



**PROVA DE CARTA CELESTE
TREINAMENTO 3**

SELEÇÃO DAS EQUIPES BRASILEIRAS

OLIMPIADAS INTERNACIONAIS DE 2023

Instruções Gerais

1. Escreva seu NÚMERO DE IDENTIFICAÇÃO em TODAS as folhas de resposta que serão escaneadas.
2. Escreva o número de cada questão na folha de resposta, bem como o número da página.
3. Essa prova é de aplicação única. **NÃO HAVERÁ SEGUNDA CHAMADA.**
4. A duração da prova é de 1 (uma) hora e o tempo para escanear é de 20 (vinte) minutos, sem possibilidade de tempo adicional, a não ser em casos de imprevistos.
5. A prova é composta por 2 questões (totalizando 150 pontos).
6. A prova é individual e sem consultas.
7. O uso de calculadoras é permitido, desde que não sejam programáveis/gráficas/com acesso à internet.
8. As resoluções das questões podem ser feitas a lápis (bem escuro) ou caneta e devem ser apresentadas de forma clara, concisa e completa. Faça um retângulo ao redor da resposta de cada item. Sempre que possível, use desenhos e gráficos. Recomendamos o uso de borracha, régua e compasso.
9. Você pode utilizar folhas de rascunho para auxiliar no processo de resolução da prova, mas elas não devem ser escaneadas.

Instruções Específicas

1. Após o término da prova, os alunos deverão escanear suas soluções com um aparelho celular para enviarem suas provas pelo Gradescope.
2. Só serão aceitos arquivos em pdf. Em caso de dúvidas, leia o passo a passo da OBA de como escanear suas soluções.
3. O uso de aparelhos celulares ou câmeras fotográficas só é permitido enquanto o aluno realiza o scan de suas soluções.
4. Para questões em branco, faça upload de uma folha escrito 'Pulei essa questão'.

1. Polônia 2021 (75 pontos)

As cartas celestes 1 e 2 (anexadas em folhas separadas) ilustram a aparência do céu visível acima do horizonte racional (verdadeiro) a partir do centro da Polônia. Um dos mapas refere-se à aparência do céu noturno, e o outro, do matutino. O intervalo de tempo entre os horários das cartas é de menos de um dia.

- Desenhe o Meridiano Local e o Equador Celeste em ambas as cartas 1 e 2.
- Indique os pontos cardeais no horizonte de ambas as cartas com as letras N, W, S, E.
- Com precisão de meia hora, determine o intervalo de tempo entre os momentos representados pelas cartas.
- Em qual das cartas se localiza o Ponto de Áries? Em qual delas está o Centro da Galáxia?
- Em um dos mapas, a Lua e um dos planetas brilhantes são visíveis. Nomeie o planeta, e determine se a conjunção entre esses corpos celestes já ocorreu, ou ainda está por vir.
- Para cada uma das cartas, indique os nomes de duas constelações equatoriais que são visíveis em sua totalidade.
- Forneça, para cada par de coordenadas altazimutais, o nome de uma estrela brilhante aproximadamente nessa posição:

Na carta 1:

- $A_1 \approx 317^\circ$; $h_1 \approx 43^\circ$.
- $A_2 \approx 69^\circ$; $h_2 \approx 36^\circ$.

Na carta 2:

- $A_3 \approx 40^\circ$; $h_3 \approx 52^\circ$.
- $A_4 \approx 352^\circ$; $h_4 \approx 12^\circ$.

Observação: Na prova original, a folha de constantes definia que o Azimute parte do Sul em direção Oeste.

- Sejam A, B, C e D quatro objetos Messier da sua escolha. A restrição é que A e B devem ser visíveis na Carta 1, enquanto C e D devem ser visíveis na Carta 2.

Nas cartas, aponte com setas a posição de cada um desses objetos. Ao lado de cada seta, escreva a letra correspondente. Nas folhas em branco, relacione cada letra com o nome do objeto Messier.

- Aponte com setas a posição das estrelas que seguem. Ao lado de cada seta, escreva a letra correspondente:

(E) Algol (Beta Persei)	(F) Delta Cephei
-------------------------	------------------
- Aponte com setas a posição dos binários que seguem. Ao lado de cada seta, escreva a letra correspondente:

(G) Albireo (Beta Cygni)	(H) Mizar e Alcor
--------------------------	-------------------

2. Conhecendo o plano galáctico (75 pontos)

O plano galáctico é o plano contido no disco galáctico que divide uma galáxia em duas seções iguais, passando, assim, pelo centro de massa dela. No caso de uma galáxia plana, é possível observar que a densidade de estrelas na região próxima ao plano é muito maior do que em outras regiões do céu - isso acontece porque elas estão situadas no disco galáctico.

Nessa questão, iremos nos aprofundar um pouco mais sobre a projeção desse plano na esfera celeste. Para um observador terrestre, o plano galáctico da Via Láctea está inclinado de aproximadamente 63° em relação ao Equador Celeste.

Na tabela abaixo, estão alguns dos pontos de referência do plano galáctico, em função das coordenadas equatoriais. Note que a coluna referente à constelação em que eles se encontram ainda não foi preenchida.

Tabela 1: Coordenadas Equatoriais J2000.0 dos pontos de referência Galácticos.

Ponto notável	Ascensão Reta	Declinação	Constelação
Polo Norte Galáctico	12h51.4min	+27°07'	
Polo Sul Galáctico	0h51.4min	-27°07'	
Ponto Nodal Ascendente	18h50min	0°	
Ponto Nodal Descendente	6h50min	0°	
Centro Galáctico	17h45.6min	-28°56'	

Assim, como dito nos textos de apoio, a linha do equador galáctico representa o disco galáctico; portanto, ele estará em uma região de maior densidade de estrelas. Obviamente, os polos galácticos estarão próximos de regiões em que a densidade estelar é consideravelmente menor. Use essa dica para responder os próximos itens com maior facilidade.

Os itens a seguir referem-se ao mapa que se encontra na carta celeste 3 (anexada em uma folha separada).

- Trace no mapa a linha da eclíptica (E), deixando claro onde está o ponto Áries (γ), o ponto libra (♎), o ponto capricórnio (♏) e o ponto de câncer (♋).
- Identifique em que constelação se encontra cada um desses pontos.
- Em que constelações os pontos norte e sul da eclíptica se encontram? Marque na carta o polo norte eclíptico (PNE) e o polo sul eclíptico (PSE).
- A partir da trigonometria esférica, qual a distância angular entre o PNE e o polo norte galáctico?
- Marque a posição do polo norte galáctico (PNG) e o polo sul galáctico (PSG).
- Trace no mapa a linha do equador galáctico (G). Onde se encontram os pontos de intersecção dessa linha com a eclíptica?
- Com os conhecimentos adquiridos nos últimos itens, complete a tabela 1.
- Calcule a distância entre o polo norte galáctico e o polo norte eclíptico na carta celeste. Explique eventuais diferenças de valores entre esse e o calculado no item (d).

Os próximos itens se referem somente à carta celeste 4 (anexada em uma folha separada).

- Trace a linha do equador celeste (EC).
- Identifique no mapa o polo celeste sul (PCS). Quais são as coordenadas galácticas dele? Lembre-se de que o sistema de coordenada galáctico tem como referência o centro da galáxia.

Solução:

- Linhas e pontos marcados na carta abaixo. A figura também possui marcações dos itens seguintes.

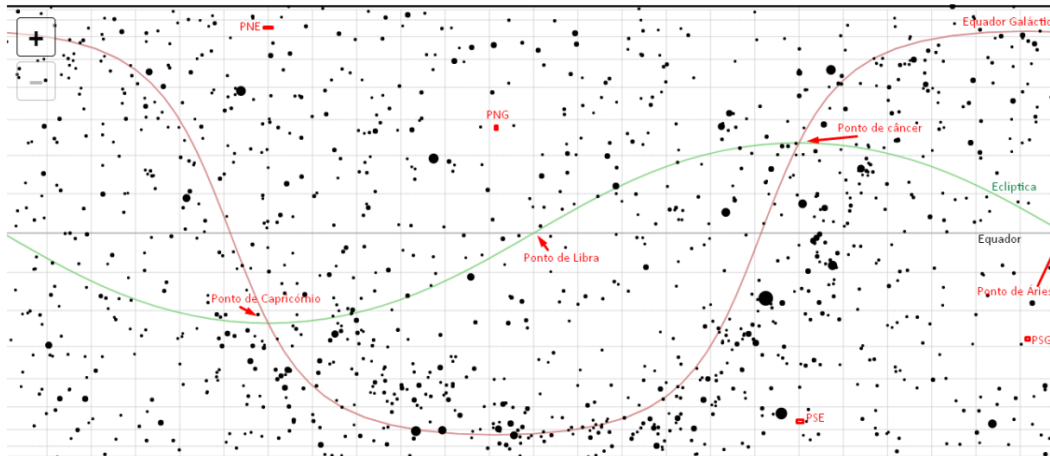


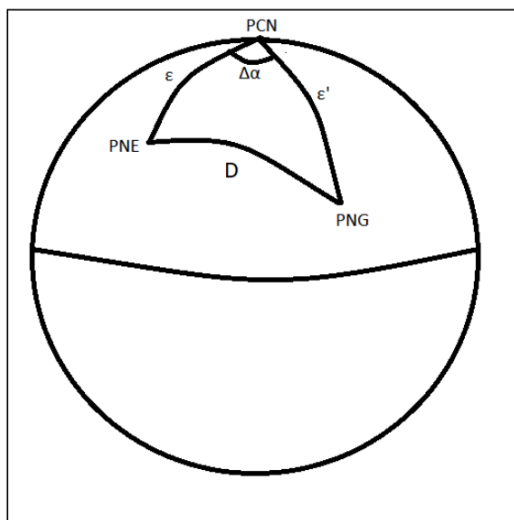
Figura 1: Tabela com respostas

- (b) Na ordem em que os pontos foram citados: Peixes, Virgem, Sagitário, Touro. Obs: Responder Gêmeos ao invés de Touro também seria uma resposta aceitável, pois é praticamente impossível diferenciar graficamente segundo a carta dada (a distância do ponto de câncer até a fronteira de Gêmeos é da ordem de $0,5^\circ$). Os outros pontos estão bem destacados dentro das limitações de cada constelação citada.
- (c) PNE: Draco; PSE: Dorado. Pontos marcados na carta.
- (d) O essencial para resolver problemas de trigonometria esférica é: atenção e organização. O desenho abaixo, embora feito no Paint não é dos melhores (vida que segue), mas é o bastante para compreender o triângulo esférico formado. No esquema, ε é a inclinação da eclíptica e ε' é a inclinação do plano galáctico. Obviamente, temos as seguintes relações:

$$\varepsilon = 90 - \delta_{PNE}$$

$$\varepsilon' = 90 - \delta_{PNG}$$

$$\Delta\alpha = \alpha_{PNE} - \alpha_{PNG}$$



Ponto notável	Inclinação (°)	Ascensão reta	Diferença de Ascensão Reta
Polo Norte da Eclíptica	23,5	18h00min	≈ 77,15°
Polo Norte Galáctico	≈ 62,88	12h51,4min	

Não se esqueça de salvar todos os valores exatos na calculadora, pois aproximações podem gerar uma grande diferença no cálculo final. Da lei dos cossenos, vem:

$$\cos D = \cos \varepsilon \cos \varepsilon' + \sin \varepsilon \sin \varepsilon' \cos \Delta\alpha \rightarrow D = 60^{\circ}12'$$

- (e) Pontos marcados na carta.
- (f) Linha marcada na carta. Os pontos de interseção são os pontos de solstício, conforme mostra a imagem.
- (g) A tabela está preenchida na figura a seguir.

Tabela 1: Coordenadas Equatoriais J2000.0 dos pontos de referência Galácticos.

Ponto notável	Ascensão Reta	Declinação	Constelação
Polo Norte Galáctico	12h51.4min	+27°07'	Coma Berenices
Polo Sul Galáctico	0h51.4min	-27°07'	Sculptor
Ponto Nodal Ascendente	18h50min	0°	Aquila
Ponto Nodal Descendente	6h50min	0°	Monoceros
Centro Galáctico	17h45.6min	-28°56'	Sagittarius

Figura 2: Tabela com respostas

- (h) Utilizando-se das informações da carta, podemos encontrar a distância entre esses dois pontos aplicando o teorema de Pitágoras. Observe que essa não é a distância mínima espacial entre os pontos, mas sim a distância que eles estão um do outro no caso que são coplanares.

$$D' = \sqrt{\Delta\alpha^2 + \Delta\delta^2} \rightarrow D' = 86^{\circ}37'$$

O motivo para a discrepância de valores é simples. A distância mínima entre dois pontos em uma esfera não é uma reta, mas sim um arco de círculo máximo.

- (i) Nesse caso, recomenda-se lembrar por quais constelações o Equador passa. O formato da curva é basicamente o mesmo do plano galáctico com a linha do equador centralizada. A linha está marcada na carta a seguir.

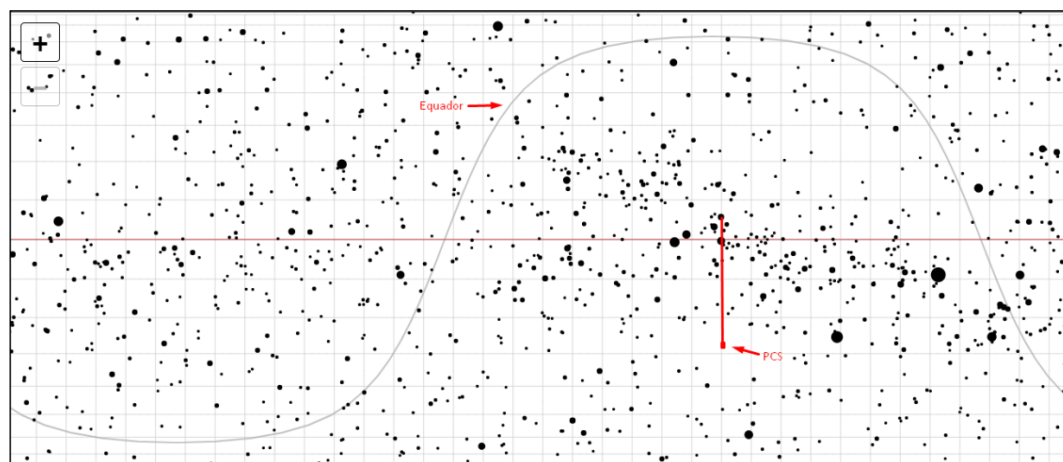


Figura 3: Carta com respostas

- (j) Lembre-se que o eixo maior do cruzeiro do sul tem tamanho angular de aproximadamente 6° . Assim, andando o equivalente a $4,5 \cdot 6 = 27^\circ$ para o sul, a partir de Gacrux, obtemos a posição do Polo Celeste Sul. Agora que temos a posição do Polo, basta usar o quadriculado para realizar suas estimativas. Obtemos então:

$$\delta_{PCS} = -27^\circ$$

$$\lambda_{PCS} = 70^\circ$$