

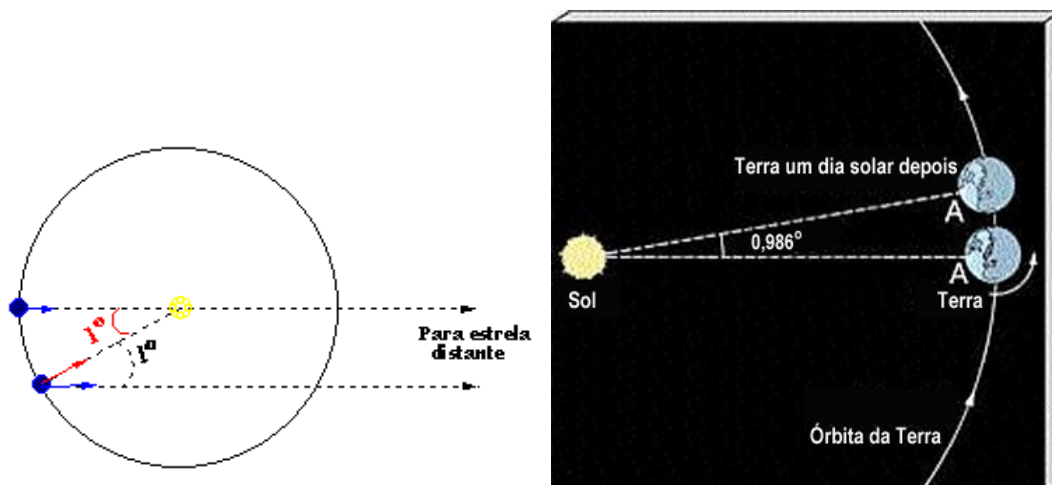
## Medidas de Tempo

- Medidas de Tempo

- o A medida do tempo se baseia no movimento de rotação da Terra, que provoca a rotação aparente da esfera celeste.
  - **Dia Sideral:** é o intervalo de tempo decorrido entre duas passagens sucessivas do ponto  $\gamma$  (cruzamento do equador e eclíptica, onde está o Sol próximo de 21 de Março) pelo meridiano do lugar.

### Tempo Solar

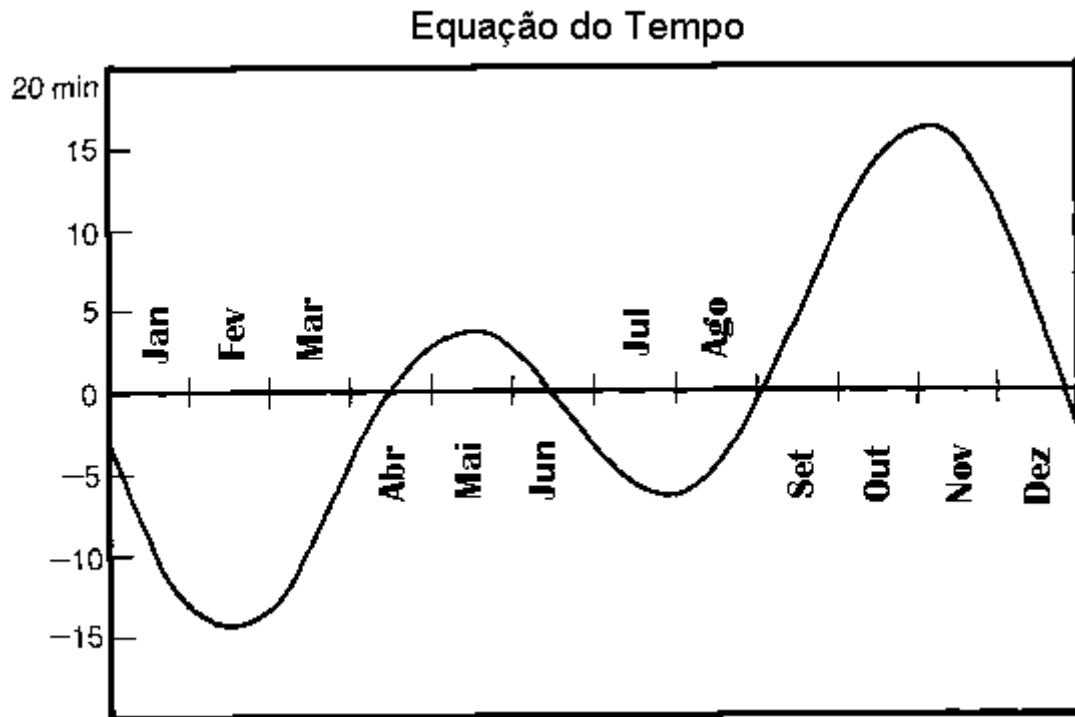
O tempo solar toma como referência o Sol.



- **Dia Solar:**

- o É o intervalo de tempo decorrido entre duas passagens sucessivas do Sol pelo meridiano do lugar.

- o É  $3^m56^s$  mais longo do que o dia sideral.
- o Essa diferença é devido ao movimento de translação da Terra em torno do Sol, de aproximadamente 1 grau (4 minutos) por dia ( $360^\circ/\text{ano}=0,986^\circ/\text{dia}$ ).
- o Como a órbita da Terra em torno do Sol é elíptica, a velocidade de translação da Terra em torno do Sol não é constante, causando uma variação diária de  $1^\circ 6'$  ( $4^m27^s$ ) em Dezembro, e  $53'$  ( $3^m35^s$ ) em Junho.
- **Tempo solar verdadeiro:** é o ângulo horário (ângulo medido sobre o equador, desde o meridiano local até o meridiano do astro) do centro do Sol.
- **Tempo solar médio:** é o ângulo horário do centro do **sol médio**.
  - o O sol médio é um sol fictício, que se move ao longo do Equador celeste (ao passo que o Sol verdadeiro se move ao longo da Eclíptica), com velocidade angular constante, de modo que os dias solares médios são iguais entre si (ao passo que os dias solares verdadeiros não são iguais entre si porque o movimento do Sol na eclíptica não tem velocidade angular constante). Mas o movimento do Sol na eclíptica é anualmente periódico, assim o ano solar médio é igual ao ano solar verdadeiro.



- **Equação do Tempo:** é a diferença entre o Tempo Solar Verdadeiro e o Tempo Solar Médio. Seu maior valor positivo é cerca de 16 minutos e seu maior valor negativo é cerca de 14 minutos. Esta é a diferença entre o meio dia verdadeiro (passagem meridiana do Sol), e o meio dia do Sol médio. Quando se faz a determinação da longitude de um local pela medida da passagem meridiana do Sol, se não corrigirmos a hora local do centro do meridiano pela equação do tempo, poderemos introduzir um erro de até 4 graus na longitude.
- Se pode também derivar que a equação do tempo, definida como o ângulo horário do Sol, menos o ângulo horário do sol médio, pode ser expressa como:

$$E = (\ell_0 - \alpha_0) - (\ell_0 - \ell_{\bar{0}}),$$

o

onde  $\ell_0$  é a longitude eclíptica do Sol e  $\ell_{\bar{0}}$  a longitude do Sol médio. Esta equação divide o problema

em dois termos, o primeiro chamado de redução ao equador, leva em conta que o Sol real se move na eclíptica enquanto o Sol médio, fictício, se move no equador, e o segundo de equação do centro, que leva em conta a elipticidade da órbita.

- A equação do tempo pode ser expressa em uma série envolvendo somente a longitude do Sol médio:

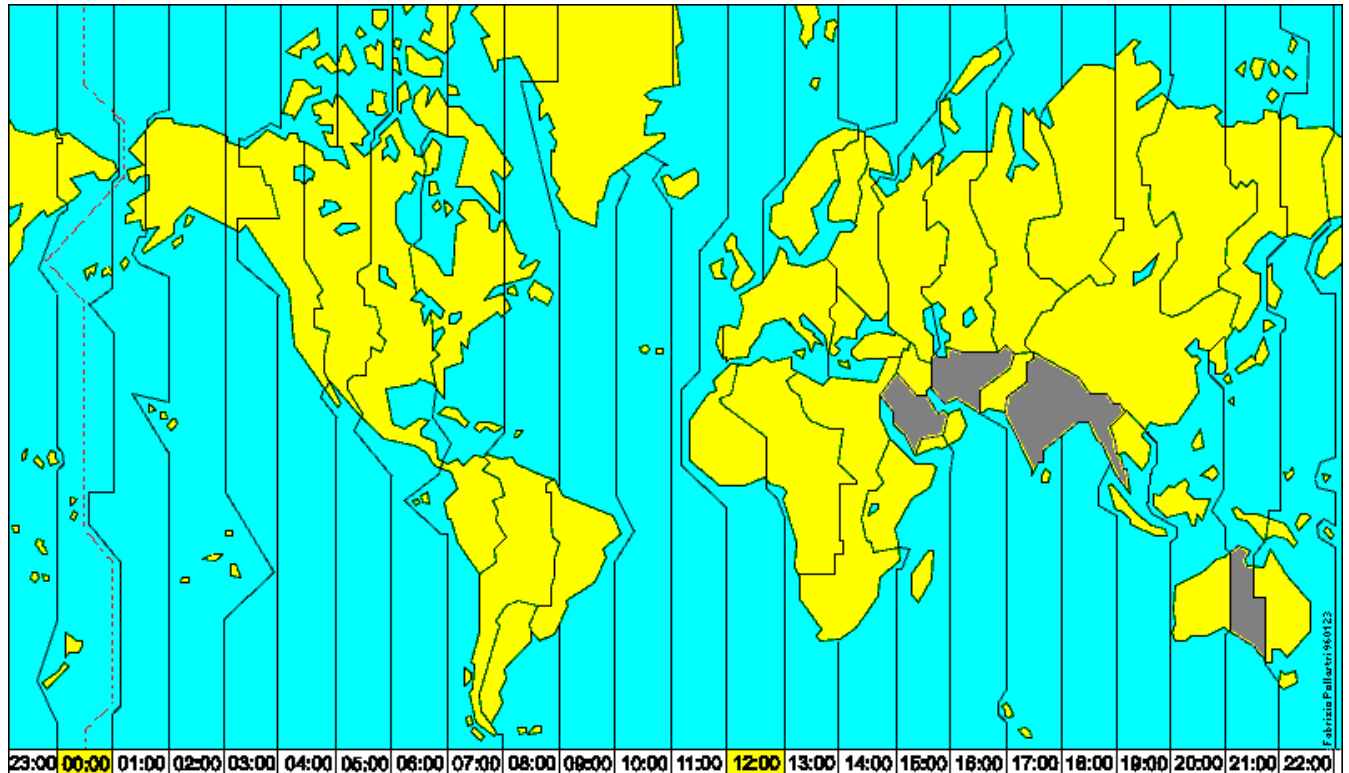
$$E = -103.9 \sin \ell_{\odot} - 429.6 \cos \ell_{\odot} + 596.3 \sin 2\ell_{\odot} - 2.0 \cos 2\ell_{\odot} + 4.3 \sin 3\ell_{\odot} + 19.3 \cos 3\ell_{\odot} - 12.7 \cos 4\ell_{\odot} \dots$$

- A quantidade tabulada no *Astronomical Ephemeris* não é diretamente  $E$ , mas a efeméride do Sol no trânsito. Esta efeméride é o instante da passagem do Sol pelo meridiano da efeméride, e é 12 hr menos a equação do tempo naquele instante.
- **Tempo civil ( $T_c$ ):** é o tempo solar médio acrescido de 12 hr, isto é, usa como origem do dia o instante em que o sol médio passa pelo meridiano inferior do lugar. A razão da instituição do tempo civil é não mudar a data durante as horas de maior actividade da humanidade nos ramos financeiros, comerciais e industriais, o que acarretaria inúmeros problemas de ordem prática.
- **Tempo universal ( $T_U$ ):** é o tempo civil de Greenwich, na Inglaterra, definido como ponto zero de longitude geográfica na Conferência Internacional Meridiana, realizada em Washington em Outubro de 1884.

Note que os tempos acima são **locais**, dependendo do ângulo horário do Sol, verdadeiro ou médio. Se medirmos directamente o tempo solar, este vai provavelmente ser diferente daquele que o relógio marca, pois não usamos o tempo local na nossa vida diária, mas o tempo do *fuso horário* mais próximo.

- Fusos Horários

- o De acordo com a definição de tempo civil, lugares de longitudes diferentes têm horas diferentes, porque têm meridianos diferentes.
- o Inicialmente, cada nação tinha a sua hora, que era a hora do seu meridiano principal.
  - Por exemplo, a Inglaterra tinha a hora do meridiano que passava por Greenwich, a França tinha a hora do meridiano que passava por Paris.
- o Como as diferenças de longitudes entre os meridianos escolhidos não eram horas e minutos exactos, as mudanças de horas de um país para outro implicavam cálculos incómodos, o que não era prático. Para evitar isso adoptou-se o convénio internacional dos **fusos horários**.
- o Cada fuso compreende  $15^\circ (= 1 \text{ h})$ . Fuso zero é aquele cujo meridiano central passa por Greenwich. Os fusos variam de **0h a +12h para leste** de Greenwich e de **0h a -12h para oeste** de Greenwich. Todos os lugares de um determinado fuso têm a hora do meridiano central do fuso.
- o **Hora legal:** é a hora civil do meridiano central do fuso.



### o Tempo Atómico Internacional:

- o Desde 1967, quando um segundo foi definido como 9 192 631 770 vezes o período da luz emitida pelo isótopo 133 do Césio, no nível fundamental, passando do nível hiperfino  $F=4$  para  $F=3$ , se usa o TAI, dado por uma média de vários relógios atómicos muito precisos.
- o Hoje em dia se usa a transição maser do hidrogénio, ainda mais precisa.
- o O TAI varia menos de 1 segundo em 3 milhões de anos. Mas existem objectos astronómicos ainda mais precisos, como a estrela anã branca G117-B15A, cujo período de pulsação óptica varia menos de 1 segundo em 10 milhões de anos, e pulsares em rádio, ainda mais precisos.

- **Calendário**

- o Desde a Antiguidade foram encontradas dificuldades para a criação de um calendário, pois o ano não é um múltiplo exacto da duração do dia ou da duração do mês.
- o Os Babilónios, Egípcios, Gregos e Maias já tinham determinado essa diferença.
- o É importante distinguir dois tipos de anos:
  - **Ano sideral:** é o período de revolução da Terra em torno do Sol com relação às estrelas. Seu comprimento é de 365,2564 dias solares médios, ou 365d 6h 9m 10s.
  - **Ano tropical:** é o período de revolução da Terra em torno do Sol com relação ao Equinócio Vernal, isto é, com relação ao início das estações. Seu comprimento é 365,2422 dias solares médios, ou 365d 5h 48m 46s. Devido ao movimento de precessão da Terra, o ano tropical é levemente menor do que o ano sideral. O calendário se baseia no ano tropical.
- o Os egípcios, cujos trabalhos no calendário remontam a 4 milénios antes de Cristo, utilizaram inicialmente um ano de 360 dias começando com **a enchente anual do Nilo, que acontecia quando a estrela Sírius, a mais brilhante estrela do céu, nascia logo antes do nascer do Sol.** Mais tarde, quando o desvio na posição do Sol se tornou notável, 5 dias foram adicionados.
- o Mas ainda havia um lento deslocamento, que somava 1 dia a cada 4 anos. Então os egípcios deduziram que o comprimento do ano era de 365,25 dias. Já no ano 238 a.C., o rei (faraó) Ptolomeu III, o Euergetes, que reinou o Egito de

246 a 222 a.C., ordenou que um dia extra fosse adicionado ao calendário a cada 4 anos, como no ano bissexto actual.

o Nosso calendário actual está baseado no antigo calendário romano, que era lunar. Como o período sinódico da Lua é de 29,5 dias, um mês tinha 29 dias e o outro 30 dias, o que totalizava 354 dias. Então a cada três anos era introduzido um mês a mais para completar os 365,25 dias por ano em média. Os anos no calendário romano eram chamados de a.u.c. (ab urbe condita), a partir da fundação da cidade de Roma. Neste sistema, o dia 11 de Janeiro de 2000 marcou o ano novo do 2753 a.u.c. A maneira de introduzir o 13º mês se tornou muito irregular, de forma que no ano 46 a.C. Júlio César (Gaius Julius Cæsar, 102-44 a.C.), orientado pelo astrônomo alexandrino Sosígenes (90-? a.C.), reformou o calendário, introduzindo o **Calendário Juliano**, de doze meses, no qual a cada três anos de 365 dias seguia outro de 366 dias (**ano bissexto**). Assim, o ano juliano tem em média 365,25 dias. Para acertar o calendário com a primavera, **foram adicionados 67 dias àquele ano e o primeiro dia do mês de Março de 45 a.C., no calendário romano, foi chamado de 1 de Janeiro no calendário Juliano**. Este ano é chamado de Ano da Confusão. O ano juliano vigorou por 1600 anos.

o O sistema de numeramento dos anos **d.C.** (depois de Cristo) foi instituído no ano 527 d.C. pelo abade romano Dionysius Exiguus (c.470-544), que estimou que o nascimento de Cristo (se este é uma figura histórica) ocorrera em 25 de dezembro de 754 a.u.c., que ele **designou como 1 d.C.** Em 1613 Johannes Kepler (1571-1630) publicou o primeiro trabalho sobre a cronologia e o ano do nascimento de Jesus. Neste trabalho Kepler demonstrou que o calendário Cristão estava em erro por cinco anos, e que Jesus tinha nascido em 4 a.C., uma conclusão atualmente aceita. O argumento é que Dionysius Exiguus assumiu que Cristo nascera no ano 754 da cidade de Roma, correspondente ao ano 46 Juliano, definindo como o ano um da era cristã. Entretanto vários historiadores afirmavam que **o rei Herodes, que faleceu**



**depois do nascimento de Cristo, morreu** no ano 42 Juliano. Deste modo, o nascimento ocorrera em 41 Juliano, **5 anos antes do que Dionysius assumira**. Como houve uma conjunção de Júpiter e Saturno em 17 de setembro de 7 a.C., que pode ter sido tomada como a *estrela guia*, sugerindo que o nascimento pode ter ocorrido nesta data. Outros historiadores propõem que houve um erro na determinação da data de falecimento de Herodes, que teria ocorrido *depois* do ano 42 Juliano e, conseqüentemente, o nascimento de Jesus também teria ocorrido um pouco mais tarde, entre os anos 3 e 2 da era cristã. Nessa época ocorreram diversas conjunções envolvendo Júpiter, começando com uma conjunção com Vênus em agosto de 3 a.C., seguida por três conjunções seguidas com Regulus, e terminando com mais uma conjunção muito próxima com Vênus, em julho de 2 a.C. Essa série de eventos teria chamado a atenção dos reis magos que teriam, então passado a seguir na direção de Júpiter. Segundo essa interpretação, portanto, Júpiter teria sido a estrela guia, ou estrela de Belém.



Papa Gregório XIII

- o Em 1582, durante o papado de Gregório XIII (Ugo Boncampagni, 1502-1585), o equinócio vernal já estava ocorrendo em 11 de março, antecipando muito a data da Páscoa. Daí foi deduzido que o ano era mais curto do que 365,25 dias (hoje sabemos que tem 365,242199 dias). Essa diferença atingia 1 dia a cada 128 anos, sendo que nesse ano já completava 10 dias. O papa então introduziu nova reforma no calendário, sob orientação do astrônomo jesuíta alemão Christopher Clavius (1538-1612), para regular a data da Páscoa, instituindo o **Calendário Gregoriano**.

- o As reformas, publicada na bula papal *Inter Gravissimas* em 24.02.1582, foram:
  1. tirou 10 dias do ano de 1582, para recolocar o Equinócio Vernal em 21 de Março. Assim, o dia seguinte a 4 de Outubro de 1582 (quinta-feira) passou a ter a data de 15 de Outubro de 1582 (sexta-feira).
  2. introduziu a regra de que anos múltiplos de 100 não são bissextos a menos que sejam também múltiplos de 400. Portanto o ano 2000 é bissexto.
  3. o dia extra do ano bissexto passou de 25 de Fevereiro (sexto dia antes de Março, portanto bissexto) para o dia 28 de Fevereiro e o ano novo passou a ser o 1º de Janeiro.
  
- o Estas modificações foram adoptadas imediatamente nos países católicos, como Portugal e, portanto, no Brasil, na Itália, Espanha, França, Polónia e Hungria, mas somente em Setembro de 1752 na Inglaterra e Estados Unidos, onde o 2 de Setembro de 1752 foi seguido do 14 de Setembro de 1752, e somente com a Revolução Bolchevista na Rússia, quando o dia seguinte ao 31 de Janeiro de 1918 passou a ser o 14 de Fevereiro de 1918. Cada país, e mesmo cada cidade na Alemanha, adoptou o Calendário Gregoriano em época diferente.
  
- o O ano do Calendário Gregoriano tem 365,2425 dias solares médios, ao passo que o ano tropical tem aproximadamente 365,2422 dias solares médios. A diferença de 0,0003 dias corresponde a 26 segundos (1 dia a cada 3300 anos). Assim:

$$1 \text{ ano tropical} = 365,2422 = 365 + 1/4 - 1/100 + 1/400 - 1/3300$$

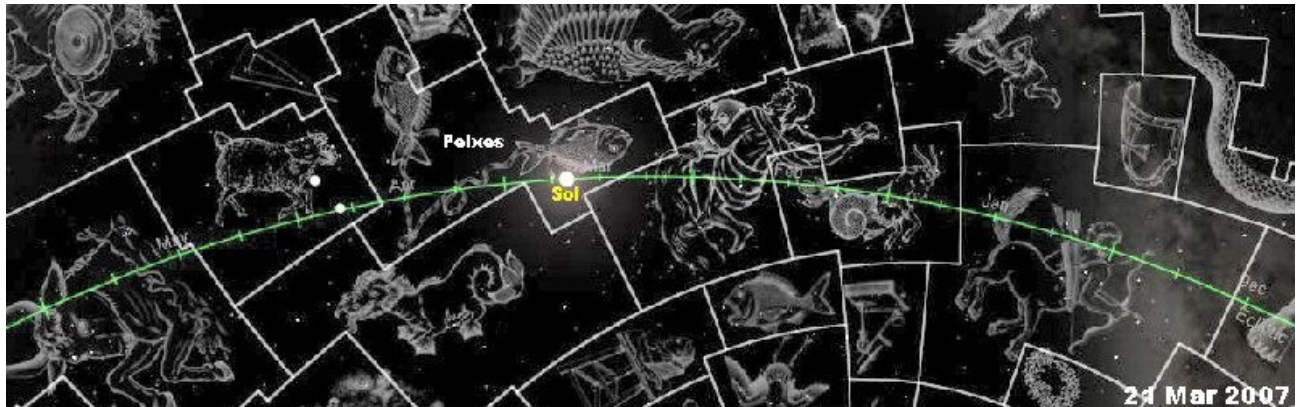
ou

$$365,2422 = 365 + 0,25 - 0,01 + 0,0025 - 0,0003 = 365,2425 - 0,0003$$

- o **Data Juliana:** A data Juliana é utilizada principalmente pelos astrónomos como uma maneira de calcular facilmente o intervalo de tempo decorrido entre diferentes eventos astronómicos. A facilidade vem do facto de que não existem meses e anos na data juliana; ela consta apenas do número de dias solares médios decorridos desde o início da era Juliana, em 1 de Janeiro de 4713 a.C. O dia juliano muda sempre às 12 h TU.
  
- o **Ano Bissexto - origem da palavra:** No antigo calendário romano, o primeiro dia do mês se chamava *calendas*, e cada dia do mês anterior se contava retroactivamente. Em 46 a.C., Júlio César determinou que o sexto dia antes das calendas de Março deveria ser repetido uma vez em cada quatro anos, e era chamado *ante diem bis sextum Kalendas Martias* ou simplesmente *bissextum*. Daí o nome bissexto.
  
- o **Século XXI:** O século XXI (terceiro milénio) começou no dia 01 de Janeiro de 2001, porque não houve ano zero e, portanto, o século I começou no ano 1. Mas há uma disputa com o ano 1 a.C., que sendo bissexto, seria corresponde ao ano zero, no calendário instituído por Dionysius Exiguus (Explanatory Supplement of the Astronomical Ephemeris).

- o **Calendário Judaico:** tem como início o ano de 3761 a.C., a data de *criação* do mundo de acordo com o "Velho Testamento". Como a idade **medida** da Terra é de 4,5 bilhões de anos, o conceito de *criação* é somente religioso. É um calendário lunisolar, com meses lunares de 29 dias alternando-se com meses de 30 dias, com um mês adicional intercalado a cada 3 anos, baseado num ciclo de 19 anos. As datas no calendário hebreu são designadas AM (do latim *Anno Mundi*).
  
  - o **Calendário Muçulmano:** é contado a partir de 622 d.C., do dia depois da Hégira, ou dia em que Maomé saiu de Meca para Medina. Consiste de 12 meses lunares.
  
  - o **Calendário Chinês:** é contado a partir de 2637 a.C., é um calendário lunisolar, com meses lunares de 29 dias alternando-se com meses de 30 dias, com um mês adicional intercalado a cada 3 anos. Os nomes formais dos anos têm um ciclo de 60 anos. Em 7 de Fevereiro de 2008 (lua nova) iniciou-se o ano do Rato, 4706. Desde 1912 a China também usa o Calendário Gregoriano.
- 
- **Era**
    - o Entende-se por Era uma série de anos civis que decorrem desde um acontecimento importante que é tomado como ponto de referência.
  
    - o Como exemplos temos a Era Cristã, Era Cenozóica, Era Bizantina, Era dos Gregos, além de muitas outras.

- o No caso da Astronomia, quando falamos em Era Zodiacal queremos dizer o período em que o Ponto Vernal passa por uma constelação ou por um signo do zodíaco.
- o Uma era zodiacal, como a Era de Aquário, na perspectiva astronômica, é definida como o período em anos em que o Sol, no dia do equinócio Vernal (~21 de Março), nasce naquela constelação, Áries, Peixes ou Aquário, por exemplo.



- o Com o passar dos séculos, a posição do Sol no equinócio Vernal, vista por um observador na Terra, parece mudar devido ao movimento de Precessão dos Equinócios, descoberto por Hiparcos e explicado teóricamente por Newton como devido ao torque causado pelo Sol no bojo da Terra e à conservação do momentum angular.
- o A área de uma constelação é definida por uma borda imaginária que a separa no céu das outras constelações. Em 1929, a União Astronômica Internacional definiu as bordas das 88 constelações oficiais, publicadas em 1930 em um trabalho intitulado *Délimitation Scientifique des Constellations*, por Eugène Delporte, Cambridge University Press, Cambridge. A borda estabelecida entre Peixes e Aquário coloca **o início da Era de Aquário em 2602 d.C.**

- Data da Páscoa

- o A Páscoa judaica (Pesach), que ocorre 163 dias antes do início do ano judaico, foi instituída na época de Moisés, uma festa comemorativa feita a Deus em agradecimento à libertação do povo de Israel escravizado pelo Faraó, o rei do Egito. Esta data não é a mesma da Páscoa Juliana e Gregoriana.
- o O dia da Páscoa cristã, que marca a ressurreição de Cristo, de acordo com o [decreto do papa Gregório XIII \(Ugo Boncampagni, 1502-1585\), Inter Gravissimas](#) em 24.02.1582, seguindo o primeiro concílio de Nicéia de 325 d.C., convocado pelo imperador romano Constantino, **é o primeiro domingo depois da Lua Cheia que ocorre em ou logo após 21 de Março**, data fixada para o equinócio de primavera no hemisfério norte. Entretanto, a data da Lua Cheia não é a real, mas a definida nas Tabelas Eclesiásticas, que, sem levar totalmente em conta o movimento complexo da Lua, podia ser calculada facilmente, e está próxima da lua real.
- o De acordo com essas regras, **a Páscoa nunca acontece antes de 22 de Março nem depois de 25 de Abril. A Quarta-Feira de Cinzas ocorre 46 dias antes da Páscoa e, portanto, a Terça-Feira de carnaval ocorre 47 dias antes da Páscoa.**
- o **A data da Páscoa de 1980 a 2024:**

1980 Abril 6	1995 Abril 16	2010 Abril 4
1981 Abril 19	1996 Abril 7	2011 Abril 24
1982 Abril 11	1997 Março 30	2012 Abril 8
1983 Abril 3	1998 Abril 12	2013 Março 31

1984 Abril 22	1999 Abril 4	2014 Abril 20
1985 Abril 7	2000 Abril 23	2015 Abril 5
1986 Março 30	2001 Abril 15	2016 Março 27
1987 Abril 19	2002 Março 31	2017 Abril 16
1988 Abril 3	2003 Abril 20	2018 Abril 1
1989 Março 26	2004 Abril 11	2019 Abril 21
1990 Abril 15	2005 Março 27	2020 Abril 12
1991 Março 31	2006 Abril 16	2021 Abril 4
1992 Abril 19	2007 Abril 8	2022 Abril 17
1993 Abril 11	2008 Março 23	2023 Abril 9
1994 Abril 3	2009 Abril 12	2024 Março 31

- o Para calcular a data da Páscoa para qualquer ano no calendário Gregoriano, usa-se a seguinte fórmula, **com todas as variáveis e operações inteiras, com os restos das divisões ignorados**. Usa-se  $a$  para ano,  $m$  para mês, e  $d$  para dia.

$$\begin{aligned}
 c &= a/100 \\
 n &= a - [19 \times (a/19)] \\
 k &= (c - 17)/25 \\
 i &= c - c/4 - [(c-k)/3] + (19 \times n) + 15 \\
 i &= i - [30 \times (i/30)] \\
 i &= i - \{(i/28) \times [1 - (i/28)] \times [29/(i+1)] \times [(21-n)/11]\} \\
 j &= a + a/4 + i + 2 - c + c/4 \\
 j &= j - [7 \times (j/7)] \\
 l &= i - j \\
 m &= 3 + [(l+40)/44] \\
 d &= l + 28 - [31 \times (m/4)]
 \end{aligned}$$

Por exemplo, para o ano de 2000,

$$\begin{aligned}
 a &= 2000 \\
 c &= 2000/100 = 20 \\
 n &= 2000 - 19 \times (2000/19) = 2000 - 19 \times 105 = 5 \\
 k &= (20 - 17)/25 = 0 \\
 i &= 20 - (20/4) - [(20 - 0)/3] + (19 \times 5) + 15 = 20 - 5 - 6 + 95 + 15 = 119
 \end{aligned}$$



$$i=119-30\times(119/30)=119-(30\times3)=29$$

$$i=29-\{(29/28)\times[1-(29/28)]\times(29/30)\times[(21-5)/11]\}=29-\{1\times0\times0\times1\}=29$$

$$j=2000+500+29+2-20+5=2516$$

$$j=2516-[7\times(2516/7)]=2516-[7\times359]=3$$

$$l=29-3=26$$

$$m=3+[(26+40)/44]=3+1=4$$

$$d=26+28-(31\times1)=23$$

com a páscoa em 23 de abril de 2000. Este algoritmo é de J.-M. Oudin (1940) e impresso no *Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac*, ed. P.K. Seidelmann (1992).

- o **Para as igrejas ortodóxicas, a data da Páscoa é dada pelo calendário Juliano e não pelo gregoriano.**
- o **Usando a fórmula supracitada, confirme as datas da Páscoa entre 1980 e 2024, e depois calcule a data da quarta-feira de Cinzas.**