

Experiências Simples com o Gnômon

Elementary experiments with the gnomon

Germano B. Afonso

*Departamento de Física, Universidade Federal do Paraná
Caixa Postal 19081, CEP 81531-990, Curitiba, PR, Brasil*

Trabalho recebido em 30 de junho de 1995

Neste trabalho apresentamos as primeiras experiências que estamos realizando no Jardim Astronômico de Curitiba (PR), utilizando o gnômon, para obter: a altura do Sol, o meio-dia solar, os pontos cardeais e as estações do ano. Em geral, as experiências com o gnômon, encontradas na literatura, são válidas apenas para lugares situados ao Norte do Trópico de Câncer ou ao Sul do Trópico de Capricórnio. Assim, fazemos uma análise detalhada, considerando todas as latitudes, tendo em vista que a maioria das cidades brasileiras localiza-se entre o Equador e o Trópico de Capricórnio, onde a observação é menos evidente.

Abstract

In this work we present the first experiments that we are performing in the Astronomic Garden at Curitiba, PR, utilizing the gnomon to obtain: the altitude of the Sun, the solar noon, the cardinal points and the seasons of the year. In general, the experiments with the gnomon described in the literature are held just for sites located at the North of the Tropic of Cancer and at the South of the Tropic of Capricorn. So, we perform a detailed analysis considering all the latitudes, because the majority of the Brazilian cities are localized between the Equator and the Tropic of Capricorn where the observation is less evident.

1. Introdução

Desde a pré-história o Homem observou que havia variações de temperatura e que os animais, as flores e os frutos vinham de acordo com as diferentes estações do ano. Assim, ele começou a registrar os fenômenos celestes, principalmente os movimentos aparentes do Sol.

Quase todos esses registros foram obtidos através de um dos mais antigos e simples instrumentos de Astronomia: o gnômon vertical. Ele consiste de uma haste cravada verticalmente no solo, da qual se observa a sombra, projetada pelo Sol, sobre um terreno horizontal. O gnômon foi utilizado, também, nas civilizações maiores: Egito (obeliscos), século XV a.C.; China, século XI a.C.; Grécia, século VII a.C.. O gnômon, simples bastão vertical, teve então um papel muito importante e as vezes subestimado no desenvolvimento da Astronomia.

Com o objetivo de fornecer métodos didáticos alternativos ao processo de ensino-aprendizagem nas disci-

plinas que envolvem Ciências, através de observações da Natureza e do Meio Ambiente, construímos em Curitiba (PR) o que chamamos de Jardim Astronômico¹. Ele ocupa uma área de cerca de 400m², no Centro Politécnico (UFPR) e consiste de uma pirâmide (gnômon) de 6 metros de altura e de flores que marcam, a partir dela, os quatro pontos cardeais e as posições do nascer, culminação e pôr do Sol em cada estação do ano. Idealizamos o Jardim Astronômico baseados na Arqueoastronomia; no entanto, no lugar de pedras para marcar as direções e os arcos, utilizamos flores da região que florescem nas respectivas estações do ano.

As experiências de Astronomia realizadas no Jardim Astronômico são as mesmas que podem ser feitas com o Gnômon: determinação do meio-dia solar, dos quatro pontos cardeais, das estações do ano, da altura do Sol, da latitude do lugar e da declinação do Sol. Além delas, elaboramos as seguintes experiências: observação do comportamento das flores da região em função das estações do ano (fotoperiodismo, insolação, etc.), deter-

minação da posição do Sol nas constelações zodiacais e previsão empírica dos eclipses².

Neste trabalho, para exemplos, utilizamos as seguintes cidades:

Curitiba, Paraná (Latitude = 25,43° Sul; Longitude = 49,27° Oeste), situada ao Sul do Trópico de Capricórnio; Salvador, Bahia (Latitude = 12,57° Sul; Longitude = 38,51° Oeste), situada entre o Equador e o Trópico de Capricórnio e Macapá, Amapá (Latitude = 0,04° Sul; Longitude = 51,09° Oeste), situada sobre o Equador.

2. Determinação da Altura do Sol (Fig. 1)

Podemos construir um gnômon com um pedaço de madeira (cabo de vassoura, por exemplo) cravado verticalmente no solo. Para verificarmos se a madeira se encontra na vertical amarramos uma pedra em um barbante (fio de prumo) e a suspendemos ao lado da madeira. Se a madeira ficar paralela ao barbante ela se encontra na vertical do lugar.

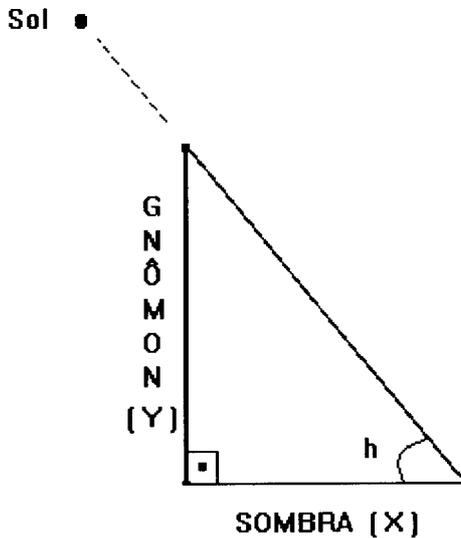


Figura 1. Altura do Sol [h].

Chamamos de altura do Sol (h) ao ângulo que ele forma com a linha do horizonte, contado verticalmente. A altura do Sol varia de 0° a 90° se ele estiver acima da linha do horizonte e de 0° a -90° se ele estiver abaixo dessa linha.

Para determinar a altura do Sol, em qualquer instante, medimos a altura do gnômon e o comprimento de sua sombra naquele instante.

Podemos medir com um transferidor a altura do Sol. Basta desenhar, em uma escala apropriada, o triângulo retângulo definido pela altura do gnômon e pelo comprimento da sombra.

Consideremos, por exemplo, a altura do gnômon igual a 1,25 metros e o comprimento da sua sombra igual a 1,05 metros. Desenhando a altura do gnômon como sendo 12,5cm devemos desenhar o comprimento da sombra como sendo 10,5cm. Assim, medimos diretamente o ângulo de aproximadamente igual a 50° que corresponde à altura do Sol, naquele instante.

Podemos, também, utilizar a seguinte relação trigonométrica:

$$\operatorname{tg}(h) = y/x$$

onde h = altura do Sol y = altura do gnômon x = comprimento da sombra.

Neste exemplo, teremos:

$$\operatorname{tg}(h) = \frac{1,25}{1,05} = 1,19$$

$$h = \operatorname{tg}^{-1}(1,19) = 49,96^\circ$$

3. Determinação dos Pontos Cardeais

Quando o Sol surge no horizonte a sombra projetada pelo gnômon é máxima. A medida que o Sol vai subindo, em relação à linha do horizonte, a sombra vai diminuindo até atingir um comprimento mínimo, quando o Sol atinge sua altura máxima. Depois, à medida que o Sol vai descendo, a sombra do gnômon muda de direção e aumenta, cada vez mais, até o pôr do Sol.

Quando a sombra do gnômon, projetada pelo Sol, é mínima temos o meio-dia solar (meio dia verdadeiro). Nesse instante, temos também a linha meridiana local (linha norte-sul)³.

Chamamos de culminação do Sol quando ele atinge sua altura máxima, isto é, ao meio-dia solar.

Ao meio-dia solar, em qualquer dia do ano, o Sol se localiza exatamente ao Norte ou ao Sul do observador e a sombra do gnômon ao Sul ou ao Norte. Em geral, para um observador no Hemisfério Sul, o Sol culmina ao Norte (sombra ao Sul), como está representado na Fig. 2. Os casos particulares serão analisados nos próximos itens.

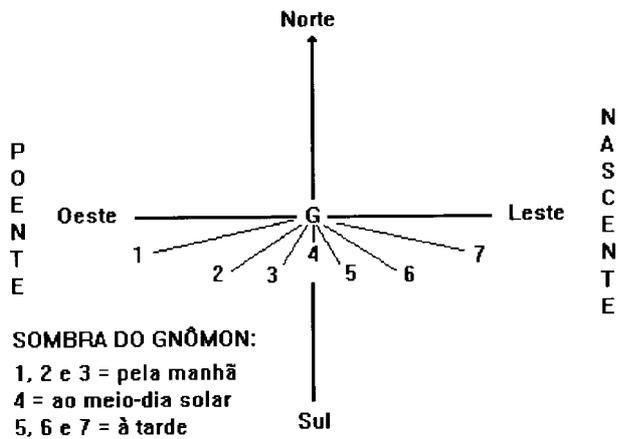


Figura 2. Variação diária da sombra do gnômon (G) e os pontos cardeais (gnômon visto de cima).

Com o gnômon no centro, ao meio-dia solar, traçamos uma reta paralela à direção Sol-sombra (linha norte-sul) e uma reta perpendicular à ela. No lado em que o Sol nasce temos o Leste e no lado em que ele se põe temos o Oeste. Podemos materializar, então, os quatro pontos cardeais (Fig. 2).

Em geral, o meio-dia solar (natureza) não coincide com o meio-dia (12h) de nossos relógios (convencional), variando em função da longitude do lugar de observação. Além disso, existem pequenas diferenças de tempo nos instantes que ocorrem o meio-dia solar, nos diversos dias do ano, para um mesmo lugar, porque o valor da velocidade do movimento de translação da Terra (revolução), em torno do Sol, não é constante.

Exemplos

A seguir, fornecemos os instantes de culminação do Sol (meio-dia solar) nos dias do início das quatro estações do ano, nas três cidades escolhidas:

Curitiba: Outono = 12h e 24min.; Inverno = 12h e 19min.; Primavera = 12h e 10min.; Verão = 12h e 15min.;

Salvador: Outono = 11h e 41min.; Inverno = 11h e 36min.; Primavera = 11h e 27min.; Verão = 11h e 32min.;

Macapá: Outono = 12h e 32min.; Inverno = 12h e 26min.; Primavera = 12h e 17min.; Verão = 12h 23min..

Esses instantes foram calculados para o ano de 1996; eles são válidos para qualquer outro ano, aproximadamente, com uma diferença máxima de cinco minutos, acima ou abaixo desses valores.

4. Determinação das Estações do Ano

A vertical de um lugar, que passa pelo observador e que parece atingir o céu em um ponto bem acima da sua cabeça (altura igual a 90°) recebe o nome de zênite do observador.

As linhas dos trópicos limitam a região da superfície da Terra na qual o Sol passa pelo zênite do observador, ao meio-dia solar (Fig. 3).

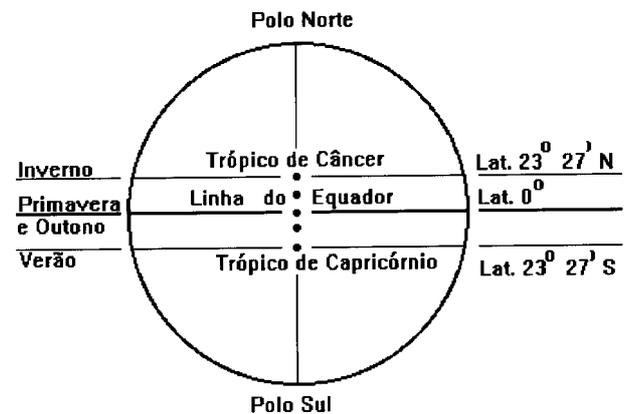


Figura 3. Culminação do Sol (●) na linha norte - sul (meio-dia solar) e estações do ano no Hemisfério Sul.

Em relação à linha do Equador, cuja latitude é 0°, o Trópico de Câncer fica ao Norte (latitude = 23°27' Norte) e o Trópico de Capricórnio ao Sul (latitude = a 23°27' Sul).

Quando o Sol se encontra sobre o Trópico de Câncer é verão no Hemisfério Norte e inverno no Hemisfério Sul. Quando ele se encontra sobre o Trópico de Capricórnio é verão no Hemisfério Sul e inverno no Hemisfério Norte. Quando o Sol se encontra sobre o Equador é outono ou primavera em um dos hemisférios e primavera ou outono no outro.

Assim, nos instantes dos equinócios (primavera e outono) o Sol se encontra sobre o Equador, enquanto que nos solstícios (inverno e verão) ele se encontra o mais afastado possível do Equador.

Em 1996 (ano bissexto), no Hemisfério Sul, o início das estações do ano ocorre nos seguintes dias: 20 de março (outono), 20 de junho (inverno), 22 de setembro (primavera) e 21 de dezembro (verão). Em 1997, temos: 20 de março (outono), 21 de junho (inverno), 22 de setembro (primavera) e 21 de dezembro (verão). Nos outros anos elas ocorrem aproximadamente nos mesmos dias.

Observando a sombra do gnômon, ao meio-dia solar (linha norte-sul), nos diversos dias do ano, verificamos que ela varia de comprimento, indo consecutivamente para uma mesma extremidade depois de transcorrido aproximadamente um ano. Uma das extremidades da sombra corresponde ao verão e a outra ao inverno. O outono e a primavera correspondem ao ponto em que a altura do Sol é a média das duas alturas extremas (inverno e verão) e não fica necessariamente no meio das duas extremidades da sombra. Assim, observando a sombra por diversos anos, ao meio-dia solar, como faziam os antigos povos, podemos determinar os dias de início de cada uma das quatro estações do ano.

A seguir analisaremos os comprimentos dessas sombras para locais situados ao Sul do Trópico de Capricórnio, na linha do Equador e entre a linha do Equador e o Trópico de Capricórnio.

Nas figuras 4, 5 e 6 utilizamos as seguintes notações:

I = posição do Sol no inverno;

SI = extremidade da sombra no inverno;

PO = posição do Sol na primavera e no outono;

SPO = extremidade da sombra na primavera e no outono;

V = posição do Sol no verão;

SV = extremidade da sombra no verão.

4.1. Sul do Trópico de Capricórnio (Fig. 4):

Ao Sul do Trópico de Capricórnio o Sol nunca passa pelo zênite e, conseqüentemente, o gnômon sempre projeta sombra ao meio-dia solar. Assim, em locais cujas latitudes sejam superiores a 23 graus e 27 minutos ($23,45^\circ$) Sul, tais como as cidades de Curitiba(PR), Florianópolis(SC) e Porto Alegre(RS) o Sol estará ao Norte e a sombra ao Sul, na culminação, em qualquer dia do ano.

Nessa região, quando o comprimento da sombra, ao meio-dia solar, for máximo temos o inverno, quando ele for mínimo temos o verão e quando ele estiver em uma posição entre esses dois pontos extremos (não necessariamente no meio) temos o outono e a primavera. Isso ocorre porque, ao meio-dia solar, no verão o Sol se encontra mais alto (sombra mais curta) em relação à linha do horizonte, no inverno mais baixo (sombra mais comprida) e na primavera/outono em uma posição intermediária.

Ao Sul do Trópico de Capricórnio, a altura máxima

do Sol corresponde ao meio-dia solar do dia do verão. Em nenhum dia do ano o Sol passa pelo zênite.

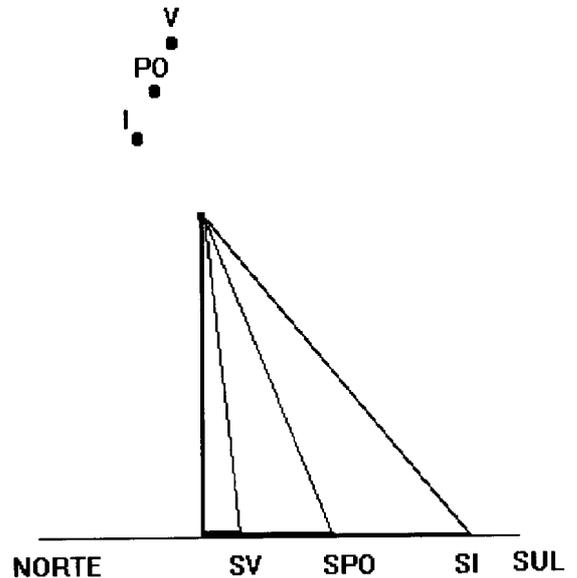


Figura 4. Posições do Sol e da sombra ao meio - dia solar ao sul do Trópico de Capricórnio.

Exemplo

Em Curitiba, Paraná (Latitude = $25,43^\circ$ Sul), situada ao Sul do Trópico de Capricórnio, vemos que a altura e a localização do Sol, nas estações do ano, ao meio-dia solar, são:

$$h(\text{Inverno}) = 41,12^\circ \text{ Norte}$$

$$h(\text{Primavera e Outono}) = 64,57^\circ \text{ Norte}$$

$$h(\text{Verão}) = 88,02^\circ \text{ Norte}$$

4.2. Entre o Equador e o Trópico de Capricórnio (Fig. 5):

Para um observador situado entre o Equador e o Trópico de Capricórnio, o Sol se localiza ao Norte e a sombra do gnômon ao Sul, no inverno, na primavera e no outono, ao meio-dia solar. Entre o dia da primavera e o dia do verão, ao meio-dia solar, o Sol pode estar ao Sul ou ao Norte do observador, dependendo da latitude do lugar e do dia em que ele fizer a observação. No verão, ao meio-dia solar, o Sol estará ao Sul e a sombra ao Norte.

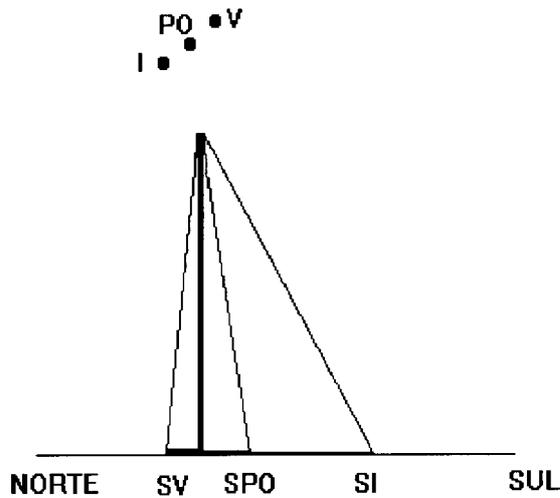


Figura 5. Posições do Sol e da sombra ao meio-dia solar entre o Equador e o Trópico de Capricórnio.

Nesses locais, em dois dias do ano, ao meio-dia solar, o Sol passa pelo zênite, entre a primavera e o verão. No entanto, nenhum desses dias corresponde ao dia do verão. Isso significa que esses dois dias deveriam ser os mais quentes do ano, se a temperatura dependesse apenas do ângulo de incidência dos raios solares.

Exemplo

Em Salvador, Bahia (Latitude = 12,57°), situada entre o Equador e o Trópico de Capricórnio, vemos que a altura e a localização do Sol, nas estações do ano, ao meio-dia solar, são:

- h(Inverno) = 53,98° Norte
- h(Primavera e Outono) = 77,43° Norte
- h(Verão) = 79,12° Sul

4.3. Sobre a Linha do Equador (fig. 6):

Na linha do Equador, o Sol passa a pino, isto é, a uma altura de 90 graus (zênite) nos dias de outono e de primavera, ao meio-dia solar. Isso ocorre porque nesses dias o Sol está sobre a linha do Equador. Portanto, o gnômon não projeta sombra, ao meio-dia solar, nesses dois dias.

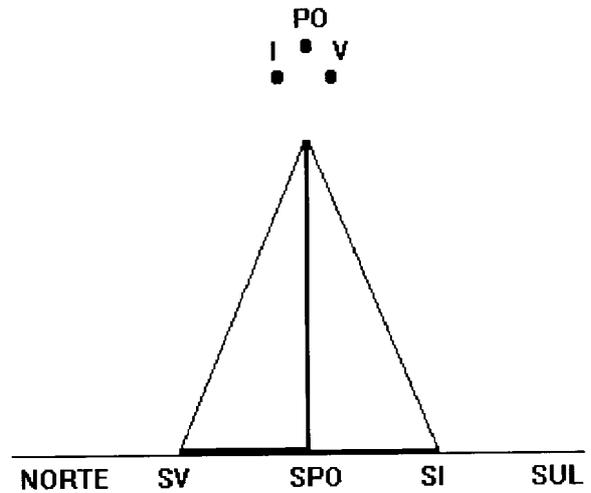


Figura 6. Posições do Sol e da sombra ao meio - dia solar no Equador.

Nesses lugares o Sol se afasta 23° 27' para o Sul no verão e para o Norte no inverno (estações do ano do Hemisfério Sul).

Observando a altura do Sol durante todo o ano vemos que a altura máxima corresponde aos dias de equinócios (primavera e outono).

No Equador, ao meio-dia solar, na primavera e no outono, o Sol se encontra a pino, isto é, no zênite do observador. Assim, os dois dias mais quentes do ano seriam o início do outono e da primavera.

No verão o Sol se localiza ao Sul e no inverno ao Norte, sendo essas estações do ano correspondentes ao Hemisfério Sul.

Exemplo

Em Macapá, Amapá (Latitude = 0,04 Sul), situada no Equador, vemos que a altura e a localização do Sol, nas estações do ano, ao meio-dia solar, são:

- h(Inverno) = 66,51° Norte
- h(Primavera e Outono) = 90° Zênite
- h(Verão) = 66,51° Sul

As alturas apresentadas nestes três últimos exemplos são médias, podendo variar cerca de um grau, acima ou abaixo desses valores. Para o Hemisfério Norte as situações se invertem em relação às apresentadas para o Hemisfério Sul, bastando trocar o Norte pelo Sul nas figuras 3, 4 e 5. Assim, por exemplo, ao Norte do Trópico de Câncer, o Sol sempre estará ao sul e a sombra ao norte, ao meio-dia solar.

Conclusão

Com as experiências aqui apresentadas, os estudantes aprendem a reconhecer, observando o movimento do Sol, como os antigos povos estabeleciam seus calendários e obtinham, com uma boa precisão, os quatro pontos cardeais.

As pessoas, em geral, pensam que o verão corresponde ao dia em que o Sol se encontra mais alto, em relação à linha do horizonte. Neste trabalho mostramos que isso acontece somente para localidades situadas ao Sul do Trópico de Capricórnio. Para localidades situadas no Equador e entre o Equador e o Trópico de Capricórnio, o Sol culmina no zênite duas vezes por ano e em dias que não correspondem ao dia do início do verão. Caso a temperatura dependesse apenas da posição do

Sol, esses seriam os dias mais quentes do ano nessas regiões.

Esses são alguns dos conceitos básicos que o estudante pode obter simplesmente observando a sombra de um gnômon.

Referências

1. G. B. Afonso et Th. M. Nadal, *Un Jardin Astronomique*, Cahier Clairaut, 63, 11-15, 1993.
2. G. B. Afonso, *A Arqueoastronomia e os Eclipses*, Apostila do Eclipse, IAG/USP, 142-150, 1994.
3. R. Boczko, *Conceitos de Astronomia*, Editora Edgard Blücher Ltda., 1984.