

Simuladores estelar, solar e lunar

Rosa M. Ros, Francis Berthomieu

União Astronómica Internacional, Universidade Politécnica da Catalunha
(Barcelona, Espanha), CLEA (Niza, França)

Resumo

Este documento expõe um método simples para explicar como é realizada a observação do movimento das estrelas, do Sol e da Lua em diferentes lugares da superfície terrestre. O procedimento consiste em construir um modelo simples que permite simular tais movimentos e, simultaneamente, modificar os diferentes valores de latitude do lugar.

Objetivos

- Compreender o movimento das estrelas observado a diferentes latitudes.
- Compreender o movimento aparente do Sol observado a diferentes latitudes.
- Compreender o movimento da Lua, e formas, a diferentes latitudes.

A ideia que há por trás do simulador

Não é simples explicar como é que os movimentos aparentes do Sol, da Lua ou das estrelas são observados a partir da Terra. Os estudantes sabem que o Sol nasce e põe-se diariamente, mas são surpreendidos quando descobrem que o Sol nasce e se põe em diferentes pontos a cada dia ou que as trajetórias do Sol variam de acordo com a latitude local. Os simuladores simplificam e explicam o fenómeno do Sol da meia-noite e a passagem do Sol pelo zénite. Em particular, os simuladores podem ser muito úteis para compreender o movimento de translação e justificar algumas diferenças de acordo com diferentes latitudes.

É fácil lembrar a forma e as características de cada constelação através de algumas histórias da mitologia e memorizar regras geométricas para encontrar constelações no céu. Mas isto apenas funciona numa determinada localização fixa, na Terra. Devido ao movimento da esfera celestial, um observador que vive no polo norte consegue ver todas as estrelas do hemisfério norte e um que vive no polo sul vê todas as estrelas no hemisfério sul. E o que é que um observador vê, a diferentes latitudes?

Simulador estelar. Por que existem estrelas invisíveis?

Tudo complica quando o observador vive numa zona que não é nenhum dos dois polos, situação da maioria dos observadores. Neste caso, as estrelas dividem-se em três categorias diferentes, em função dos seus movimentos observáveis (para cada latitude): circumpolares; estrelas com nascer e pôr, e estrelas invisíveis (figura 1). É evidente a surpresa das pessoas quando

descobrem que mesmo vivendo no hemisfério norte, podem observar algumas estrelas do hemisfério sul. Semelhante surpresa ao depararem-se com o fenômeno do Sol da meia-noite.

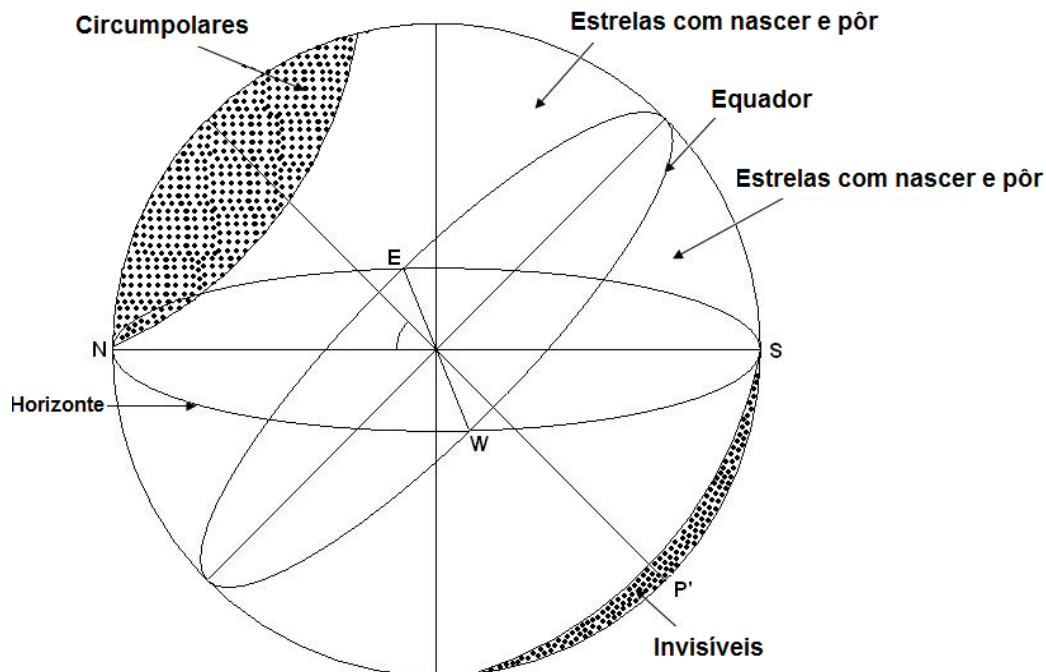


Fig. 1: As três diferentes categorias de estrelas (vistas de um determinada latitude): circumpolar, estrelas que nascem e se põe e estrelas invisíveis.

Dependendo da sua idade, a maioria dos estudantes compreende facilmente porque é que algumas estrelas são circumpolares a partir da localidade onde vivem. No entanto, é mais difícil que compreendam quais serão as estrelas circumpolares a partir de outro ponto de observação. Se questionarmos onde uma estrela específica (por exemplo Sirius) nasce e se põe, vista a partir de Buenos Aires, é difícil que os alunos respondam corretamente. Por isso, usaremos um simulador estelar para estudar os movimentos observados de diferentes estrelas, dependendo da latitude do observador.

O objetivo principal do simulador

O objetivo principal é descobrir quais das constelações são circumpolares, quais nascem e se põem e quais são invisíveis para uma latitude específica. Se mudarmos a latitude do observador, algumas constelações que eram circumpolares podem converter-se em constelações com nascer e pôr, ou pode ocorrer o oposto, tornarem-se invisíveis. Se observarmos a partir de um lugar de latitude próxima dos 45° N, é evidente que podemos ver muitas estrelas do hemisfério sul nascer e pôr-se todas as noites (figura 1).

No nosso caso, o simulador inclui algumas constelações que foram divididas conforme as suas diferentes declinações (sem considerar as suas ascensões retas porque não é o objetivo). É aconselhável utilizar constelações conhecidas pelos alunos. Estas podem variar em ascensão reta para dispor de constelações visíveis em diversos meses do ano (figura 2).

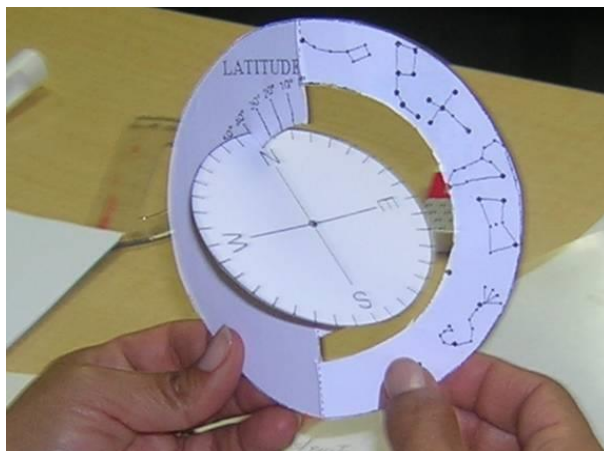


Fig. 2: Usando o simulador: este é um exemplo de simulador para o hemisfério norte usando constelações conforme a tabela 1.

Na escolha das constelações que serão desenhadas, é preciso escolher apenas as estrelas mais brilhantes, pois assim será mais fácil reconhecer a forma de cada uma delas. É preferível não utilizar as constelações que estão no mesmo meridiano, mas sim as mais conhecidas (tabela 1). Caso esteja interessado em fazer um simulador para cada estação do ano, pode construir quatro simuladores diferentes, um para cada estação, para o seu hemisfério. Deve utilizar constelações que possuem diversas declinações, mas com ascensão reta entre 21h e 3h para o outono (primavera), entre 3h e 9h para o inverno (verão), entre 9h e 14h para a primavera (outono) e finalmente entre 14h e 21h para o verão (inverno), para o hemisfério norte (sul).

<i>Constelação</i>	<i>Máxima declinação</i>	<i>Mínima declinação</i>
Ursa Menor	+90°	+70°
Ursa Maior	+60°	+50°
Cisne	+50°	+30°
Leão	+30°	+10°
Órion e Sirius	+10°	-10°
Escorpião	-20°	-50°
Cruzeiro do Sul	-50°	-70°

Tabela 1: Constelações que aparecem no simulador da figura 1.

Se considerarmos apenas uma estação, pode ser difícil escolher uma constelação entre, por exemplo, 90°N e 60°N, outra entre 60°N e 40°N, outra entre 40°N e 20°N, outra entre 20°N e 20°S, e assim sucessivamente, sem sobrepor nenhuma até atingir os 90°S. Se também desejamos selecionar constelações bem conhecidas pelos alunos, com apenas algumas estrelas brilhantes e que sejam suficientemente grandes para cobrir todo o meridiano, torna-se difícil atingir o nosso objetivo. Como as grandes, brilhantes e bem conhecidas constelações não cobrem todo o céu, ao longo de todo o ano, é mais fácil construir apenas um simulador para todo o ano.

Há também outro argumento para construir um único simulador. As diferenças relativas entre as estações só acontecem em certas latitudes de ambos os hemisférios.

Construção do simulador

Para obter um simulador adequado (figura 3a e 3b), uma boa ideia é colar ambos os pedaços (figuras 4 e 5) sobre uma cartolina antes de os recortar. É usual construir um simulador maior, com o dobro do tamanho para uso do professor.

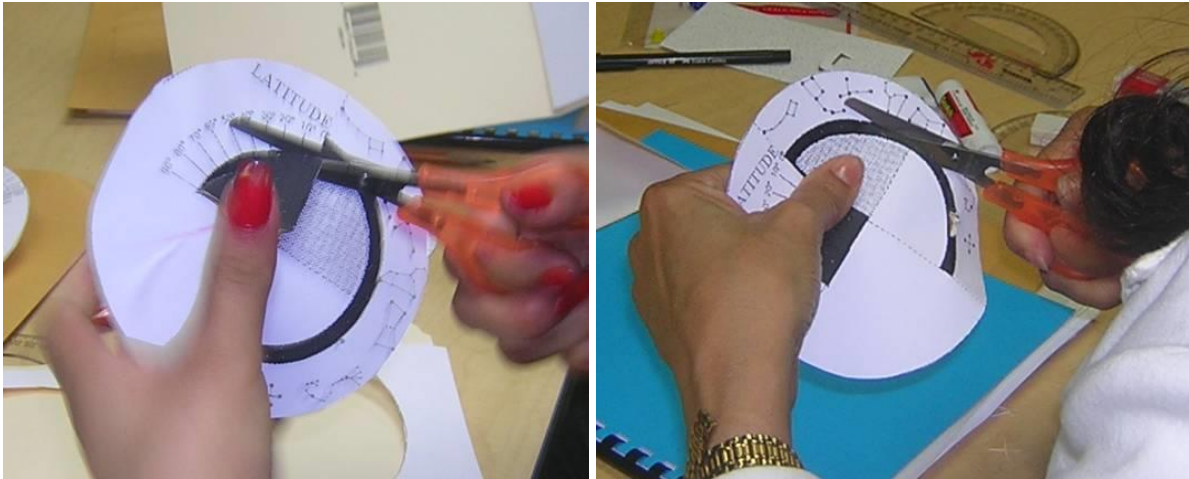


Fig. 3a e 3b: Construção do simulador estelar.

As instruções para a construção do simulador são as que se seguem.

Simulador para o hemisfério norte

- a) Faça uma fotocópia das figuras 4 e 5 numa cartolina.
- b) Recorte ambas as peças ao longo da linha contínua exterior (figuras 4 e 5).
- c) Retire as áreas pretas da peça principal (figura 4).
- d) Dobre a peça principal (figura 4) ao longo da linha pontilhada reta. É necessário dobrar bem a peça para facilitar o uso do simulador.
- e) Corte um encaixe pequeno no “N” do disco do horizonte (figura 5). O encaixe deve ser suficientemente grande para que a cartolina possa passar através dele.
- f) Cole o quadrante nordeste do disco do horizonte (figura 5) sobre o quadrante cinza da peça principal (figura 4). É muito importante ter a linha norte-sul de acordo com a linha dobrada da peça principal. Para além disso, o “W” no horizonte deve coincidir com a latitude 90° .
- g) Quando introduzir o disco do horizonte na peça principal, tenha o cuidado de o fazer de modo a que as duas peças fiquem perpendiculares.
- h) É muito importante colar cuidadosamente as diversas peças para obter a máxima precisão.

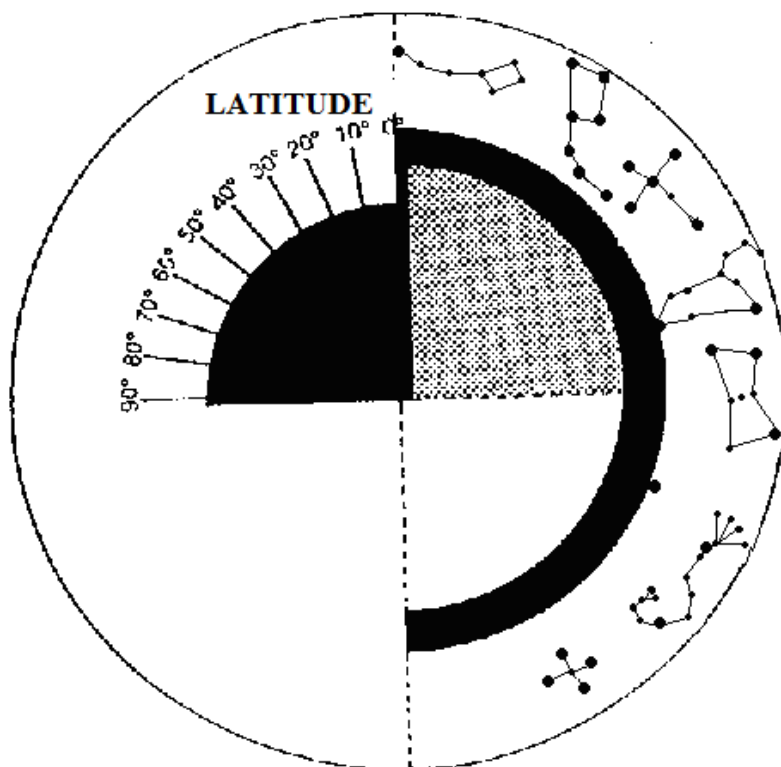


Fig. 4: Peça principal do simulador estelar para o hemisfério norte.

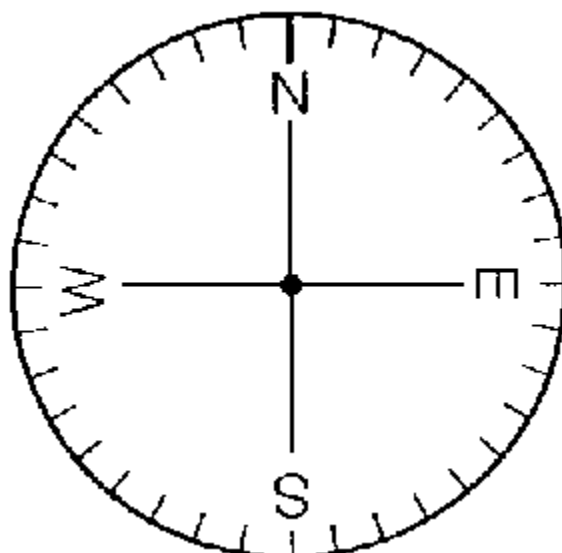


Fig. 5: Disco do horizonte.

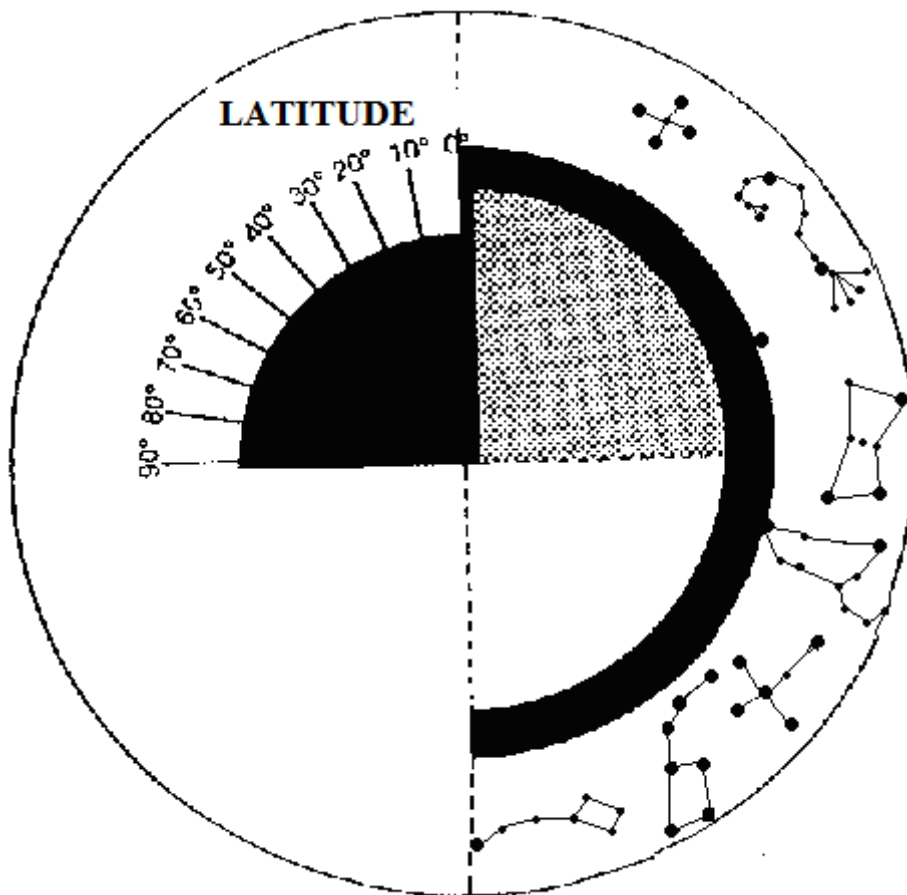


Fig. 6: Peça principal do simulador estelar para o hemisfério sul.

Simulador para o hemisfério sul

- Faça uma fotocópia das figuras 5 e 6 numa cartolina.
- Recorte ambas as peças ao longo da linha contínua exterior (figuras 5 e 6).
- Retire as áreas pretas da peça principal (figura 6).
- Dobre a peça principal (figura 6) ao longo da linha pontilhada reta. É necessário dobrar bem a peça para facilitar o uso do simulador.
- Corte um encaixe pequeno no “S” do disco do horizonte (figura 5). O encaixe deve ser suficientemente grande para que a cartolina possa passar através dele.
- Cole o quadrante sudoeste do disco do horizonte (figura 5) sobre o quadrante cinza da peça principal (figura 6). É muito importante ter a linha norte-sul de acordo com a linha dobrada da peça principal. Para além disso, o “E” no horizonte deve coincidir com a latitude 90°.
- Quando introduzir o disco do horizonte na peça principal, tenha o cuidado de o fazer de modo a que as duas peças fiquem perpendiculares.
- É muito importante colar cuidadosamente as diversas peças para obter a máxima precisão.

Escolha qual dos simuladores irá construir, dependendo do lugar onde vive. Também pode construir um simulador selecionando as constelações que quiser seguindo diferentes critérios.

Por exemplo, pode incluir apenas as constelações visíveis para uma única estação, ou as constelações visíveis num determinado mês, etc. Para isso, deve considerar somente as

constelações com ascensões retas entre dois valores específicos. Depois use a figura 7 para desenhar as constelações usando os seus valores da declinação. Tenha em consideração que cada setor corresponde a 10° .

Aplicações do simulador

Para começar a utilizar o simulador é preciso introduzir a latitude do local de observação. Podemos percorrer a superfície da Terra numa viagem imaginária usando o simulador.

Segure a peça principal do simulador (figura 4 ou 6) pela área em branco (abaixo do quadrante da latitude) com a sua mão esquerda. Seleccionada a latitude movendo o disco do horizonte até que corresponda com a latitude pretendida. Com a mão direita, mova a zona com as constelações desenhadas, da direita para a esquerda, várias vezes.

É possível observar quais são as constelações que estão sempre acima do horizonte (circumpolares), as constelações que nascem e se põem, e quais delas estão sempre abaixo do horizonte (invisíveis).

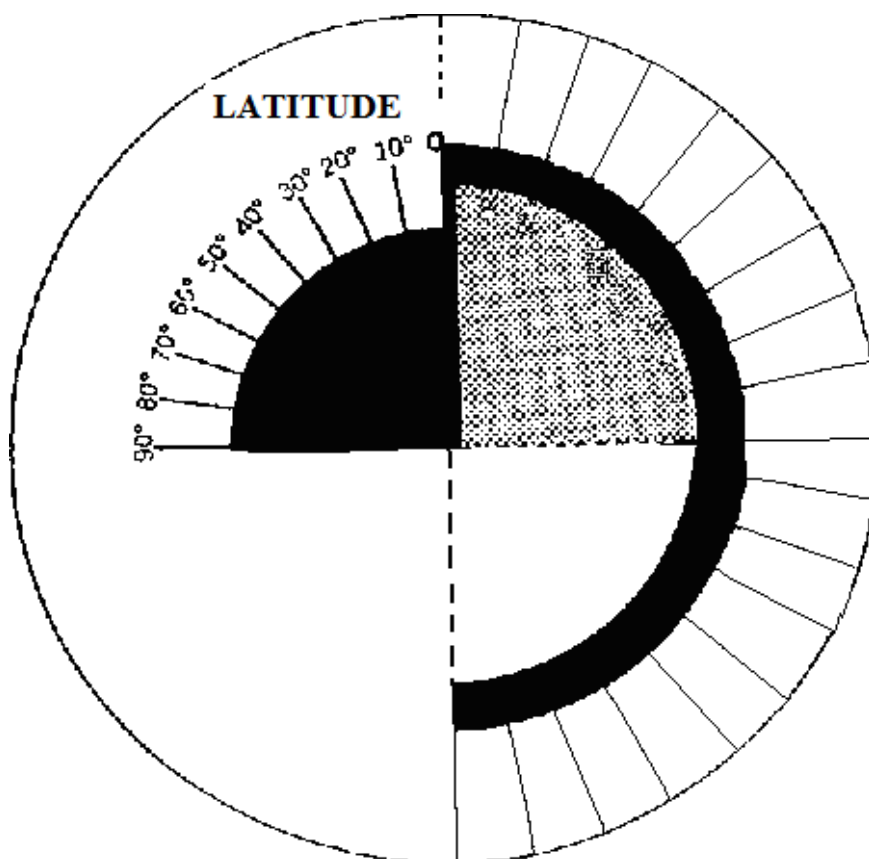


Fig.7: Peça principal do simulador estelar para qualquer hemisfério.

Inclinação dos traços das estrelas sobre o horizonte

Com o simulador é fácil observar que como é que o ângulo do traço das estrelas sobre o horizonte se altera com a latitude (figuras 8, 9 e 10).

Se o observador vive no equador (latitude 0°) este ângulo é de 90° . Por outro lado, se o observador vive no polo norte ou o polo sul (latitude 90°N ou 90°S), as trajetórias das estrelas são paralelas ao horizonte. Geralmente, se o observador vive numa localidade de latitude L , a inclinação dos traços das estrelas sobre o horizonte é $90^\circ-L$.

Podemos verificar isto analisando as figuras 8, 9 e 10. A figura da figura 8a foi tirada na Lapónia (Finlândia), a da figura 9a em Montseny (perto de Barcelona, Espanha) e a da figura 10a em San Luis Potosi (México). A latitude em Lapónia é maior que em Barcelona, e San Luis Potosi, logo a inclinação das trajetórias é menor.



Fig. 8a e 8b: Ocaso das estrelas em Enontekiö, Lapónia 68°N (Finlândia). O ângulo das trajetórias das estrelas, relativamente ao horizonte, é 90° menos a latitude. De notar que os rastros das estrelas são menores do que as da foto seguinte porque a existência de auroras forçou a uma exposição fotográfica menor (Foto: Irma Hannula, Finlândia).



Fig. 9a e 9b: Nascer das estrelas em Montseny 41°N (perto de Barcelona, Espanha). O ângulo das trajetórias das estrelas, relativamente ao horizonte, é 90° menos a latitude (Foto: Rosa M. Ros, Espanha).



Fig 10a e 10b. Traços das estrelas perto de Matehuala (México) 23°N. O ângulo das trajetórias das estrelas, relativamente ao horizonte, é 90° menos a latitude (a colatitude). (Foto: Luis J de la Cruz, México).

Usando o simulador desta forma é possível realizar diversas atividades:

- 1) Se introduzimos uma latitude igual a 90°N , o observador está no polo norte. Podemos ver que todas as constelações do hemisfério norte são circumpolares. Todas as do hemisfério sul são invisíveis e não há constelações com nascer e pôr.
- 2) Se a latitude é 0° , o observador está no equador e podemos ver que todas as constelações nascem e se põem (perpendicularmente ao horizonte). Nenhuma é circumpolar ou invisível.
- 3) Se a latitude é 20° (N ou S), há menos constelações circumpolares do que se a latitude fosse 40° (N ou S, respetivamente). Mas há bem mais estrelas que nascem e se põem se a latitude for 20° do que se for 40° .
- 4) Se a latitude for 60° (N ou S), há muitas constelações circumpolares e invisíveis, mas o número de constelações que nascem e se põem é reduzido, se comparamos com uma latitude de 40° (N ou S, respetivamente).

Simulador solar: porque é que o Sol não nasce sempre no mesmo ponto?

É simples explicar os movimentos do Sol observados da Terra. Os estudantes sabem que o Sol nasce e põe-se diariamente, mas surpreendem-se quando descobrem que nasce e põe-se em diferentes pontos a cada dia. Também é interessante considerar as diferentes trajetórias solares de acordo com a latitude local. E pode ser difícil tentar explicar o fenómeno do Sol da meia-noite ou da passagem solar pelo zénite. O simulador pode ser muito útil para entender o movimento da translação e justificar algumas diferenças para latitudes diferentes.

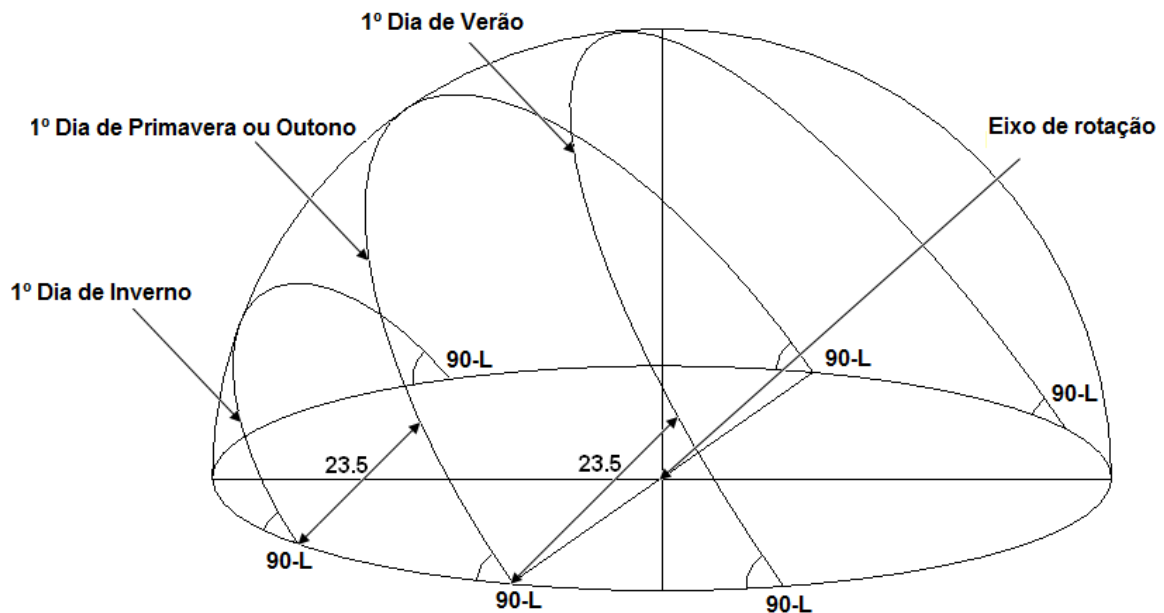


Fig.11: Três trajetórias solares (1º dia de primavera ou outono, 1º dia de verão e 1º dia de inverno).

Construção do simulador

Se desejarmos construir o simulador solar, é importante considerar a declinação solar, que muda diariamente. Então, precisamos construir um simulador que proporcione aos estudantes a possibilidade de alterar a posição do Sol de acordo com a época do ano (segundo a sua declinação). Para o primeiro dia de primavera e de outono, a declinação é 0° , o Sol movimentar-se ao longo do equador. No primeiro dia do verão (inverno no hemisfério sul), a declinação do Sol é $+23,5^\circ$ e no primeiro dia do inverno (verão no hemisfério sul) é $-23,5^\circ$ (figura 11). Devemos ter a possibilidade de alterar estes valores no modelo se desejarmos as trajetórias do Sol.

Para obter um bom simulador (figuras 12a e 12b), é uma ótima ideia colar os dois pedaços sobre uma cartolina antes de recortá-los. Também pode construir um simulador com o dobro do tamanho, para uso do professor.

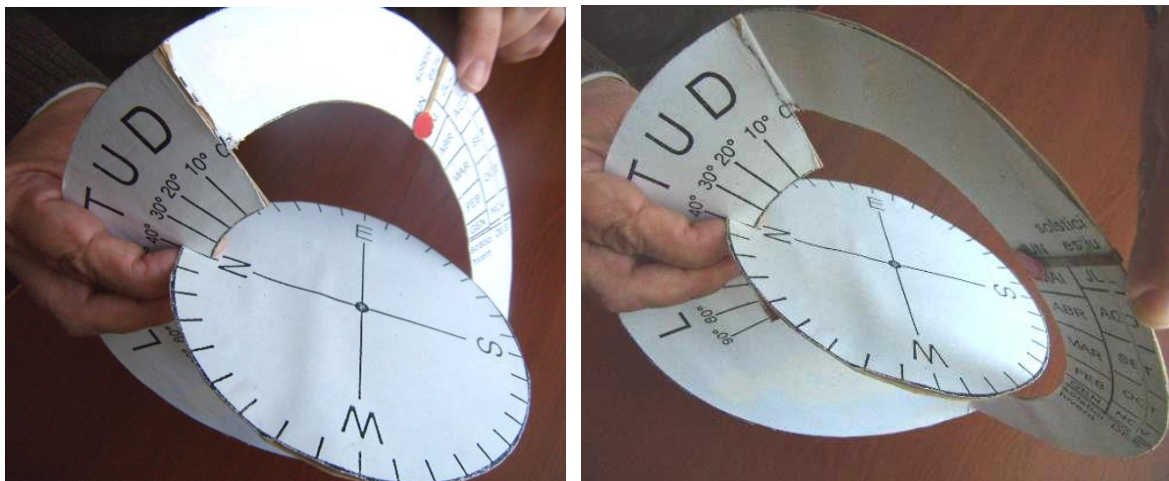


Fig. 12a e 12b: Preparação do simulador para o hemisfério norte com a latitude $+40^\circ$.

Instruções para a construção

Simulador para o hemisfério norte

- Faça uma fotocópia das figuras 13 e 14 (num papel mais grosso, ou cartolina, se puder).
- Corte as duas peças ao longo da linha contínua (figuras 13 e 14).
- Retire a área preta da peça principal (figura 13).
- Dobre a peça principal (figura 13) ao longo da linha pontilhada. É necessário dobrar bem a peça para facilitar o uso do simulador.
- Corte um encaixe pequeno no “N” do disco do horizonte (figura 14). Deve ser suficientemente grande para que a cartolina possa passar.
- Cole o quadrante nordeste do disco do horizonte (figura 14) sobre o quadrante cinza da peça principal (figura 13). É muito importante ter a linha Norte-Sul conforme a linha da dobradura da peça principal, e o ponto cardinal “W” a coincidir com a latitude 90° .
- Quando introduzimos a marca “N” do disco do horizonte (figura 14) dentro da zona da latitude, o disco do horizonte deve permanecer perpendicular à peça principal.
- É muito importante colar as peças cuidadosamente para obter a precisão máxima.
- Para colocar o Sol no simulador, pinte um círculo vermelho num pedaço de papel. Corte-o e fixe-o entre dois pedaços de fita adesiva transparente. Coloque esta faixa transparente na área da declinação da figura 13. A proposta é que seja fácil movimentar a faixa para cima e para baixo de modo a colocar o ponto vermelho no mês desejado.

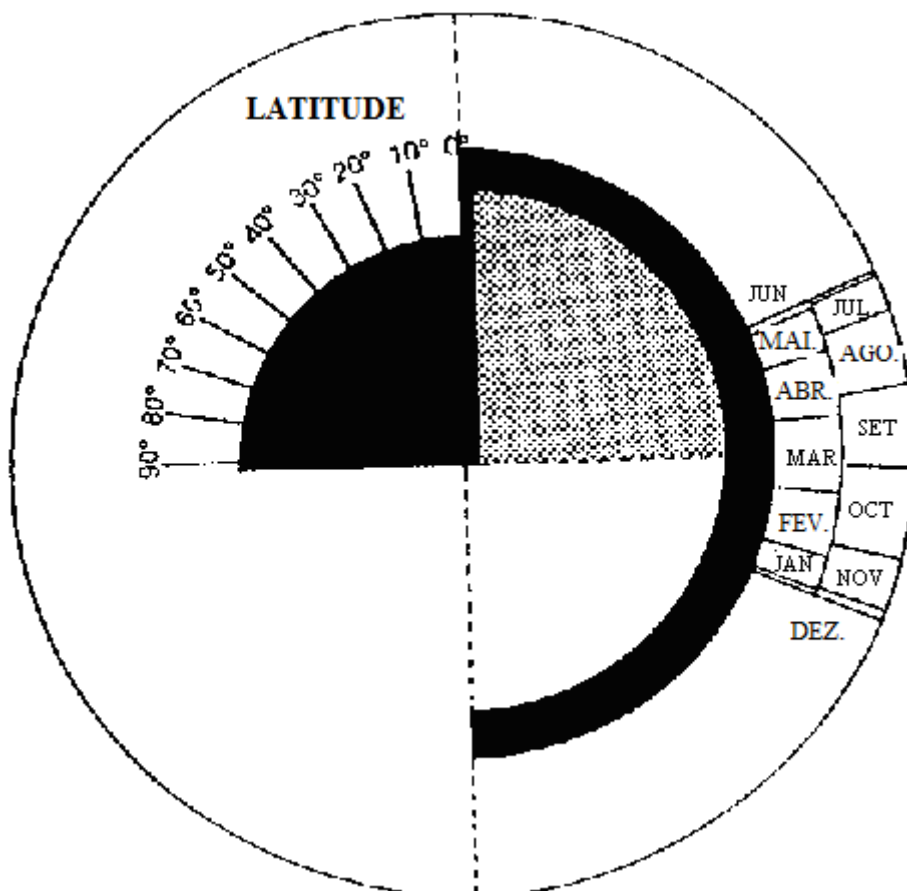


Fig. 13: Peça principal do simulador solar para o hemisfério norte.

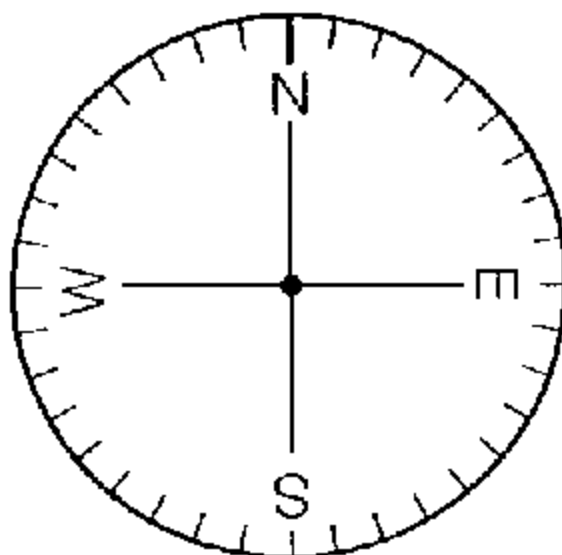


Fig. 14: Disco do horizonte.

Para construir o simulador solar para uso no hemisfério sul é necessário seguir um esquema semelhante, mas substituindo a figura 13 pela figura 15.

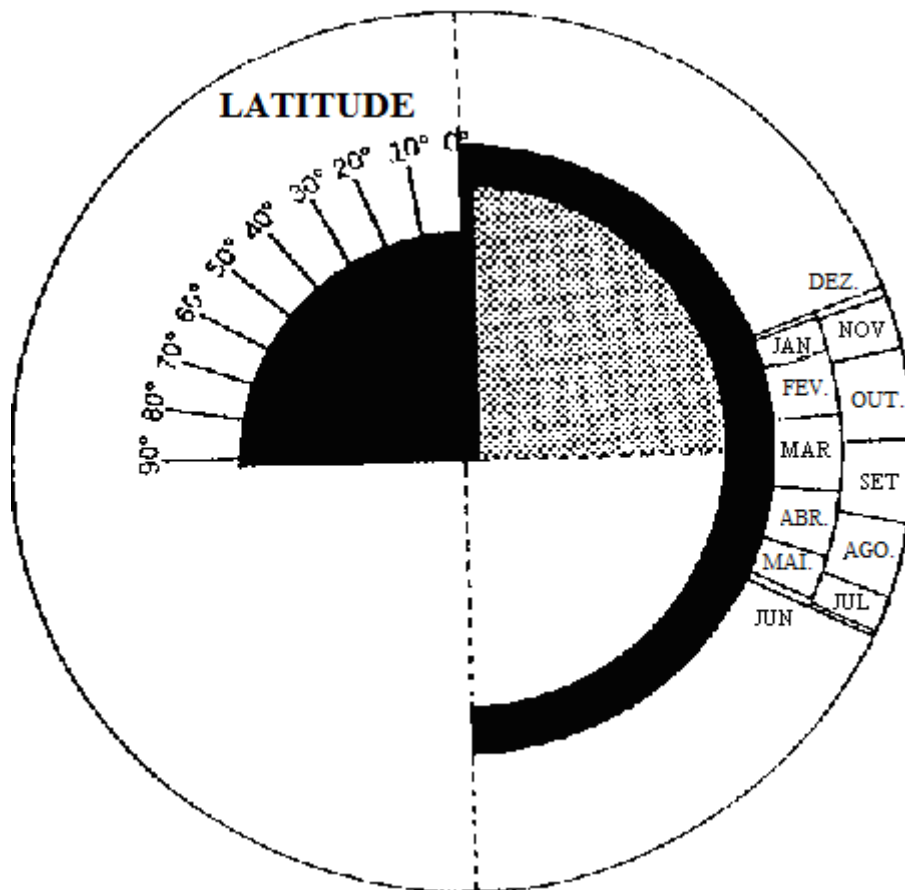


Fig. 15: Peça principal do simulador para o hemisfério sul.

Simulador para o hemisfério sul.

- Faça uma fotocópia das figuras 14 e 15 (num papel mais grosso, ou cartolina, se puder).
- Corte as duas peças ao longo da linha contínua (figuras 14 e 15).
- Retire a área preta da peça principal (figura 15).
- Dobre a peça principal (figura 15) ao longo da linha pontilhada. É necessário dobrar bem a peça para facilitar o manuseio do simulador.
- Corte um encaixe pequeno no “S” do disco do horizonte (figura 14). Deve ser suficientemente para que a cartolina possa passar.
- Cole o quadrante sudoeste do disco do horizonte (figura 14) sobre o quadrante cinza da peça principal (figura 15). É muito importante ajustar a linha Norte-Sul conforme a linha da dobra da peça principal, e o ponto cardeal “E” a coincidir com a latitude 90°
- Quando introduzimos a marca “S” do disco do horizonte (figura 14) dentro da zona da latitude, o disco deve permanecer perpendicular à peça principal.
- É muito importante colar as diversas peças cuidadosamente para obter a máxima precisão.
- Para colocar o Sol no simulador, pinte um círculo vermelho num pedaço de papel. Corte-o e fixe-o entre dois pedaços de fita adesiva transparente. Coloque esta faixa

transparente na área da declinação da figura 15. A proposta é que seja fácil movimentar a faixa para cima e para baixo de modo a colocar o ponto vermelho no mês desejado

Uso do simulador

Para utilizar o simulador é preciso introduzir a latitude selecionada. Percorreremos a superfície da Terra numa viagem imaginária usando o simulador.

Consideraremos 3 áreas:

1. Lugares na área Intermediária do hemisfério norte ou sul.
2. Lugares nas áreas polares.
3. Lugares nas áreas equatoriais

1. - Lugares na área intermediária do hemisfério norte ou sul: ESTAÇÕES DO ANO

- *Inclinação da trajetória do Sol sobre o horizonte*

Usando o simulador é fácil observar que o ângulo da trajetória do Sol sobre o horizonte depende da latitude. Se o observador vive no equador (latitude 0°) este ângulo é 90° . Se o observador vive no polo norte ou polo sul (latitude 90° ou -90°) a trajetória do Sol é paralela ao horizonte. Geralmente se o observador vive numa cidade da latitude L , a inclinação da trajetória do Sol no horizonte é $90-L$. Nas figuras 16a e 16b podemos verificar esta situação. A figura 16a foi fotografada em Lapónia (Finlândia) e a figura 17a em Gandia (Espanha). A latitude na Lapónia é maior que em Gandia, mas a inclinação da trajetória do Sol é menor. A fotografia da figura 18a foi tirada em Ladrilleros (Colômbia) a uma latitude de 4° e conseqüentemente a inclinação da trajetória do Sol é quase perpendicular ao horizonte, 86° .

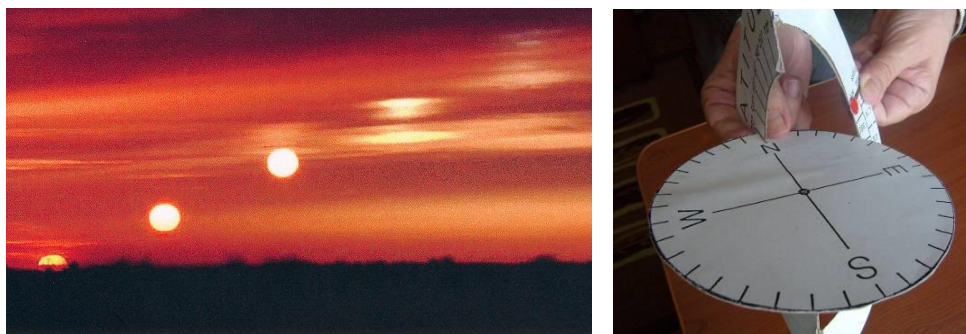


Fig. 16a e 16b: Nascer do Sol em Enontekiö na Lapónia (Finlândia). O ângulo da trajetória do Sol relativamente ao horizonte é a colatitude ($90^\circ - \text{latitude}$). (Foto: Sakari Ekko, Finlândia).



Fig. 17a e 17b: Nascer do Sol em Gandia (Espanha), de latitude $+41^\circ$. O ângulo da trajetória solar relativamente ao horizonte é 90° menos a latitude. (Foto: Rosa M. Ros, Espanha).

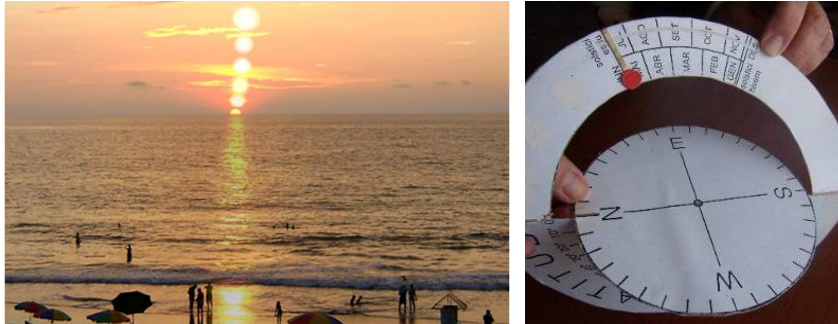


Fig 18a and 18b. Nascer do Sol em Ladrilleros (Colômbia). O ângulo da trajetória solar relativamente ao horizonte é a colatitude ($90^\circ - 4^\circ = 86^\circ$). (Foto: Mario Solarte, Colômbia).

- *Altitude da trajetória do Sol dependendo das estações*

1a) No hemisfério norte

Usando o simulador na sua cidade (introduza a latitude da sua cidade), é fácil verificar que a altitude do Sol acima do horizonte muda conforme a estação. Por exemplo, no primeiro dia de primavera, a declinação do Sol é 0° . Se situarmos o Sol em 21 de março e movermos o Sol sobre o equador, desde o Este ao Oeste, podemos ver que a trajetória do Sol possui uma determinada altura sobre o horizonte.

À mesma latitude repetimos a experiência para diferentes dias. Quando movemos o Sol ao longo do equador, no primeiro dia de verão, dia 21 de junho (declinação solar de $+23^\circ,5$), podemos observar que a trajetória do Sol é superior no primeiro dia de primavera. Finalmente repetimos a experiência para o primeiro dia de inverno, 21 de dezembro (com declinação solar $-23^\circ,5$). Podemos ver que neste caso a trajetória do Sol é mais baixa. No primeiro dia de outono a declinação é 0° e a trajetória do Sol seguirá o equador, de maneira semelhante à do primeiro dia de primavera.

Evidentemente que se mudarmos a latitude, a altitude das trajetórias do Sol muda, mas a mais alta corresponde sempre ao primeiro dia do verão e a mais baixa ao primeiro dia de inverno (figura 19a e 19b).



Fig. 19a e 19b: Trajetórias do Sol no verão e no inverno na Noruega. É evidente que o Sol movimentava-se mais acima no verão que no inverno. É por isso que há mais horas de luz do Sol durante o verão.

1a) No hemisfério sul

Usando o simulador na sua localização (introduza a latitude da sua localização), é fácil verificar que a altitude do Sol sobre a altitude do horizonte muda de acordo com a estação. Por exemplo, no primeiro dia de primavera, a declinação do Sol é 0° . Podemos posicionar o Sol no dia 23 de setembro e mover o Sol, exatamente sobre o equador, do horizonte Este em direção a Oeste. Podemos ver que a trajetória do Sol possui uma determinada altitude sobre o horizonte.

À mesma latitude repetimos a experiência para diferentes dias. Quando movemos o Sol ao longo do equador, no primeiro dia de verão, dia 21 de dezembro (declinação solar de $-23^\circ,5$), podemos observar que a trajetória do Sol é superior no primeiro dia de primavera. Finalmente repetimos a experiência, à mesma latitude, para o primeiro dia de inverno, 21 de junho (com declinação solar $+23^\circ,5$). Podemos ver que neste caso a trajetória do Sol é mais baixa. No primeiro dia de outono a declinação é 0° e a trajetória do Sol seguirá o equador, de maneira semelhante à do primeiro dia de primavera.

Evidentemente que se mudarmos a latitude, a altitude das trajetórias do Sol muda, mas a mais alta corresponde sempre ao primeiro dia do verão e a mais baixa ao primeiro dia de inverno.

Observações:

No verão, quando a altitude do Sol é máxima, a radiação solar “incide” mais perpendicular sobre o horizonte. Devido a isto, a radiação é concentrada numa área menor e o clima é mais quente. Também no período de verão, o número de horas de luz solar é maior que no inverno. Este efeito também aumenta a temperatura durante o verão.

– O Sol nasce e põe-se num lugar diferente todos os dias

Se nas experiências anteriores prestássemos atenção aos locais do nascer do Sol e/ou aos lugares do pôr-do-sol, poderíamos observar que não é no mesmo lugar, todos os dias. Particularmente,

a distância entre o nascer do Sol (ou o pôr) do primeiro dia de duas estações do ano consecutivas aumenta com o aumento da latitude (figuras 20a, 20b e 20c).



Fig. 20a, 20b e 20c: Pôr-do-sol em Riga, 57° (Letônia), Barcelona, 41° (Espanha) e Popayán, 2° (Colômbia) no primeiro dia de cada estação (esquerda/inverno, centro/primavera ou outono, direita/verão). Os pores-do-sol centrais das fotos estão na mesma linha. É fácil observar que os pores-do-sol de verão e de inverno em Riga (latitude maior) estão bem mais separados que em Barcelona e mais que em Papayán. (Fotos: Ilgonis Vilks, Letônia, Rosa M. Ros, Espanha, e Juan Carlos Martínez, Colômbia).



Fig. 21a: Nascer do Sol no primeiro dia de primavera ou de outono.

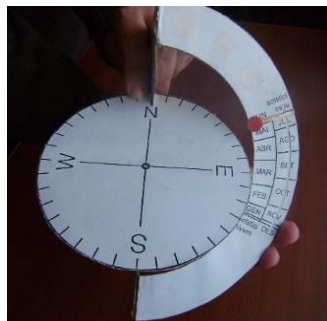


Fig. 21b: Nascer do Sol no primeiro dia de verão.



Fig. 21c: Nascer do Sol no primeiro dia de inverno.

É muito simples simular esta observação com o simulador. Basta marcar a posição do Sol em cada estação do ano, para dois lugares a diferentes latitudes, por exemplo 60°, 40° e 0° (figuras 21a, 21b e 21c).

As fotografias apresentadas nas figuras 20a, 20b e 20c correspondem ao hemisfério norte, mas a situação é semelhante no hemisfério sul (figuras 22a, 22b e 22c). Apenas muda a altura do ano das estações.



Fig. 22a, 22b e 22c: Pores-do-sol em Popayán, 2° (Colômbia), La Paz, -19° (Bolívia) e Esquel, -43° (Argentina) no primeiro dia de cada estação (esquerda/verão, centro primavera e/ou outono, direita/inverno). Os pores-do-sol centrais das fotos estão na mesma linha. É fácil observar que os pores-do-sol do verão e do inverno em Esquel (maior latitude, mais negativa) estão bem mais afastados que em La Paz. (Fotos: Juan Carlos Martínez, Colômbia, Gonzalo Pereira, Bolívia, e Néstor Camino, Argentina).

Observações:

O Sol não nasce exatamente a Este e não se põe exatamente a Oeste. Apesar de ser uma ideia geralmente aceita, não é verdadeira. Tal fenómeno apenas acontece em 2 dias do ano: o primeiro dia de primavera e o primeiro dia de outono, em todas as latitudes.

Outra factó interessante é que o Sol atravessa o meridiano (a linha imaginária que parte do polo norte, passa no zénite, e acaba no polo sul) ao meio dia (tempo solar), a todas as latitudes. Isto pode ser usado para orientação.

2. Regiões polares: SOL DA MEIA NOITE

- *Verão e inverno polares*

Se introduzirmos a latitude polar no simulador (+90° ou -90° dependendo do polo considerado) existem três possibilidades. Se a declinação do Sol é 0°, o Sol movimenta-se ao longo do horizonte, que também é o equador.

Se a declinação coincide com o primeiro dia de verão, o Sol movimenta-se paralelamente ao horizonte. De facto, o Sol move-se sempre paralelamente ao sobre o horizonte desde o segundo dia de primavera até ao último dia de verão. Isso significa meio ano de luz solar.

No primeiro dia de outono, o Sol move-se outra vez ao longo do horizonte. Mas a partir do segundo dia de outono até o último dia de inverno, o Sol move-se paralelamente ao horizonte, mas abaixo deste. Isso significa meio ano de noite.

Naturalmente, o exemplo anterior corresponde à situação extrema. Há outras latitudes nas quais as trajetórias do Sol não são paralelas ao horizonte. A essas latitudes não existem nasceres nem

pores-do-sol porque a latitude local é demasiada alta. Neste caso podemos observar o Sol da meia-noite.

- Sol da meia-noite

Se introduzirmos a latitude $+70^\circ$ no simulador (ou -70° no hemisfério sul) podemos simular o Sol da meia-noite. Se colocarmos o Sol no primeiro dia de verão, 21 de junho no hemisfério norte (21 de dezembro no hemisfério sul), podemos ver que o Sol não nasce nem se põe neste dia. A trajetória do Sol é tangente ao horizonte, mas nunca está abaixo dele. Este fenómeno é denominado “Sol da meia-noite”, porque o Sol é observável à meia-noite (figuras 23a e 23b).

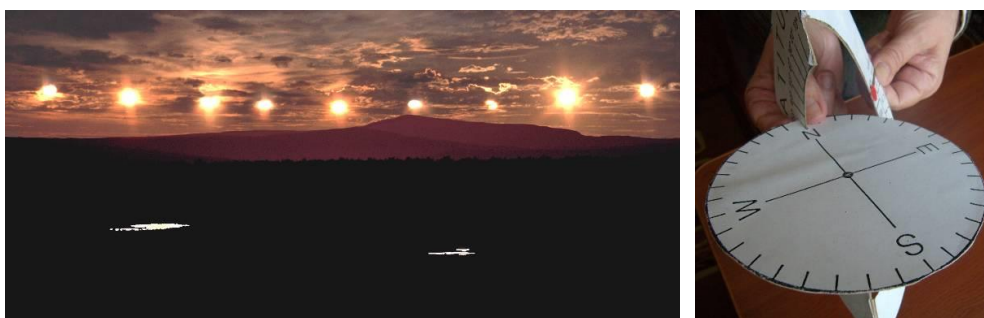


Fig. 23a e 23b: Trajetória do Sol da meia-noite em Lapónia (Finlândia). O Sol vai descendo para o horizonte, mas não se põe até que o Sol começa a subir novamente. (Foto: Sakari Ekko).

Nas latitudes polares ($+90^\circ$ ou -90°) o Sol aparece acima do horizonte durante metade do ano e abaixo do horizonte na outra metade. Usando o simulador é muito fácil entender esta situação (figuras 24a e 24b).

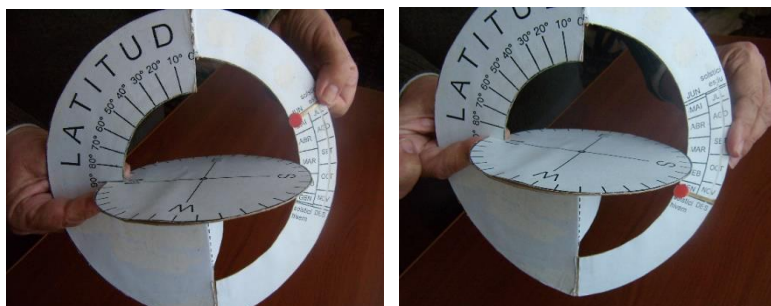


Fig. 24a e 24b: Simulador com o Sol por cima do horizonte durante meio ano e por baixo durante a outra metade.

3. Lugares na área equatorial: PASSAGEM ZENITAL DO SOL

- Passagem do Sol pelo zénite

Na zona equatorial as quatro estações do ano não são muito distintas. A trajetória solar é praticamente perpendicular ao horizonte e a altitude solar é praticamente igual durante todo o ano. A duração dos dias é muito semelhante (figuras 25a, 25b e 25c).

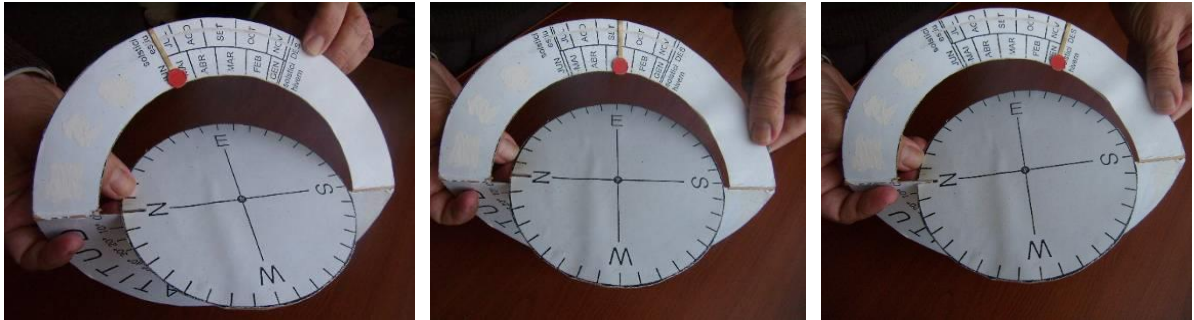


Fig. 25a, 25b e 25c: O Sol nasce no primeiro dia de cada estação do ano: esquerda – primeiro dia de verão; centro – primeiro dia de primavera e/ou outono; e, direita – primeiro dia de inverno. No equador a trajetória do Sol é perpendicular ao horizonte. O Sol nasce praticamente no mesmo ponto, ao longo do ano. A distância angular entre os nascer do Sol é de apenas $23^{\circ},5$, a obliquidade da eclíptica. Para latitudes maiores as trajetórias solares inclinam-se e as distâncias entre os três pontos de nascer do Sol aumentam (figuras 20a, 20b, 20c, 22a, 22b e 22c).

Por outro lado, nos países tropicais há alguns dias especiais: os dias em que o Sol passa pelo zênite. Nesses dias a luz do Sol atinge a superfície da Terra perpendicularmente ao equador. Devido a isto, a temperatura é mais quente e a sombra das pessoas desaparece sob os seus sapatos (figura 26a). Em algumas culturas antigas esses dias eram considerados muito especiais porque o fenómeno era facilmente observável. Ainda é o que acontece. Há dois dias por ano em que o Sol se encontra no zênite, para pessoal que vivam entre o Trópico de Câncer e o Trópico de Capricórnio. Podemos mostrar este fenómeno usando o simulador. Também é possível calcular aproximadamente a data em que isso ocorre, que depende da latitude (figura 26b).



Fig. 26a: Sombra reduzida (O Sol está praticamente no zênite num lugar perto do equador).

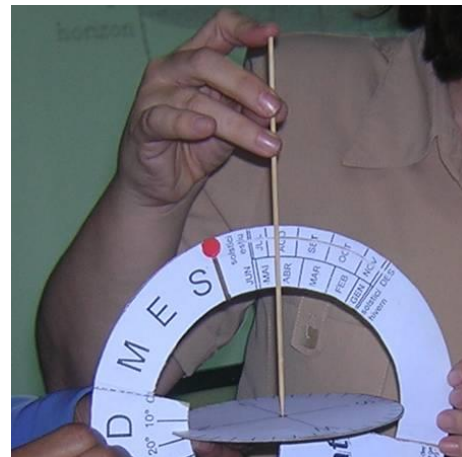


Fig. 26b: Simulando a passagem solar do Sol no zênite nas Honduras (latitude 15°).

Por exemplo, (figura 26b) se seleccionarmos um lugar de latitude 15°N , usando o simulador podemos calcular aproximadamente em quais dias o Sol fará a passagem pelo zênite, ao meio dia. Apenas é necessário utilizar um palito perpendicular ao disco do horizonte da figura 26b e observar que esses dias são no final de abril e em meados de agosto.

Simulador XXL

Naturalmente, o modelo apresentado pode ser construído com outros materiais, por exemplo, em madeira (figura 27a). Nesse caso possível reproduzir a posição do Sol com uma luz. Com uma câmara fotográfica, usando um tempo de exposição longo, é possível visualizar as trajetórias do Sol (figura 27c).



Fig. 27a: Simulador de grande tamanho feito em madeira (Foto: Sakari Ekko).

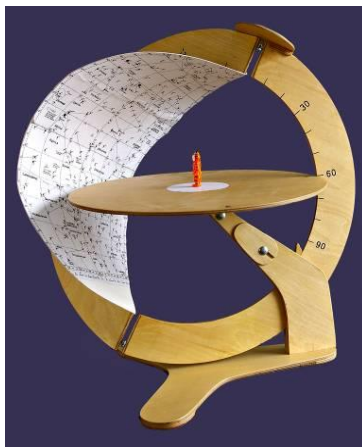


Fig. 27b: Simulador estelar em madeira (Foto: Sakari Ekko).



Fig. 27c: Com uma câmara fotográfica, e uma longa exposição, é possível simular a trajetória solar (Foto: Sakari Ekko).

Simulador para mostrar a Terra Paralela.

É possível introduzir uma bola de pingue-pongue no simulador e, assim, explicar-se de forma ágil o movimento anual aparente do Sol (tal como se faz com o modelo “da Terra Paralela”). Para tal, utilizaremos uma bola semelhante às de pingue-pongue, em vez do círculo do horizonte e modificaremos a peça principal introduzindo dois suportes para sustentar um elástico esticado que manterá a bola centrada (figura 28).

Furaremos a bola de pingue-pongue (ou outra do mesmo estilo), em dois pontos diametralmente opostos, de forma a podermos fixá-la na peça principal (como se pode ver na figura 30).

Ao mesmo tempo, o círculo de latitudes é suprimido: ele deixa de fazer sentido uma vez que toda a esfera terrestre é simulada utilizando uma bola de pingue-pongue (figura 29). Colocaremos então uma lanterna (ou a lanterna de um telemóvel) no mês correspondente à situação do Sol (onde é indicada a declinação do Sol). Quando trabalhamos no Hemisfério Sul, esta figura é análoga, mas com os meses dispostos de forma inversa (figura 30).

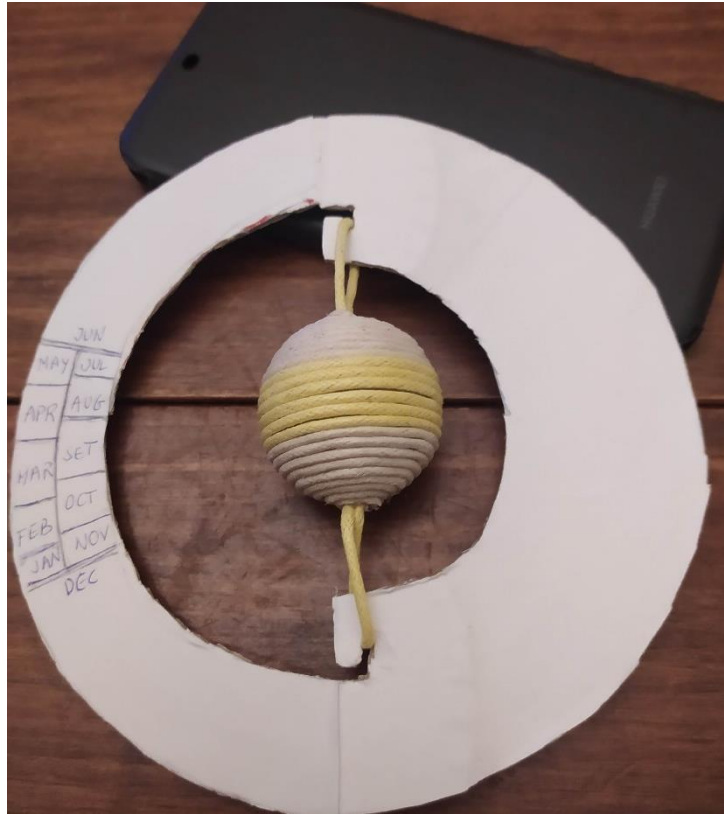


Fig. 28: simulador com a bola para simular a Terra paralela

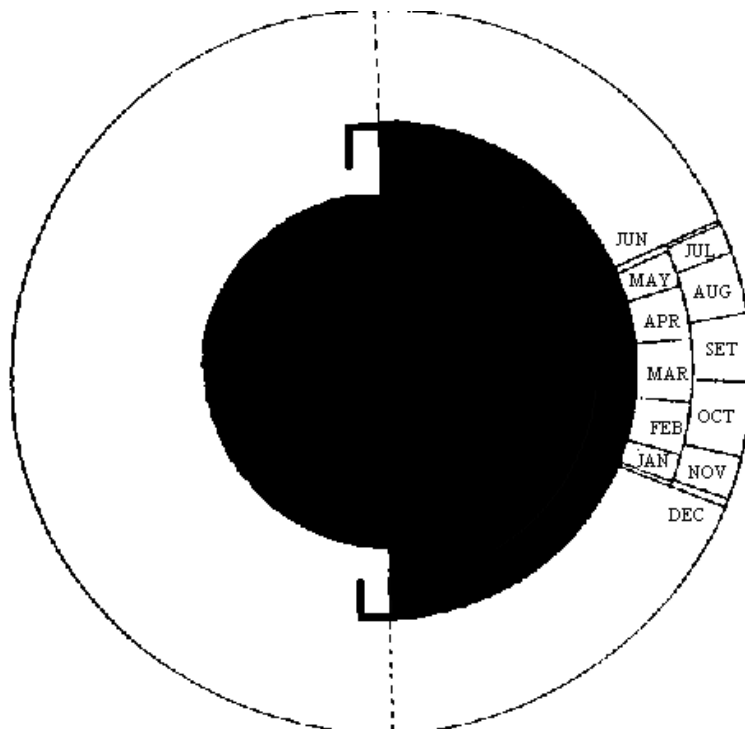


Fig. 29: componente do simulador onde a bola de pingue-pongue é fixada, para o Hemisfério Norte. É necessário imprimir (ou colar) esta figura num cartão ligeiramente espesso de forma que tenha força necessária para segurar a bola.

Colocando uma lanterna na posição do equinócio de verão, foi possível observar que a superfície do Polo Norte está iluminada, mas não a do Polo Sul (figura 31). Com a lanterna nos equinócios, a linha de luz/sombra passa exatamente pelos Polos Norte e Sul (figura 32). Finalmente, colocando-se a lanterna no solstício de inverno, consegue observar-se a zona iluminada do Polo Sul e a zona escura do Polo Norte (figura 33).

Na verdade, este pequeno simulador permite desenhar o Círculo Polar Ártico e o Círculo Polar Antártico, como círculos gerados pelas fronteiras das zonas de luz/sombra.

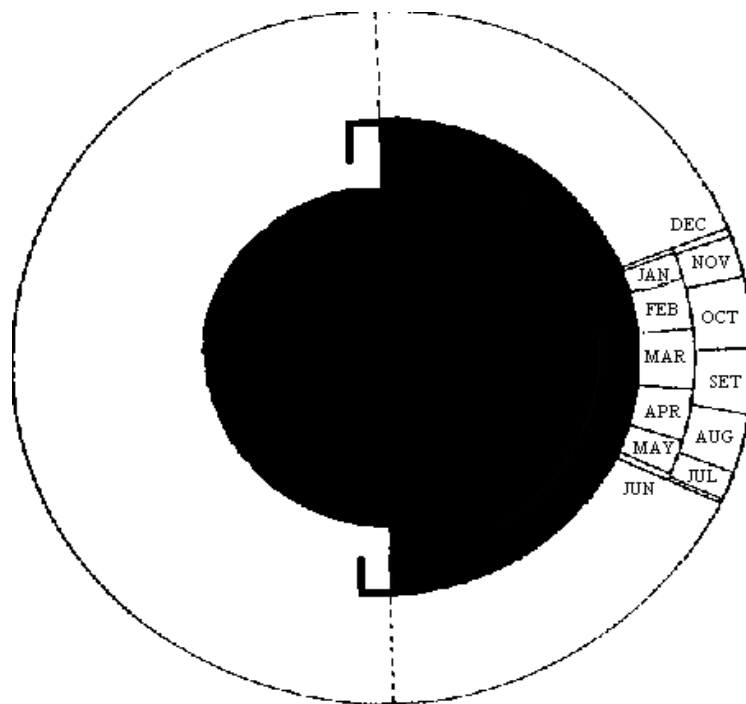


Figura 30: componente do simulador onde a bola de pingue-pongue é fixada, para o Hemisfério Sul. É necessário imprimir (ou colar) esta figura num cartão ligeiramente espesso de forma que tenha força necessária para segurar a bola.

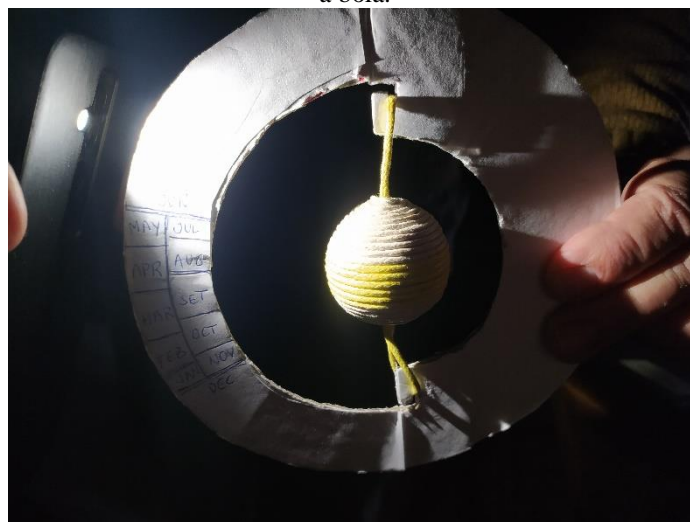


Fig. 31: verão no Hemisfério Norte e inverno no Hemisfério Sul

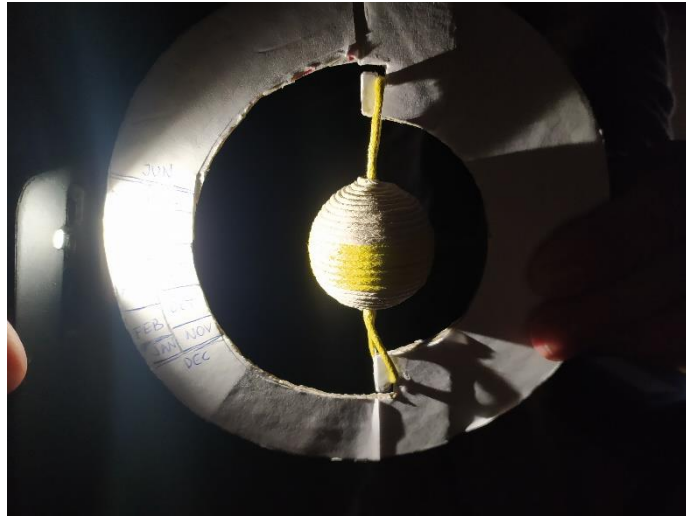


Fig. 32: equinócios nos dois hemisférios

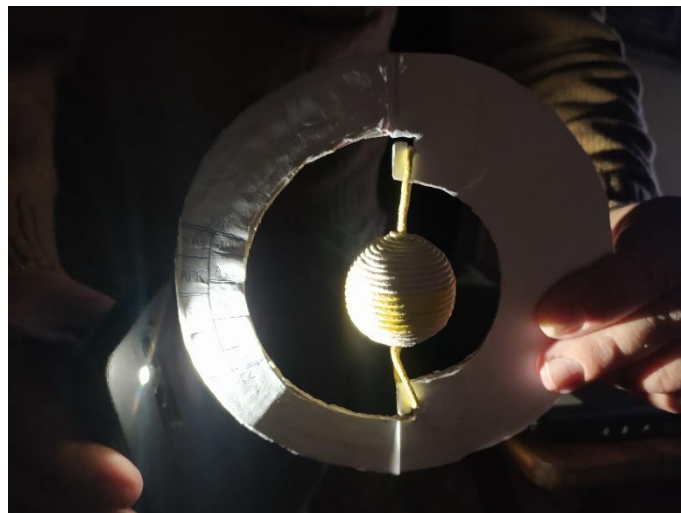


Fig. 33: inverno no Hemisfério Norte e verão no Hemisfério Sul

Simulador lunar: Porque é que às vezes a Lua sorri?

Quando ensinamos os estudantes acerca da Lua queremos que eles compreendam o porquê das fases da Lua. Os estudantes também devem compreender como, e porque, é que os eclipses acontecem. As fases da Lua são espetaculares e é fácil explicá-las com uma esfera e uma lanterna.

Modelos como os da figura 28 fornecem uma imagem da Lua crescente e das alterações sequenciais. Existe uma regra que diz que a Lua crescente é um “C” e a minguante um “D”. Esta técnica é verdade para os habitantes do hemisfério sul, mas não é possível utilizá-la no hemisfério norte onde se costuma dizer que a Lua é “mentirosa”.

O nosso modelo simulará as fases da Lua (figura 29) e mostrará porque é que a Lua se assemelha a um “C” ou um “D” dependendo da sua fase. Muitas vezes a Lua é observada no horizonte como mostrado na figura 29. Mas, conforme os países, é possível observar a Lua como um “C inclinado”, um “D” inclinado (figura 30a) ou, noutros casos, como um “U” (chamada “Lua sorridente”, figura 30b). Como podemos explicar isto? Usaremos o simulador lunar para compreender os diversos aspetos da Lua nas diversas latitudes.



Fig. 28: Fases da Lua.



Fig. 29: Fases da Lua no horizonte.

Se quisermos estudar os movimentos da Lua, devemos considerar também a sua posição relativamente ao Sol (que é o gerador de suas fases) e de sua declinação (já que a Lua também muda todos os dias, e mais depressa que o Sol). Por isso, devemos construir um simulador que proporcione aos estudantes a possibilidade de modificar facilmente a posição da Lua, se ela está mais ou menos próxima às sucessivas posições relativamente ao Sol, a uma declinação que varia consideravelmente ao longo de um mês. Efetivamente, vista da Terra, e no meio das estrelas, a Lua percorre num mês uma trajetória bastante próxima à do Sol num ano, seguindo a linha da “eclíptica” (com uma aproximação de mais ou menos 5° , por causa da inclinação de sua órbita).

A Lua encontra-se na direção do Sol quando é Lua nova. Quando é Lua cheia está numa posição oposta à eclíptica, e a sua declinação é oposta à do Sol (com um erro de 5°). Por exemplo, no solstício de junho, a Lua cheia encontra-se na posição do Sol no solstício de dezembro e sua declinação é negativa (entre -18° e -29°). O movimento diurno da Lua cheia em junho é semelhante à do Sol em dezembro.

Se considerarmos o quarto crescente, em forma de “D” no hemisfério norte (e “C” no hemisfério sul) sabemos que a Lua está a 90° relativamente ao Sol, embora muito “longe” do Sol na eclíptica (cerca de 3 meses de diferença). Em junho, a Lua em quarto crescente terá uma declinação próxima à declinação do Sol em setembro (0°). Em setembro terá uma declinação próxima à do Sol em dezembro ($-23,5^\circ$), etc...



Fig. 30a: Quarto de Lua inclinada.



Fig. 30b: Quarto de Lua sorridente.

Construção do simulador

O simulador lunar é construído a partir do simulador solar. Como no anterior, é necessário um modelo para simular as observações a partir do hemisfério norte e outro para o hemisfério sul (figuras 13 e 14 para o hemisfério norte, e 13 e 15 para o hemisfério sul). É, novamente, uma boa ideia construir um simulador maior, com o dobro do tamanho, para uso do professor.

Por exemplo, instalaremos sobre o simulador solar uma Lua em quarto minguante (em forma de “C” para o hemisfério norte, ou em forma de “D” para o hemisfério sul) no lugar do Sol e obteremos um simulador lunar, de acordo com as instruções seguintes.

Para colocar a Lua no simulador, recorte a figura 31b (Lua em quarto decrescente) e cole dois pedaços de fita transparente de tal forma que a Lua fique no meio, bem posicionada (“C” ou “D” conforme a fase escolhida). Coloque esta fita transparente na área do mês da figura 12 ou 14. A proposta é que seja fácil movimentar a faixa para cima e para baixo nesta área e desta forma posicionar no mês desejado.



Fig. 31a: Uso do simulador.



Fig. 31b: Quarto de Lua numa fita transparente.

Usos do simulador lunar

Para utilizar o simulador é necessário introduzir a latitude desejada. Usando o simulador, percorreremos a superfície da Terra numa viagem imaginária.

É necessário segurar com a mão esquerda a peça principal do simulador (figuras 32a e 32b) pela parte que está em branco (abaixo do quadrante da latitude). Seleccionada a latitude, mova o disco do horizonte até que atinja a latitude escolhida. Escolha o dia no qual desejamos simular o movimento da Lua decrescente. Acrescentar 3 meses a esse valor e colocar a Lua em quarto decrescente (figura 31b). O mês obtido pela posição da Lua é onde se encontrará o Sol dentro de 3 meses! Com a mão direita, desloque o disco que segura a Lua do Este para o Oeste.

Com o simulador do “hemisfério norte”, é possível ver que a aparência da Lua em quarto decrescente altera conforme a latitude e o dia do ano. Da perspectiva do boneco, o quarto decrescente da Lua aparece como um “C” ou um “U” sobre o horizonte.

- Se introduzimos uma latitude de $+70^\circ$ ou -70° podemos ver a Lua em quarto decrescente como um “C” a mover-se de Este para Oeste. Não importa o período do ano. Em todas as estações do ano a Lua parece um “C” (figura 32a).
- Se a latitude é $+20^\circ$ ou -20° , o observador está próximo dos trópicos e podemos ver que a Lua sorri como um “U”. A Lua movimenta-se de forma mais perpendicular ao horizonte do que no exemplo anterior (figura 33b). A forma de “U” não muda com o mês. Tem o mesmo aspeto todo o ano.
- Se a latitude é $+90^\circ$ ou -90° , o observador está nos polos e, conforme seja o dia considerado:
 - É possível ver a Lua como um “C” a movimentar-se numa trajetória paralela ao horizonte.
 - Não é possível ver a Lua, pois sua trajetória está abaixo do horizonte.
- Se a latitude é 0° , o observador está no equador e podemos ver a Lua em quarto decrescente sorridente como um “U”. A Lua nasce e põe-se perpendicularmente ao horizonte. Ela ocultar-se-á (próximo do meio dia) em forma de “U” e regressará em “∩”.



Fig. 32a: Simulador para a Latitude 70° Norte.



Fig. 32b: Latitude 20° Sul.

Para outros observadores que vivem nas latitudes intermediárias, as Luas em quarto decrescente nascem e põem-se numa posição intermédia entre “C” e “U”.

As explicações anteriores podem ser repetidas da mesma forma para a Lua em forma de “D”. Mais uma vez é necessário corrigir o dia (neste caso terá que subtrair 3 meses) ao situar a posição do Sol.

- - Se introduzimos um -70° de latitude (ou 70° sul) podemos ver a Lua decrescente como um “D” que se desloca de Este para a Oeste. Isto não depende da época do ano. Em todas as estações do ano a Lua aparece como um “D” (figura 33a).
- - Se a latitude é de -20° , (figura 32b) o observador está nos trópicos e vê a Lua levantar-se sorrindo como um “U”, provavelmente ligeiramente inclinada. A Lua move-se numa trajetória perpendicular ao horizonte ao contrário do exemplo anterior (figura 32b). A forma de “U” não modifica em função mês.
 - - Se é de latitude -90° , o observador está no Polo Sul e poderá, de acordo com a data:
 - Ver a Lua como um “D” que se movimenta numa trajetória paralela ao horizonte.
- Não observar a Lua, já que sua trajetória está abaixo do horizonte.
- - Na latitude 0° , da mesma forma que no simulador do hemisfério norte, o observador está no equador, e podemos ver o sorriso da Lua como um “U”. A Lua eleva-se perpendicular ao horizonte em forma de “U” e esconder-se-á (por volta do meio dia) em forma de “ Ω ”.

Para outros observadores que vivem em latitudes intermédias, a fase da Lua eleva-se e oculta-se em posições intermediária entre o “D” e o “U”, e é mais ou menos inclinada de acordo com a latitude do lugar de observação.

Estas explicações podem ser estabelecidas de maneira similar para quando a Lua aparece em forma de “C”, lembrando de subtrair 3 meses à posição do Sol.

Agradecimento: Os autores desejam agradecer a Joseph Snider pelo seu instrumento solar produzido em 1992 que serviu de inspiração para a produção de outros simuladores.

Bibliografia

- Ros, R.M., *De l'intérieur et de l'extérieur*, Les Cahiers Clairaut, 95, 1, 5, Orsay, France, 2001.
- Ros, R.M., *Sunrise and sunset positions change every day*, Proceedings of 6th EAAE International Summer School, 177, 188, Barcelona, 2002.
- Ros, R.M., *Two steps in the stars' movements: a demonstrator and a local model of the celestial sphere*, Proceedings of 5th EAAE International Summer School, 181, 198, Barcelona, 2001.
- Snider, J.L., *The Universe at Your Fingertips*, Frankoi, A. Ed., Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, 1995.
- Warland, W., *Solving Problems with Solar Motion Demonstrator*, Proceedings of 4th EAAE International Summer School, 117, 130, Barcelona, 2000.