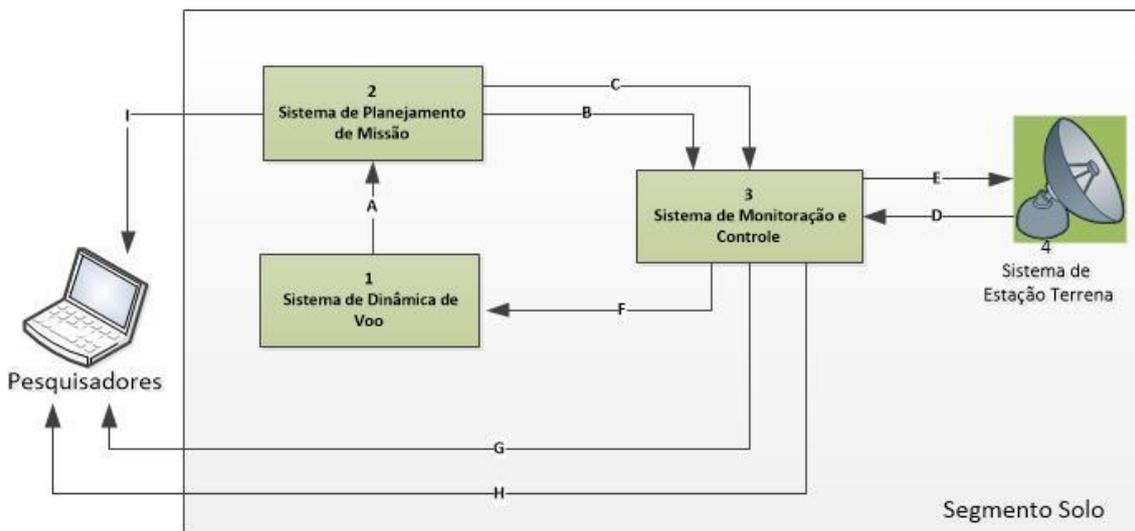
Um grupo de pesquisa identificou que, para continuar seu trabalho, necessitava de dados coletados da superfície da Terra, que somente poderiam ser obtidos a partir do espaço. Com esta demanda, uma missão espacial YYY foi estabelecida.

A missão YYY colocará um satélite, em uma órbita baixa com controle de atitude a bordo para atender aos requisitos de captura de dados que devem ser realizados pela carga útil.

A determinação de órbita será feita no solo, usando dados de GPS gerados no satélite. O módulo de carga útil será responsável por obter os dados científicos de interesse e armazená-los a bordo. A operação da carga útil estará baseada em um plano de operação de bordo gerado pela equipe responsável pela operação do satélite. O módulo da plataforma será responsável por descarregar estes dados científicos durante os períodos de contatos com a estação terrena.

Essa missão prevê uma estação terrena de Banda S em um local no território brasileiro cuja operação é remota e automática. Os pesquisadores serão responsáveis por processar os dados científicos coletados utilizando, para isso, dados auxiliares obtidos da plataforma.

A Figura abaixo apresenta o Segmento Solo projetado para esta missão:

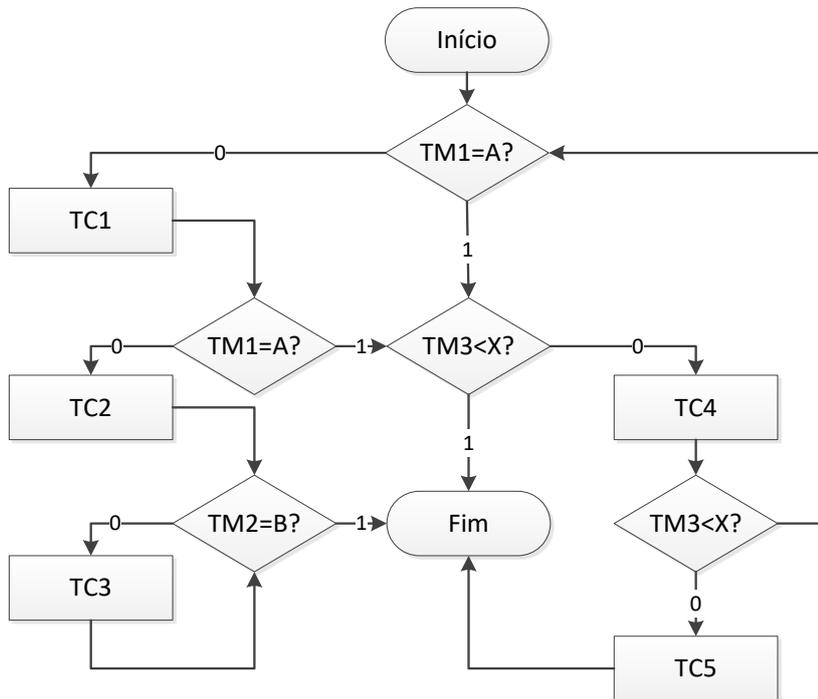


Utilizando a descrição dada da Missão YYY, responda aos itens a seguir.

- Além do Segmento Solo mais 2 (dois) segmentos essenciais compõem a missão YYY. Cite quais são eles. Liste os elementos que irão compor cada um dos 3 (três) segmentos.
- Cite as fases de operação necessárias para esse satélite e o objetivo a ser alcançado em cada uma delas.
- Cite o fluxo de dados entre os sistemas do Segmento Solo em uma fase de operação de rotina, sem anomalias da Missão YYY. Utilize para resposta a letra existente em cada seta da figura do Segmento Solo para informar o dado trocado entre os sistemas. Exemplo: A = dado x.
- Descreva a solução a ser adotada para mitigar o problema, se for identificada uma situação de emergência no satélite que não possa esperar pelo próximo período de contato com a estação terrena para comandá-lo. Justifique.
- Cite a função imprescindível que deve ser fornecida pelo subsistema do Computador de bordo do satélite para que a carga útil possa ser operada [fora de visada], sabendo que o satélite será colocado em uma órbita que permitirá duas passagens pela manhã e duas à noite pela estação terrena dedicada à missão YYY. Justifique.

Questão 2

Considere um procedimento (Proc1) de correção de falha embarcada representado pelo fluxograma abaixo, envolvendo monitoração de telemetrias (TM) e envio de telecomandos (TC) durante um rastreo.



- A) Liste a sequência de telecomandos que deve ser enviada, se as telemetrias indicarem os valores a seguir e permanecerem inalteradas durante todo o rastreo.
- TM1 = A
 - TM2 ≠ B
 - TM3 > X
- B) Informe o telecomando que deve ser enviado, se as telemetrias indicarem os valores a seguir, desde o início do rastreo até antes do envio desse telecomando.
- TM1 = A
 - TM2 ≠ B
 - TM3 > X
- C) Informe o telecomando que deve ser enviado, se as telemetrias passarem a indicar os valores a seguir após o envio do telecomando do item anterior.
- TM1 ≠ A
 - TM2 = B
 - TM3 < X
- D) Liste a sequência de telecomandos que deve ser enviada, se as telemetrias passarem a indicar os valores a seguir desde o envio do último telecomando do item anterior e permanecerem inalteradas até o final do rastreo.
- TM1 ≠ A
 - TM2 = B
 - TM3 > X
- E) Reescreva o procedimento (Proc1), representado pelo fluxograma acima, em forma de pseudocódigo.

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

Questão 3

Uma Agência Espacial é responsável por rastrear, operar e receber dados de carga útil dos satélites de Sensoriamento Remoto SAT-A e SAT-B, por meio de três estações terrenas, sendo duas para operação (ET-SE1 e ET-SE2) e uma para recepção de dados de carga útil (ET-EM).

A Figura 1 apresenta a arquitetura do Segmento Solo.

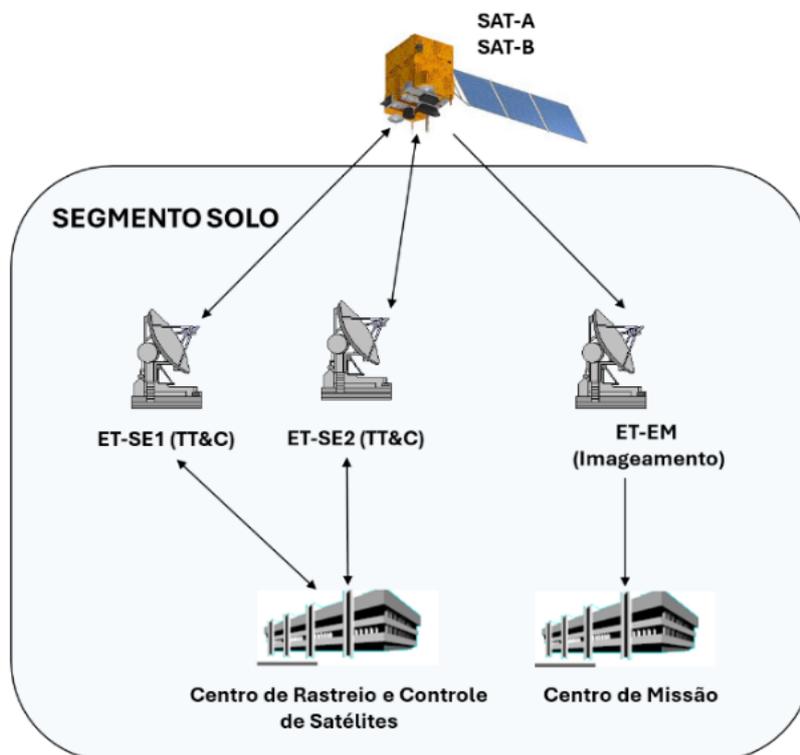


Figura 1. Segmento Solo.

Considere que:

- Os planejamentos das atividades de rastreo, operação e recepção de dados de carga útil dos satélites são realizados por meio de Planos de Operação de Solo (linha do tempo de solo) e Planos de Operação de Bordo (linha do tempo de bordo).
- Cada uma das estações terrenas ET-SE1 e ET-SE2 está equipada com uma antena TT&C que permite o rastreo e operação do SAT-A e SAT-B durante o período de contato entre esses satélites e as antenas (passagem). A estação terrestre ET-EM está equipada com uma antena para recepção de dados de carga útil desses satélites durante uma passagem.
- Durante uma passagem, a antena ET-EM só pode receber dados de carga útil de um satélite por vez.
- Durante uma passagem, cada uma das antenas ET-SE1 e ET-SE2 só pode enviar telecomandos para um dos satélites e cada um dos satélites só poderá receber telecomandos de uma das antenas ET-SE1 ou ET-SE2.
- Haverá períodos em que uma dada antena (ET-SE1, ET-SE2 ou ET-EM) poderá estar em contato com os dois satélites (SAT-A e SAT-B) simultaneamente.
- Haverá períodos em que um dado satélite (SAT-A ou SAT-B) poderá estar em contato com duas antenas de controle (ET-SE1 e ET-SE2) simultaneamente.
- Os dados de carga útil do SAT-A são os dados prioritários para a Agência Espacial e a antena ET-SE2 tem prioridade na operação do mesmo.
- A operação de carga útil de rotina para o SAT-A prevê a aquisição de dados de imagem de uma passagem por dia do satélite pela estação ET-EM.

Com base na arquitetura do Segmento Solo da Agência Espacial, apresentada na Figura 1, e nas prioridades e restrições descritas no enunciado acima, responda aos itens a seguir.

- A) Descreva, de forma sucinta, Planejamento de Operação de Bordo (linha do tempo de bordo) e Planejamento de Operação de Solo (linha do tempo de solo). Apresente 2 exemplos de atividades típicas do Planejamento de Operação de Solo.
- B) Considere que a lista numerada da Tabela-1 apresenta de forma desordenada as principais funções a serem executadas para a geração do Planejamento de Operação de Bordo de um satélite para um dado período.
- B₁ Ordene essa lista de funções para a geração do planejamento de operação de bordo (utilize apenas o número de cada função para ordená-la, por exemplo, {5,4,3 ...}).
- B₂ Apresente uma lista semelhante para especificar as funções necessárias para a geração do planejamento de operação de solo de um satélite para um dado período.

Tabela 1 – Lista (desordenada) de funções para geração da programação de operação de bordo.

[1]	Agendar as operações de cargas úteis e as demais atividades a serem realizadas a bordo do satélite no período definido.
[2]	Carregar os procedimentos de agendamento da operação da carga útil do satélite e das demais atividades de bordo.
[3]	Carregar a previsão de contato entre os satélites e a estação ET-EM (passagens) do período definido.
[4]	Gerar a programação de operação de bordo (linha do tempo de bordo) do satélite para o período definido.
[5]	Resolver os conflitos de contato dos satélites e a ET-EM e selecionar as passagens que atendem aos critérios de operação de carga útil.

C) Sabendo que os planejamentos de operação de bordo e de solo do SAT-A e SAT-B já foram gerados para um período de quinze dias:

C₁ Indique se o planejamento de operação de bordo e se o planejamento de operação solo, previamente gerados, deveriam ser necessariamente regerados para o SAT-A, caso os eventos da Tabela 2 ocorressem.

C₂ Justifique sua resposta.

Tabela 2. Eventos.

A.	SAT-B torna-se indisponível por tempo indeterminado.
B.	Devido a desastres naturais ocorridos, os dados de carga útil do SAT-B passam a ser prioritários para a Agência Espacial.
C.	A estação terrena ET-SE1 fica indisponível por problemas técnicos na antena.

Obs.: analise os eventos de forma independente, apresentando um conjunto de respostas para cada evento.

Questão 4

Considere um satélite X de baixa órbita que precisa passar por uma manobra orbital para incremento de altitude. Esta manobra foi agendada para execução num dia D a partir de 15h27min30seg com 11 segundos de duração.

O procedimento de manobra orbital para incremento de altitude do satélite X encontra-se descrito na Tabela 1, enquanto a sequência de passagens diurnas do satélite X no dia D sobre três estações terrenas (A, B e C) são descritas na Tabela 2, sendo que:

- O satélite X possui apenas um propulsor de manobra orbital fixa em uma das faces da plataforma.
- O satélite X possui capacidade de manobra de atitude em três eixos: rolagem (ROLL), guinada (PITCH) e arfagem (YAW).
- O satélite X prevê para o apontamento da carga útil a possibilidade de ajuste em ângulo de rolagem (ROLL) de até +15 graus a partir do apontamento nominal.
- O satélite X possui um período orbital de 1h40min00seg.
- A estação terrena A é exclusiva para telemetria, rastreamento e comando.
- A estação terrena B é exclusiva para recepção de dados de carga útil.
- A estação terrena C é de uso dual para recepção de dados de carga útil e para telemetria, rastreamento e comando.

Tabela 1 – Procedimento de manobra orbital do satélite X para incremento de altitude

1.	Na última órbita anterior à execução da manobra.
1.1.	Monitorar TM_STAT “estado geral do satélite”
1.1.1.	Se TM_STAT = OK, executar passo 1.2.
1.1.2.	Se TM_STAT = NOK, abortar procedimento.
1.2.	Enviar TC_YAW(90, T0 – 25min) “Manobra de atitude em YAW” de +90 graus temporizado para 25 minutos antes do início da manobra (T0).
1.3.	Enviar TC_PROP(T0, T1) “Ligar propulsor de manobra orbital” temporizado para desde o início da manobra (T0) até o fim da manobra (T1).
1.4.	Enviar TC_YAW(-90, T1 + 10seg) “Manobra de atitude em YAW” de -90 graus temporizado para 10 segundos após o final da manobra (T1).
1.5.	Executar passo 2 na órbita seguinte, de execução da manobra.
2.	Na órbita de execução da manobra.
2.1.	Monitorar TM_STAT “Estado geral do satélite.”
2.1.1.	Se TM_STAT = OK, executar passo 2.2.
2.1.2.	Se TM_STAT = NOK, executar passo 2.3.
2.2.	Aguardar finalização da manobra (T1).
2.2.1	Enviar TC_EPHEM(DDMMYY_1) “Carga de efemérides” com parâmetros orbitais alvo de manobra em DDMMYY
2.2.2	Finalizar procedimento.
2.3.	Enviar TC_DEL(TC_PROP(T0, T1)) – “Deletar telecomando da fila de execução em bordo” para TC_PROP(T0, T1)
2.3.1.	Enviar TC_EPHEM(DDMMYY_0) “Carga de efemérides” com parâmetros orbitais pré-manobra em DDMMYY
2.3.2.	Finalizar procedimento.

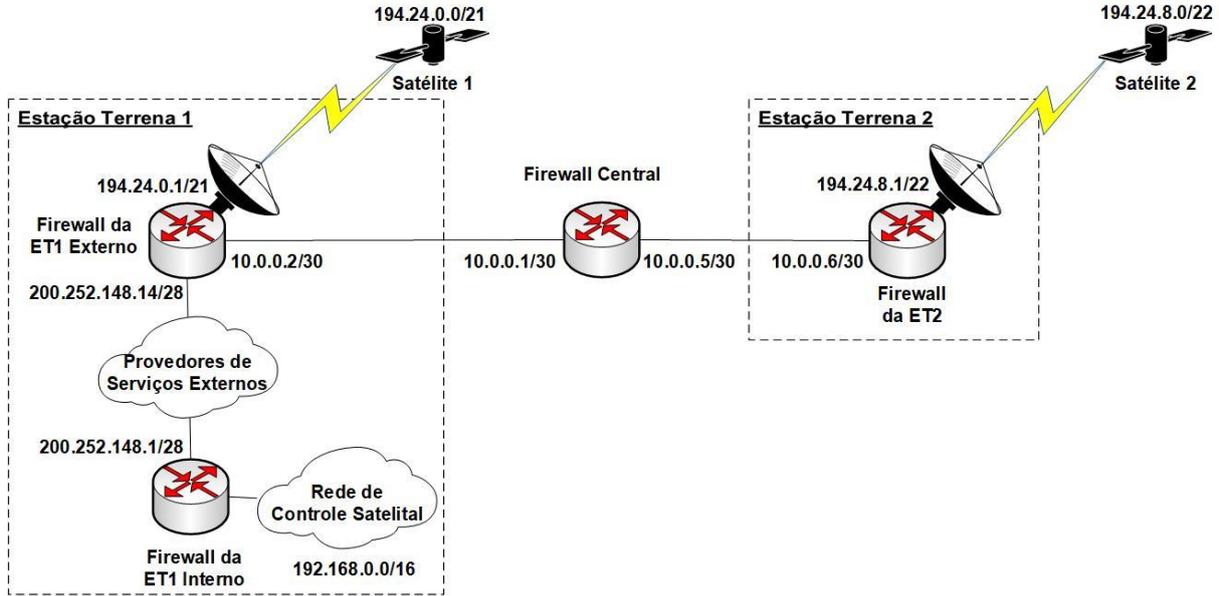
Tabela 2 – Sequência de passagens diurnas do satélite X no dia D

Órbita	Estação terrena	Início de passagem	Fim de passagem
N-1	A	12:02:00.651	12:12:12.507
N-1	B	12:09:32.425	12:13:42.529
N-1	C	12:09:56.534	12:13:18.491
N	A	13:39:22.028	13:52:33.875
N	B	13:43:03.140	13:57:02.980
N	C	13:43:09.438	13:56:56.663
N+1	B	15:25:56.584	15:32:35.049
N+1	C	15:26:11.241	15:32:20.282

- A) Calcule os parâmetros para os telecomandos nos passos 1.2, 1.3 e 1.4 do procedimento apresentado na Tabela 1.
- B) Selecione a órbita e a estação (ou estações) apropriada(s) na Tabela 2 para execução dos passos 1 e 2 na Tabela 1.
- C) Considere nesse cenário, adicionalmente, uma requisição de operação de carga útil emergencial de altíssima prioridade devido a um desastre natural cujas consequências devem ser observadas e adquiridas entre 15h26min e 15h30min do dia D com ajuste de ângulo de apontamento de +5 graus em rolagem (ROLL). Comente e justifique se é possível conciliar a execução simultânea da manobra e da operação de carga útil. Proponha uma solução conforme o caso, levando em consideração as passagens apresentadas na Tabela 2.
- D) Considere, no mesmo cenário do item (c), que a manobra seja uma evasão de colisão com detrito espacial. Comente e justifique o nível de prioridade que deve ser alocado a uma manobra de evasão de colisão, comparado ao de outras operações pré-agendadas. Proponha uma solução conforme o caso, considerando, para tal, que a colisão está estimada para as 18h07min35seg do dia D.
- E) Descreva, com base na Tabela 1, como seria um procedimento de manobra orbital para decremento de altitude.

Questão 5

A Figura abaixo mostra a interconexão de duas estações terrenas por meio de um *firewall* central que também realiza roteamento. Cada estação terrena possui *firewalls*/roteadores e uma antena para comunicação com seu respectivo satélite. Os endereços IP, apresentados junto a cada um dos *firewalls*, são os endereços de suas respectivas interfaces. As máscaras utilizadas estão no formato conhecido como CIDR (*Classless InterDomain Routing*). Os endereços IP junto aos satélites representam o endereço base das redes de comunicação distribuídas por esses satélites, que não trafegam mensagens de controle para os satélites.



Em relação às regras dos *firewalls*, todos eles bloqueiam, por exemplo, pacotes do tipo ICMP *Echo Request* (Tipo8) e outros tipos de acesso considerados indevidos. A Estação Terrena 1 provê serviços que podem ser acessados pelas redes de comunicação satelitais. Essa estação também possui uma rede responsável por emitir todos os comandos de controle dos satélites e, por isso, deve ter uma proteção extra, que é realizada pelo *Firewall* da ET1 Interno. Esses comandos de controle saem do *Firewall* Interno, por meio de um serviço de NAT (*Network Address Translation*), também realizado por esta máquina.

Sabendo disso, responda aos itens a seguir.

- A) Se qualquer computador em uma das redes de comunicação dos satélites (194.24.X.X) gerar um pacote em *broadcast*, esse *broadcast* chegará ao *firewall* central? Justifique.
- B) Se qualquer computador em uma das redes de comunicação dos satélites (194.24.X.X) tentar realizar um *ping* no roteador central, qual será a resposta? Justifique.
- C) Em relação à Estação Terrena 1, qual o endereço IP base e a máscara, ambos na notação em octetos, das zonas que podem ser consideradas desmilitarizada (DMZ) e militarizada (MZ)? Justifique indicando onde se localizam essas zonas.
- D) Se qualquer computador em uma das redes de comunicação dos satélites (194.24.X.X) tentar iniciar um tráfego com a Rede de Controle Satelital, qual deve ser o comportamento dos *firewalls* da Estação Terrena 1? Justifique.
- E) Indique o endereço IP de origem no qual as mensagens de controle dos satélites serão emitidas pela Estação Terrena 1.

Realização

