

---

# Gravitação - IME

4310256 Turmas 47 e 48 – 6a-f, 19h – 23h  
Sala B16 Depto de Matemática - IME

Prof. Luis Gregório Dias da Silva  
Depto. Física Materiais e Mecânica – IF – USP  
Ed. Alessandro Volta, bloco C, sala 214  
luisdias@if.usp.br

Página do curso ([Stoa -> Cursos -> IF -> 430 -> 4300156](#))  
<http://disciplinas.stoa.usp.br/course/view.php?id=7642>

Avisos via Twitter: <https://twitter.com/ProfLuisDias>

---

---

# O que será abordado neste curso:

## *O Caminho até a Teoria da Gravitação de Newton:*

### Parte 1 (4 aulas)

- Conceitos básicos de Astronomia: Movimento do Sol e dos Corpos Celestes, esfera celestes, “laçadas dos planetas”.
- Descobertas da Antiguidade: Aristarco, Eratóstenes, Hiparco

### Parte 2 (4 aulas)

- Modelo de Ptolomeu (séc II): Epiciclos e deferentes.
- Copérnico e Tycho Brahe (séc XV) e Galileu (séc XVI-XVII).

### Parte 3 (4-5 aulas)

- Leis de Kepler (séc XVI-XVII) do movimento dos planetas.
  - Teoria de Gravitação de Newton (séc XVII).
-

---

# Bibliografia:

- Notas de aula do professor – em pdf (PowerPoint das aulas)  
Disponíveis no site da disciplina.

- Roberto Boczko, *Conceitos de Astronomia*, Ed. Edgard Blücher (1984)  
– Vários Capítulos.

A parte inicial de Astronomia está baseada neste livro.

- Notas de aula do prof. João Zanetic.

Boa discussão dos aspectos históricos, de Aristóteles a Newton.

- Notas de aula do prof. Dennis Duke – Florida State University:  
<http://people.sc.fsu.edu/~dduke/lectures/>

Importante referência para a parte sobre o Modelo de Ptolomeu.

- H. Moisés Nussenzveig, *Curso de Física Básica*, vol. 1, Cap. 10.  
O Capítulo de Gravitação do Moisés é a “espinha dorsal” do curso.
-

# Calendário e datas:

2015 – 2º sem - CALENDÁRIO - Gravitação - 4300156								
	Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sab	atividade
julh	26	27	28	29	30	31	1	
	2	3	4	5	6	7	8	7/ago - Não haverá aula: início das aulas no dia 14/08
agosto	9	10	11	12	13	14	15	Aula 1: Apresentação do curso; Conceitos básicos de astronomia: gnômon, movimento do sol, ano solar, equinócios e solstícios.
	16	17	18	19	20	21	22	Aula 2: Determinação do raio da Terra por Eratóstenes; Sistema Horizontal de referência; Esfera celeste, movimento diário dos astros
	23	24	25	26	27	28	29	Aula 3: Movimento anual do Sol, Eclíptica, Estações do ano. Movimento da Lua: fases da Lua, Eclipses;
setembro	30	31	1	2	3	4	5	Aula 4: Cálculo da distância da Terra à Lua por Hiparco. Distância da Terra ao Sol (Aristarco).
	6	7	8	9	10	11	12	7 a 11/ set Semana da Pátria
	13	14	15	16	17	18	19	Prova 1
	20	21	22	23	24	25	26	Aula 5: "Almagesto" de Ptolomeu: números em base 60, ângulos em cordas. Ano solar: modelo de Hiparco e de Ptolomeu.
	27	28	29	30	1	2	3	Aula 6: Equação dos Tempos. Planetas, movimento retrógrado, "laçadas". Modelo de Ptolomeu: Epiciclos, Deferentes, equante.
	4	5	6	7	8	9	10	Aula 7: Epiciclos=movimentos circulares acoplados. Vetores.
outubro	11	12	13	14	15	16	17	Aula 8: Modelo de Copérnico. Teorias de Galileu Galilei
	18	19	20	21	22	23	24	Prova 2
	25	26	27	28	29	30	31	28 Consag. Func. Público - Aula 9: Tycho Brahe e Kepler; Leis de Kepler
novembro	1	2	3	4	5	6	7	2 Finados - Aula 10: Leis de Kepler (cont.)
	8	9	10	11	12	13	14	Aula 11: Teoria de Gravitação de Newton
	15	16	17	18	19	20	21	20 Consc. Negra (Não haverá aula)
	22	23	24	25	26	27	28	Aula 12: Teoria de Gravitação de Newton
	29	30	1	2	3	4	5	Prova 3
dezembr	6	7	8	9	10	11	12	8/dez - Encerramento do semestre. 11/dez - SUB
	13	14	15	16	17	18	19	15/dez Início do Período de Recuperação - 18/12: REC.
	20	21	22	23	24	25	26	
	Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sab	

# Avaliação (regras do jogo):

- Avaliação: Tarefas feitas em sala (10%) e três provas (30% cada) nas datas indicadas:
  - $P_1$ : 18 de setembro –  $P_2$ : 23 de outubro –  $P_3$ : 4 de dezembro.

$$M_1 = \frac{3(P_1 + P_2 + P_3) + M_T}{10}$$

$P_1, P_2, P_3$ : Provas

$M_T$ : Média das tarefas.

$M_1$ : Média 1a avaliação.

$N_F$ : Nota FINAL do curso.

- Se  $M_1 \geq 5.0$  (e frequência mínima 70%) →  $N_F = M_1$  **Aprovado** 😊
- Se  $3.0 \leq M_1 < 5.0$  → **Recuperação** ( $N_R$ ) em data a ser confirmada.  
 $N_F = (M_1 + N_R) / 2$
- Se  $M_1 < 3.0$  →  $N_F = M_1$  **Reprovado** ☹️
- Haverá uma **Prova Substitutiva** (“aberta”) no dia 11/12.
- Obs: A nota da SUB **necessariamente substituirá** a menor nota.

---

# Movimento aparente do sol

- Video:

<https://www.youtube.com/watch?v=KK73S9I-6I8>

- Simulação:

<http://astro.unl.edu/classaction/animations/coordsmotion/sunmotions.html>

---

---

# Tarefa 1: “Retiro astronômico”

- Digamos que você esteja acampado em uma colina em um lugar isolado com vista de  $360^\circ$  para o horizonte.
  - Uma estaca está fincada verticalmente no chão à sua frente.
  - Você não tem relógio, nem celular, iPod, etc.
  - Com base apenas em observações da sombra da estaca, responda:
    - Q1: Como você pode saber quando é meio-dia?
    - Q2: Como você pode saber qual direção é “Norte”?
-

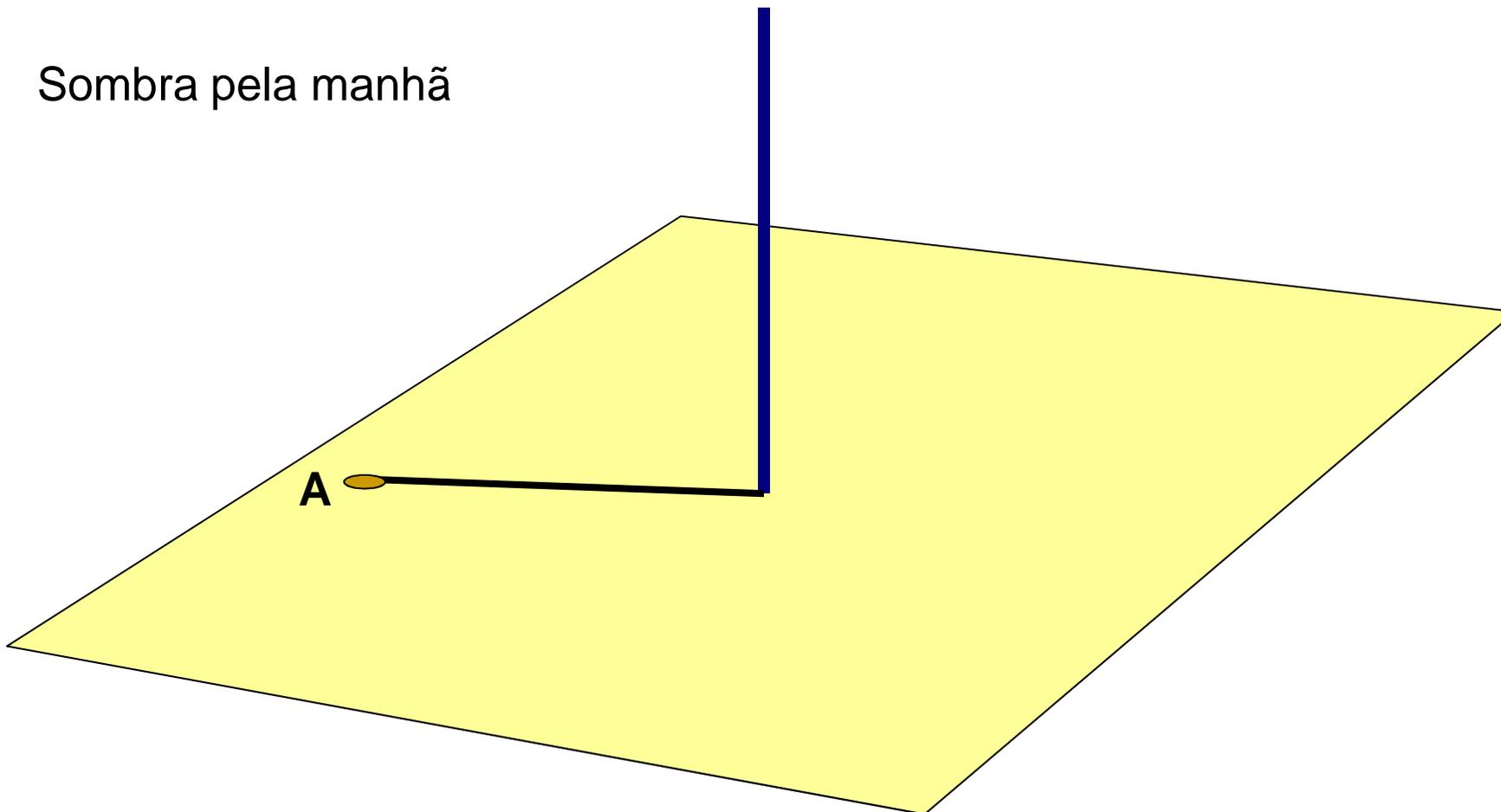
---

# Tarefa 1: “Retiro astronômico”

- Digamos que você esteja acampado em uma colina em um lugar isolado com vista de  $360^\circ$  para o horizonte.
  - Uma estaca está fincada verticalmente no chão à sua frente.
  - Você não tem relógio, nem celular, iPod, etc.
  - Com base apenas em observações da sombra da estaca, responda:
    - Como você pode saber quando é meio-dia?
      - a) Somente quando a sombra da estaca desaparecer (“sol a pino”).
      - b) Quando o comprimento da sombra for duas vezes o comprimento da estaca.
      - c) Quando a sombra da estaca for a menor do dia.
-

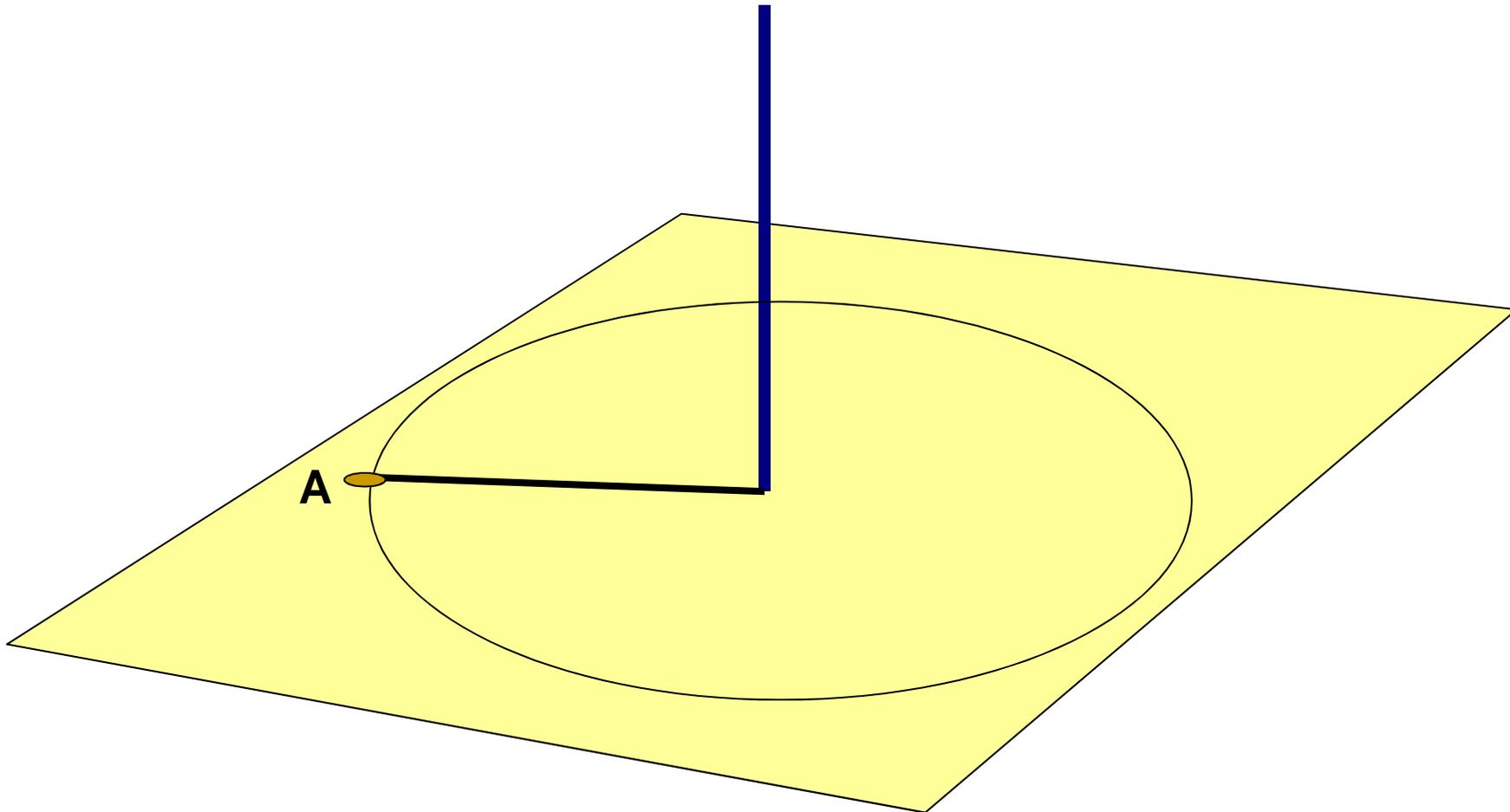
# Gnômon

Sombra pela manhã



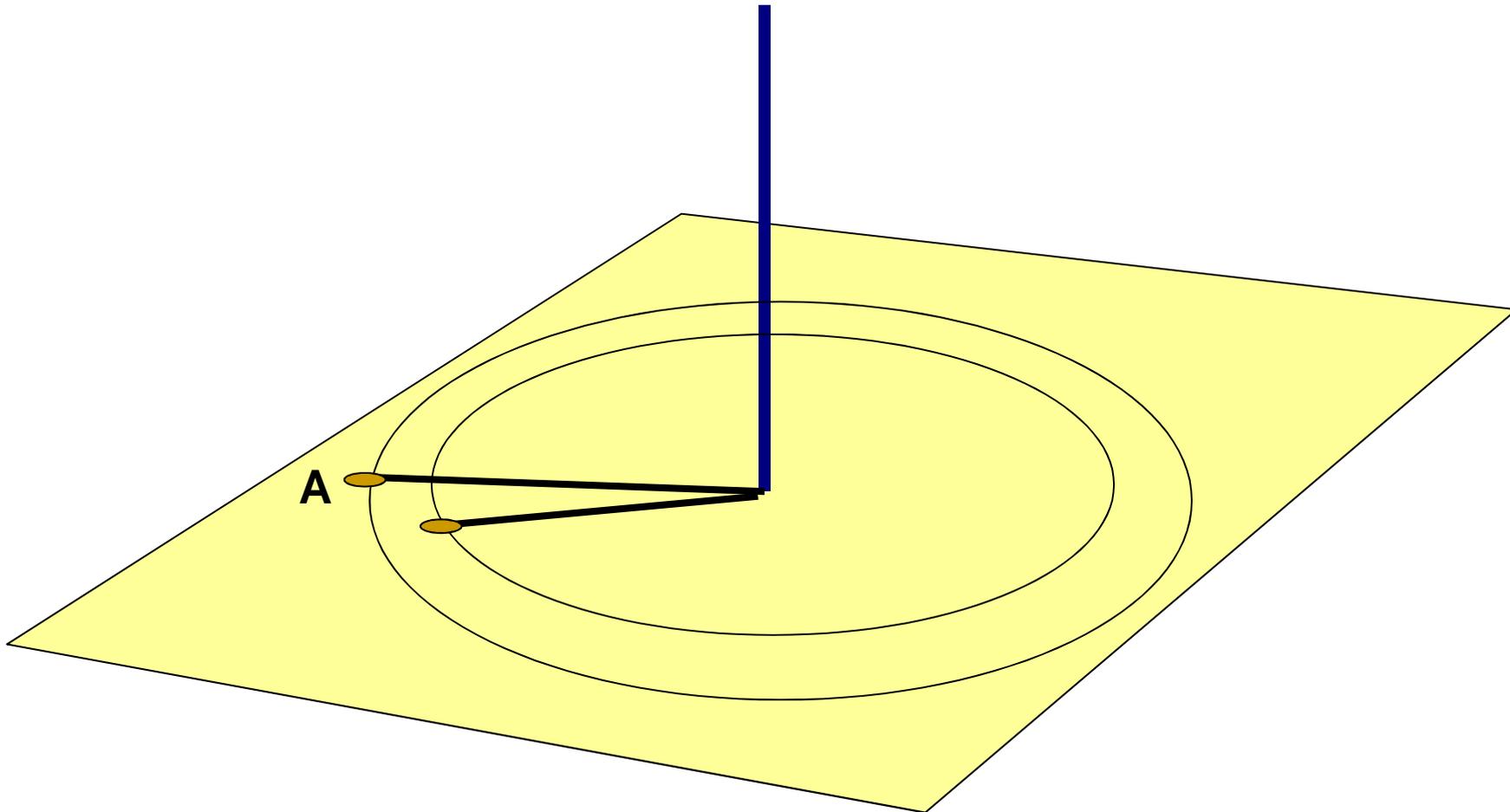
1) Marcar o comprimento.

# Gnômon



2) Traçar uma circunferência de raio igual ao comprimento

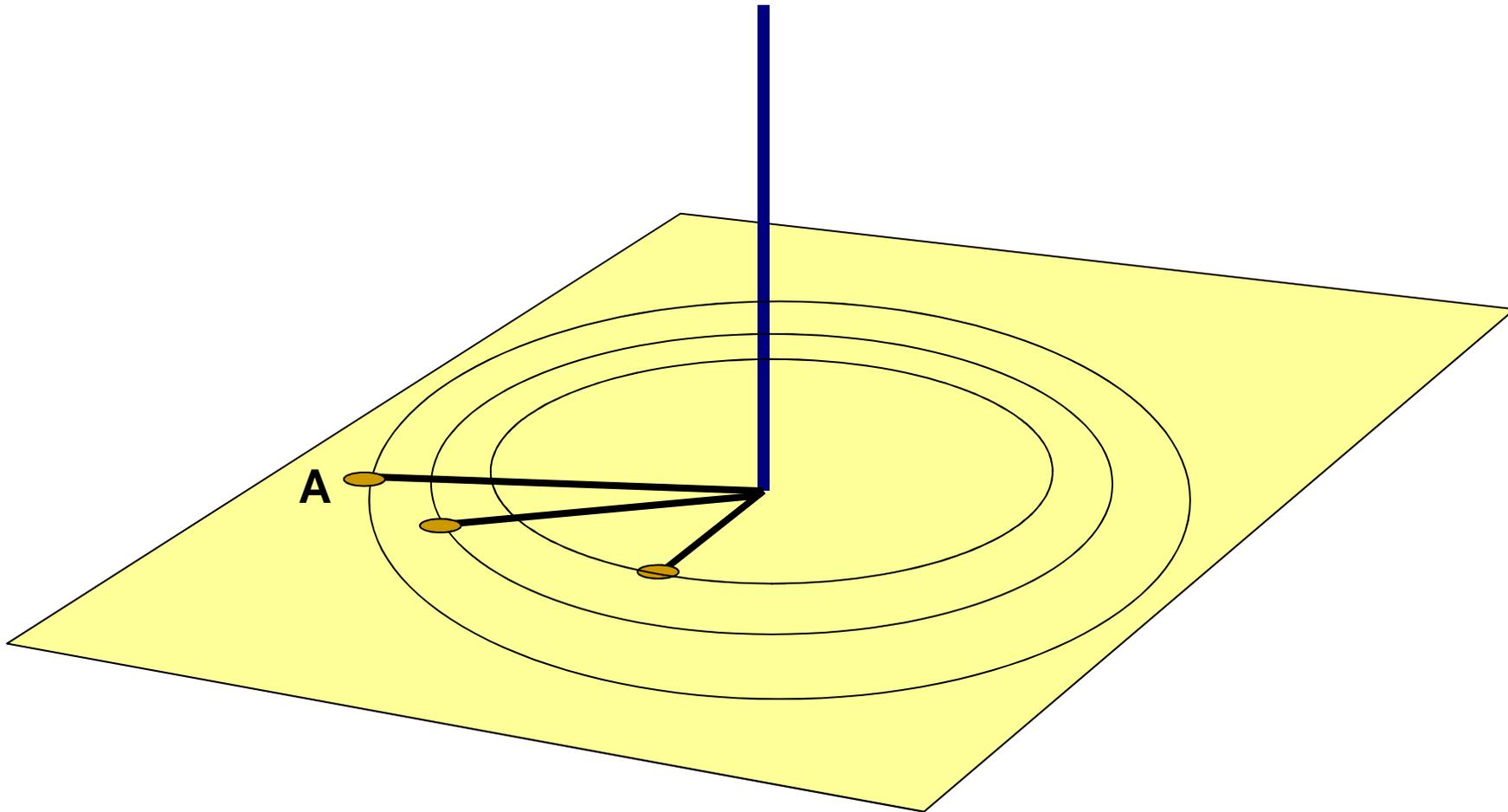
# Gnômon



3) Repetir em diferentes horários do dia.

---

# Gnômon: Meio-dia solar.



Sombra no tamanho mínimo=**meio-dia solar**

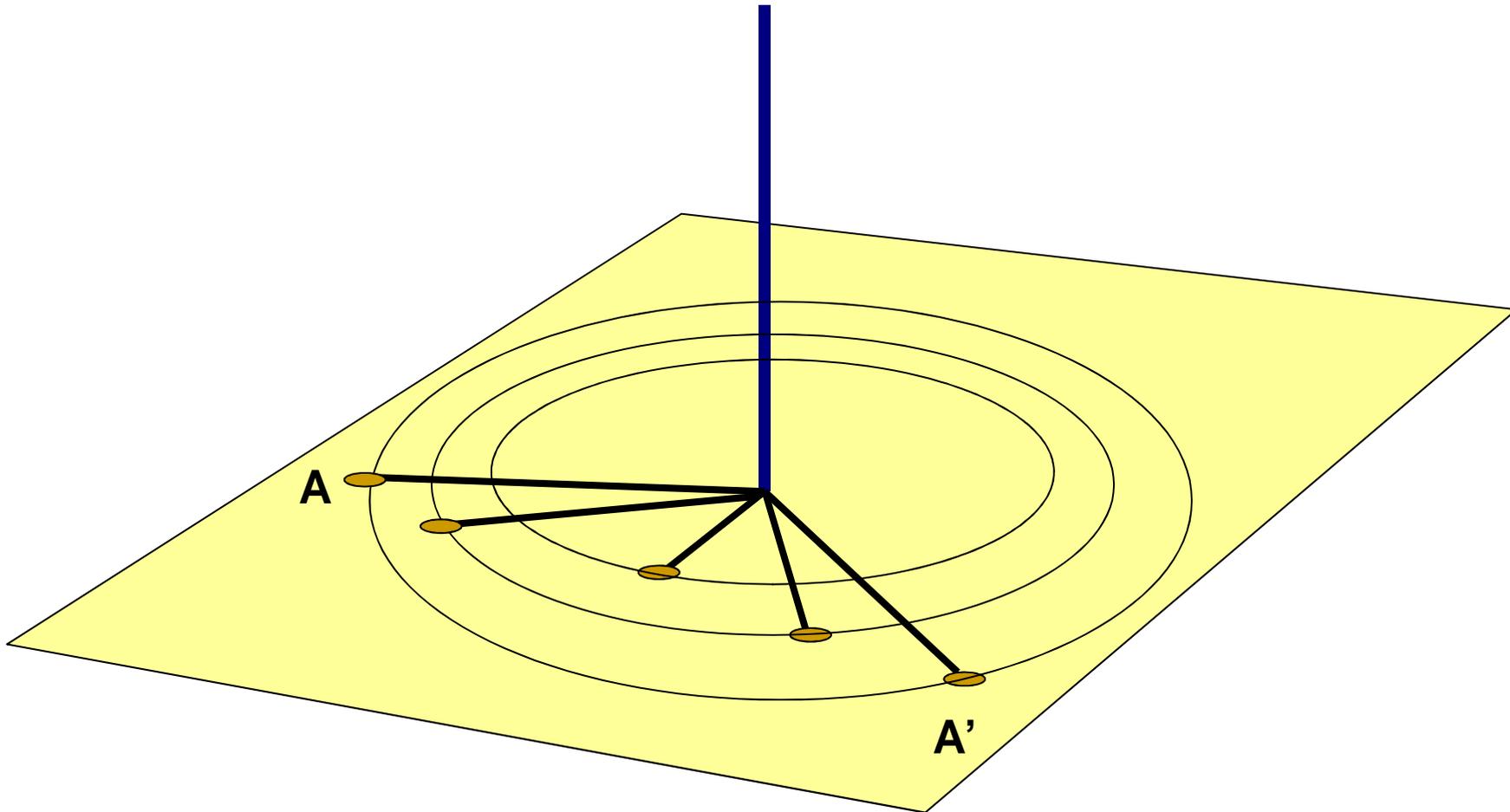
---

---

## “Retiro astronômico”

- Digamos que você esteja acampado em uma colina em um lugar isolado com vista de  $360^\circ$  para o horizonte.
  - Uma estaca está fincada verticalmente no chão à sua frente.
  - Você não tem relógio, nem celular, iPod, etc.
  - Com base apenas em observações da sombra da estaca, responda:
    - Como você pode saber qual direção é “Norte”?
-

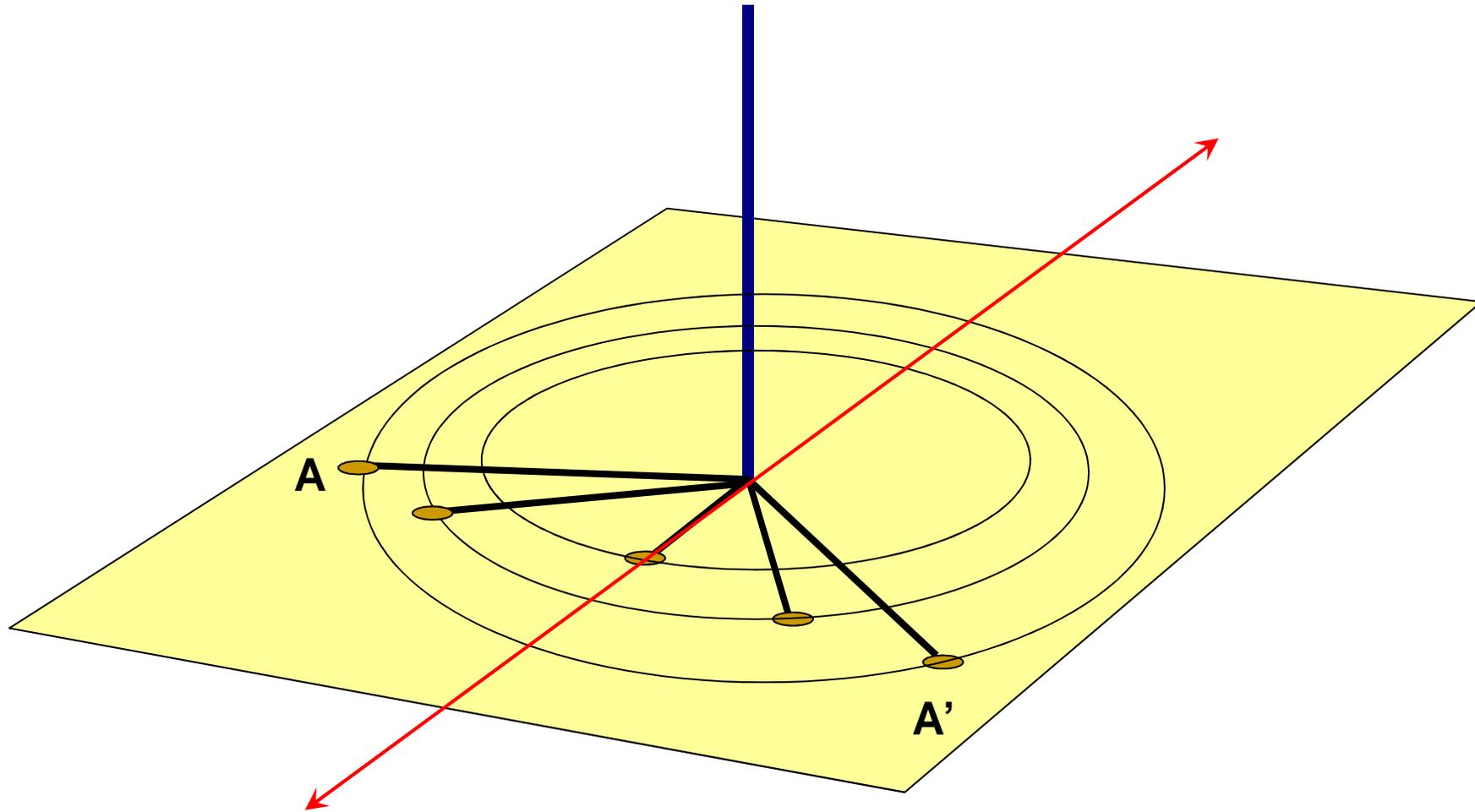
# Gnômon



4) Marcar os pontos onde a sombra volta a atingir as circunferências

---

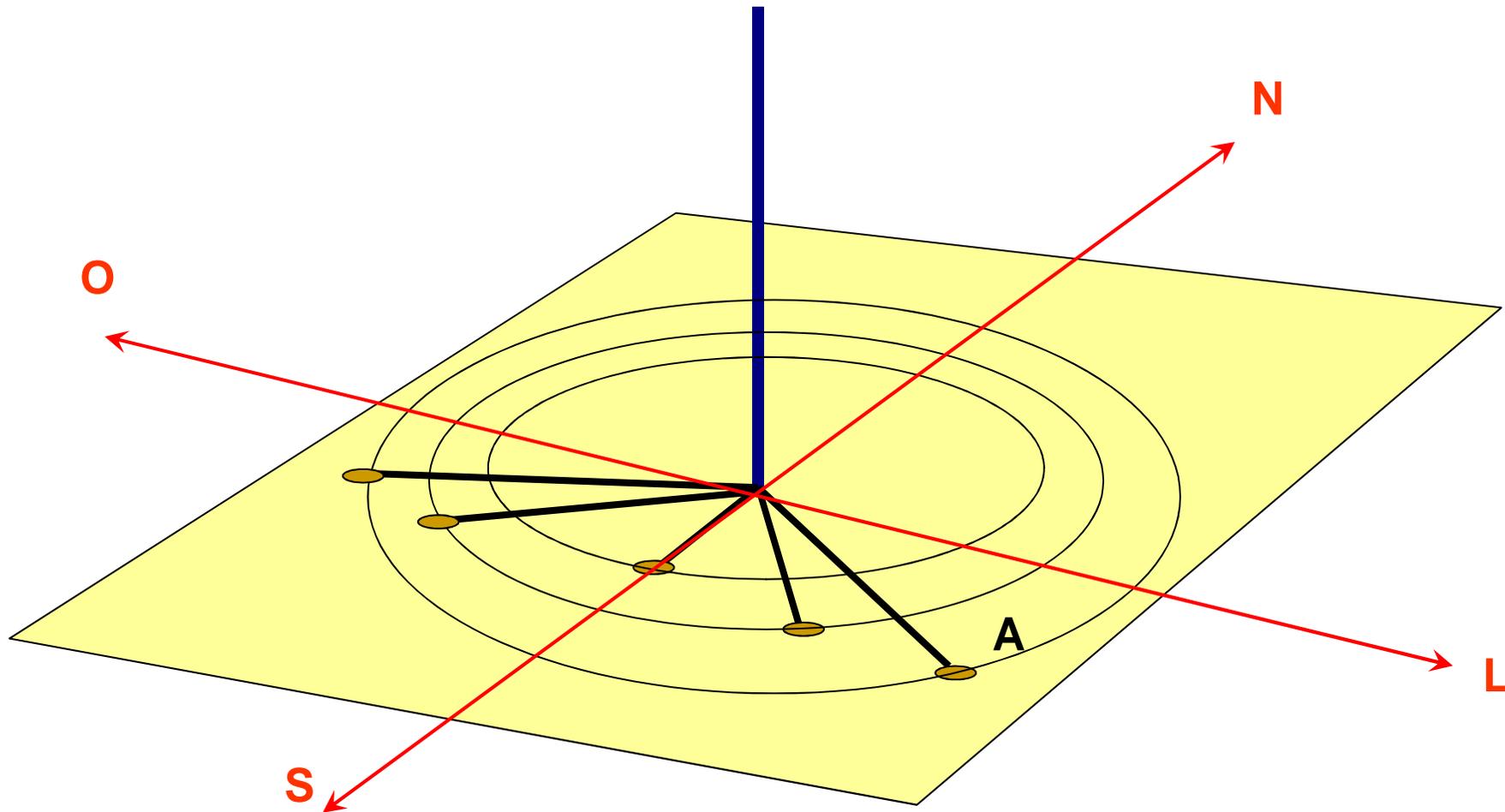
# Gnômon: Linha Meridiana.



5) As bissetrizes dos ângulos coincidem. Essa é a **linha meridiana** (norte-sul).

---

# Gnômon: Pontos cardeiais



6) Traçar a perpendicular. A direção onde o Sol nasceu é **Leste**.

---

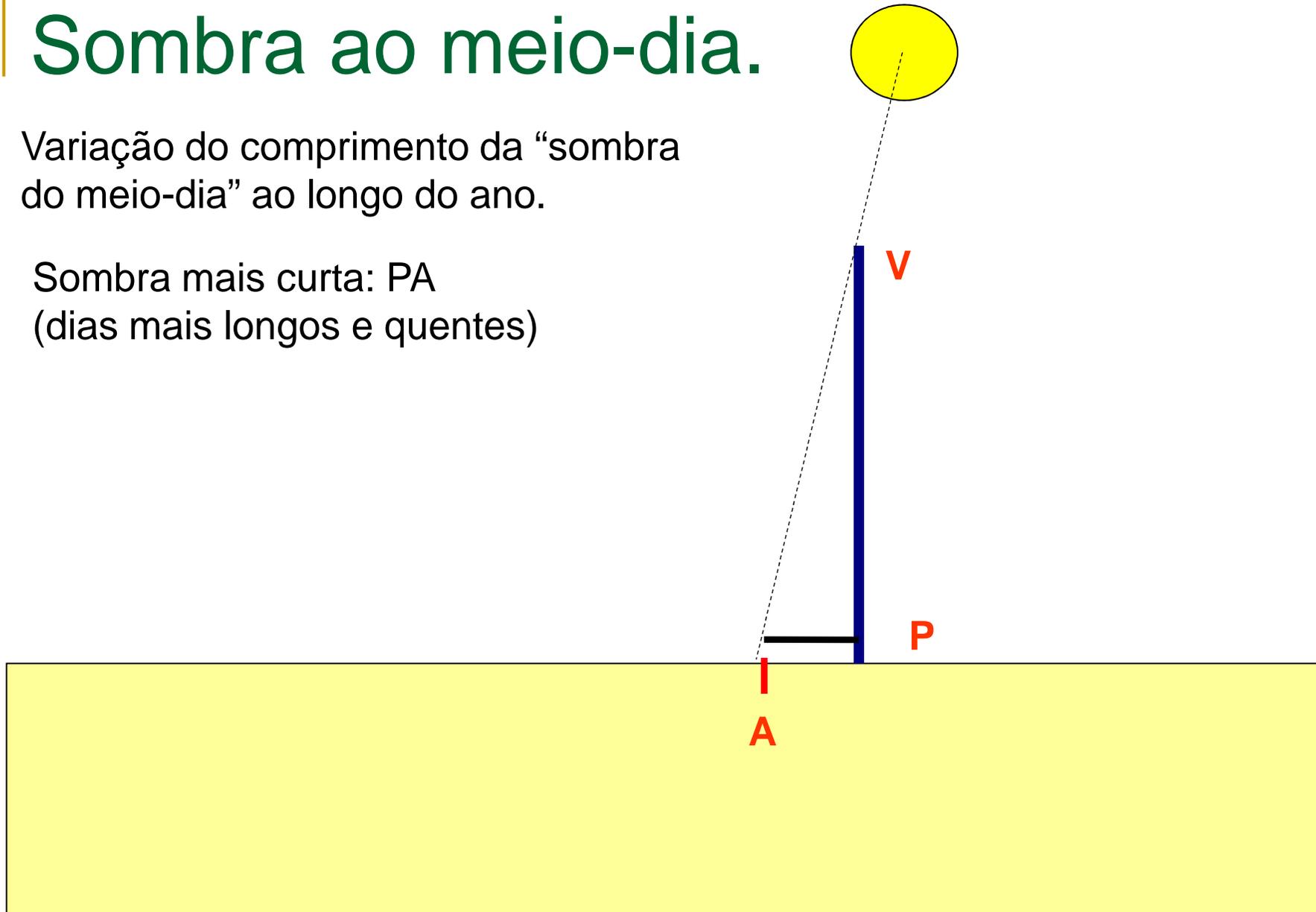
## “Retiro astronômico”

- Digamos que você esteja acampado em uma colina em um lugar isolado com vista de  $360^\circ$  para o horizonte.
  - Uma estaca está fincada verticalmente no chão à sua frente.
  - Você não tem relógio, nem celular, iPod, etc.
  - Com base apenas em observações da sombra da estaca, responda:
    - Como você pode saber quando se passou um ano da sua chegada à colina? (=CALENDÁRIO).
-

# Sombra ao meio-dia.

Variação do comprimento da “sombra do meio-dia” ao longo do ano.

Sombra mais curta: PA  
(dias mais longos e quentes)

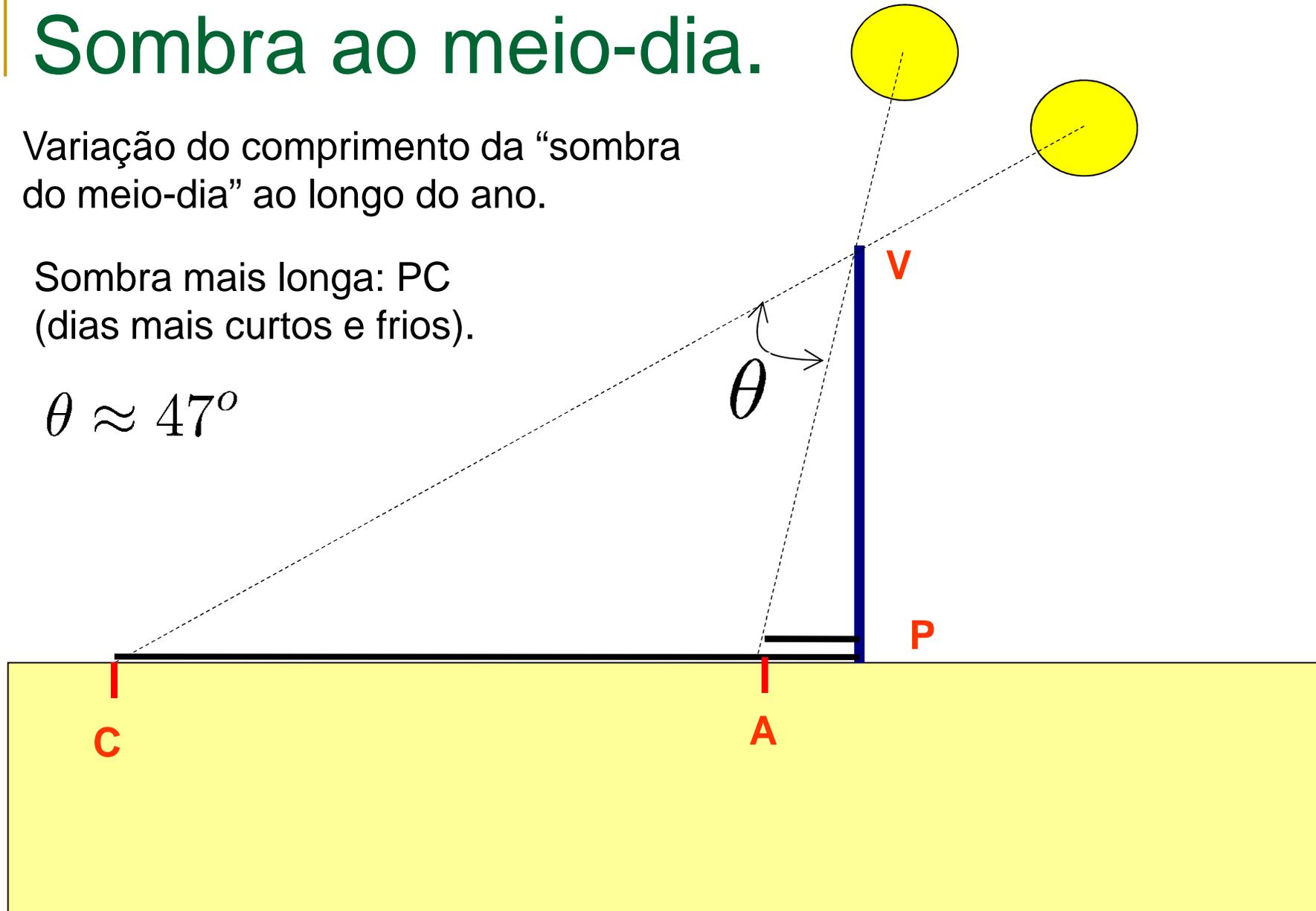


# Sombra ao meio-dia.

Variação do comprimento da “sombra do meio-dia” ao longo do ano.

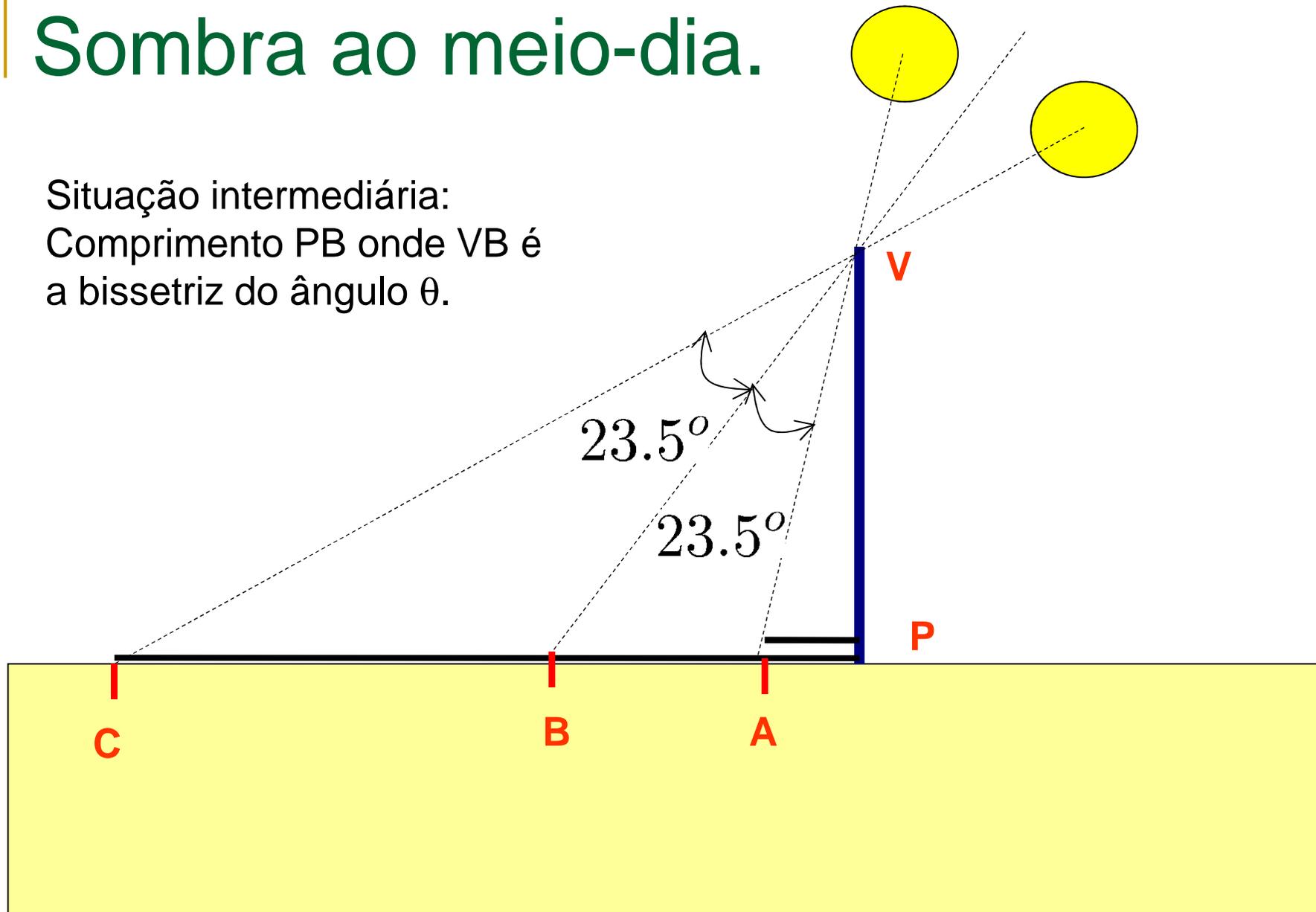
Sombra mais longa: PC  
(dias mais curtos e frios).

$$\theta \approx 47^\circ$$



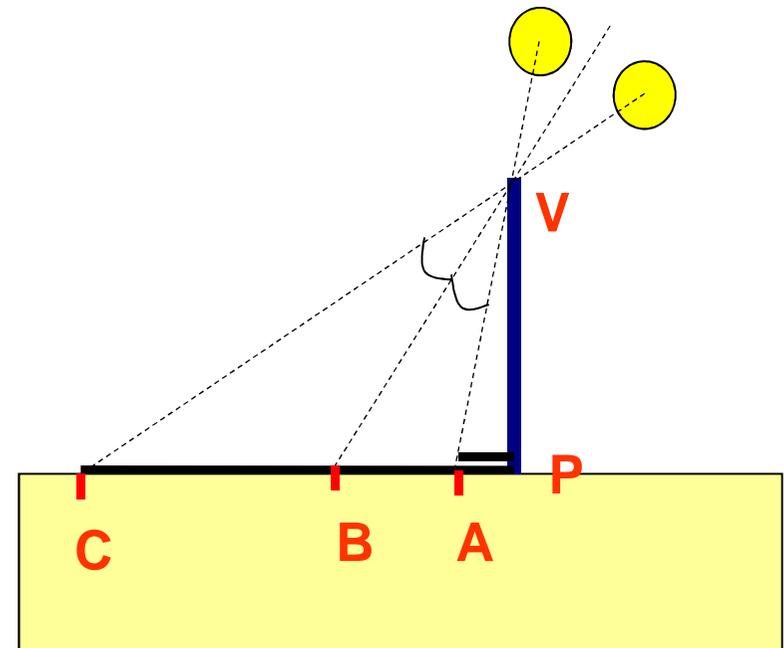
# Sombra ao meio-dia.

Situação intermediária:  
Comprimento PB onde VB é  
a bissetriz do ângulo  $\theta$ .



# Gnômon: Estações do ano.

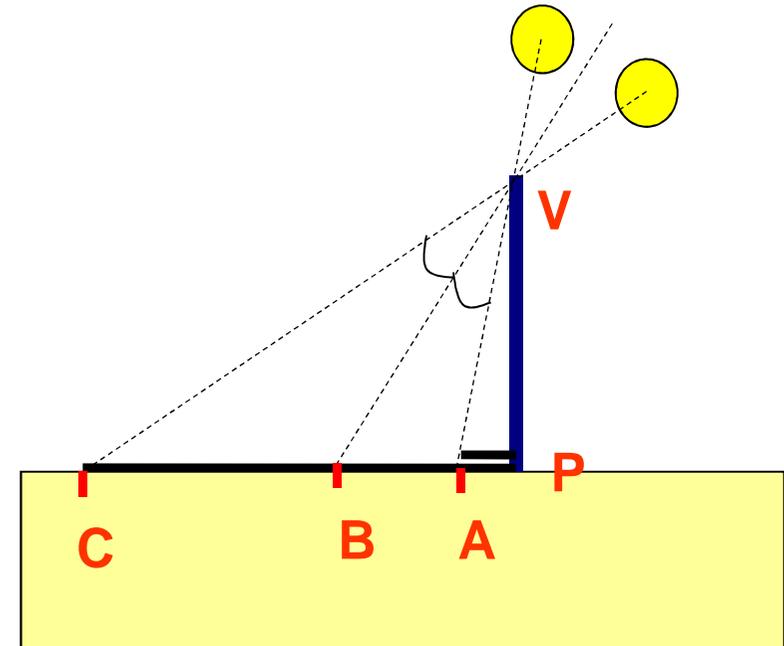
Estação	Início	Fim
	(sombra em)	
Verão	A	B
Outono	B	C
Inverno	C	B
Primavera	B	A



# Gnômon: Calendário.

A observação cuidadosa nos mostra que:

- O ciclo  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow A$  se repete a cada 365 dias (aprox.)  
(Na verdade,  $365+5h48m46s$ .)
- A duração das estações (o tempo para ir de  $A \rightarrow B$  ou  $B \rightarrow C$ , etc) é, aproximadamente  $\frac{1}{4}$  disso.
- Logo, um observador que mantenha registros do tamanho da sombra pode prever o início e fim das estações.



**Calendários** são um avanço tecnológico fundamental para uma civilização (agricultura, etc.).

---

## Ainda no “Retiro astronômico”

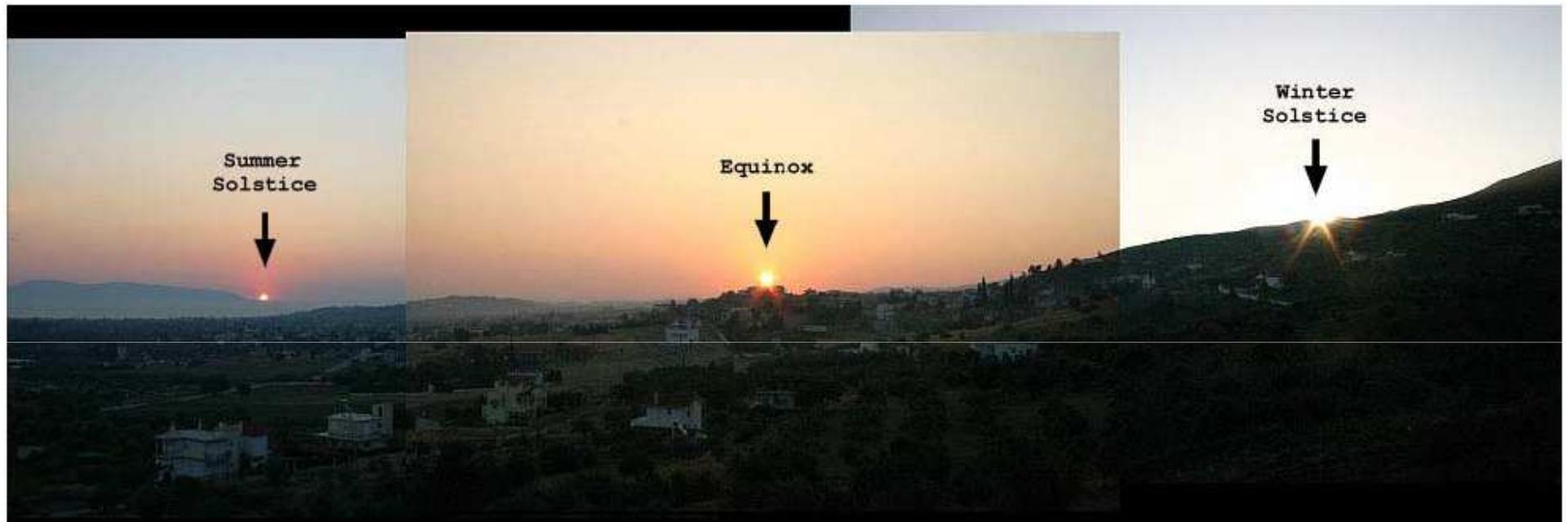
- Digamos que você esteja acampado em uma colina no interior de Goiás com vista de 360° para o horizonte.
  - Determinados os pontos cardeais (N,S,L,O) e a duração do ano, há outras perguntas:
    - O Sol nasce e se põe sempre nas mesmas posições do horizonte durante o ano?
    - Algum dos lados da colina (norte, sul, leste, oeste) recebe menos luz solar ao longo do ano? Qual?
-

# Solstícios e Equinócios (Hemisfério Sul)

21/22 de dezembro

21/22 de março/setembro

21/22 de junho



Solstício de verão

Equinócios de Outono/Primavera

Solstício de inverno

Oeste

---

# Pôr do Sol

21/22 de dezembro

21/22 de março/setembro

21/22 de junho

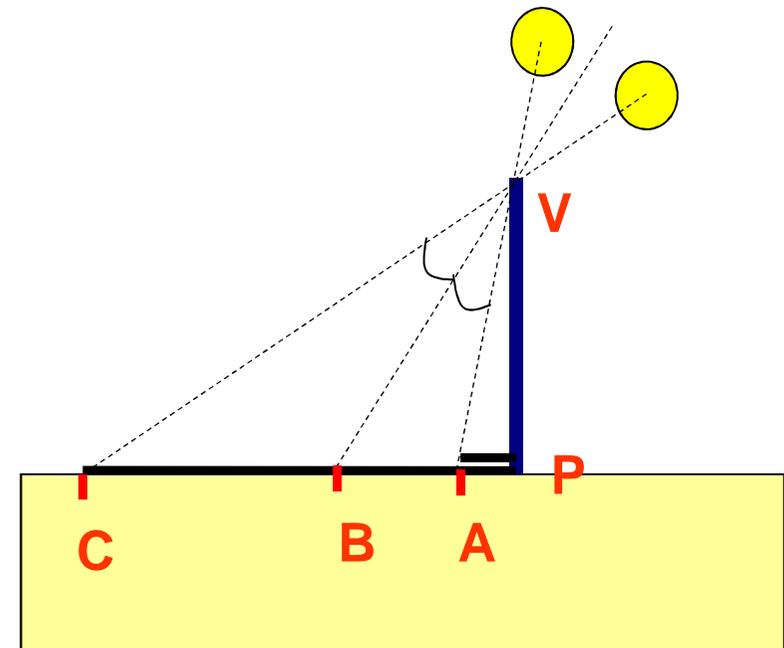


Oeste

---

# Solstícios e Equinócios

		Data aproximada	
		Hem. Sul	Hem. Norte
Solstício de Verão	A	21-22 Dez	21-22 Jun
Equinócio de Outono	B	21-22 Mar	21-22 Set
Solstício de Inverno	C	21-22 Jun	21-22 Dez
Equinócio de Primavera	B	21-22 Set	21-22 Mar



---

# Solstícios e Equinócios

21/22 de março/setembro



Equador

“Marco Zero” em Macapá - AP

---