
O Tempo Real



Aula adaptada de
Fundamentos dos Sistemas de Tempo Real
Rômulo Silva de Oliveira
eBook Kindle, 2018

www.romulosilvadeoliveira.eng.br/livrotemporeal

Outubro/2018

Fundamentos dos Sistemas de Tempo Real

Tempo Real 1/2

- É o tempo do mundo físico
- É o tempo do relógio da parede
- Não é tempo simulado
 - Simulações meteorológicas
 - Videogame
- Não é um tempo lógico
 - O qual fornece uma ordem dissociada do mundo físico

Tempo Real 2/2

- Como o tempo real é medido ?
 - Relógio é o dispositivo que mede a passagem do tempo
- Todos os relógios se baseiam em:
 - Um oscilador mais ou menos estável
 - Conectado a um contador de ciclos

Quem mediu primeiro o Tempo?

- Os babilônios, povo que viveu entre 1950 a.C. e 539 a.C., na Mesopotâmia, foram os primeiros a marcar a passagem do tempo.
- Ao construir o relógio de sol, dividiram o dia em 12 partes e depois em 24, que são as horas que usamos até hoje.
- “Como usavam os sistemas numéricos duodecimal (baseado no número 12) e sexagesimal (baseado em 60), os babilônios dividiram a hora em 60 partes, ‘inventando’ o minuto

Leia mais em: <https://super.abril.com.br/mundo-estranho/quem-definiu-o-tamanho-das-horas-e-dos-minutos/>

Tempo Real: Relógios Mecânicos 1/4

- Primeiros relógios mecânicos na Europa no século XIII
 - Marcavam apenas as horas
 - Maioria dos trabalhadores precisava apenas de uma estimativa grosseira das horas
 - Visualizar o sol era suficiente para a maioria da população
 - Porém, as atividades dos monges Beneditinos seguiam uma rigorosa escala de horários (trabalho e oração)
 - Série britânica (Cadfael)
 - Filme “O Nome da Rosa”

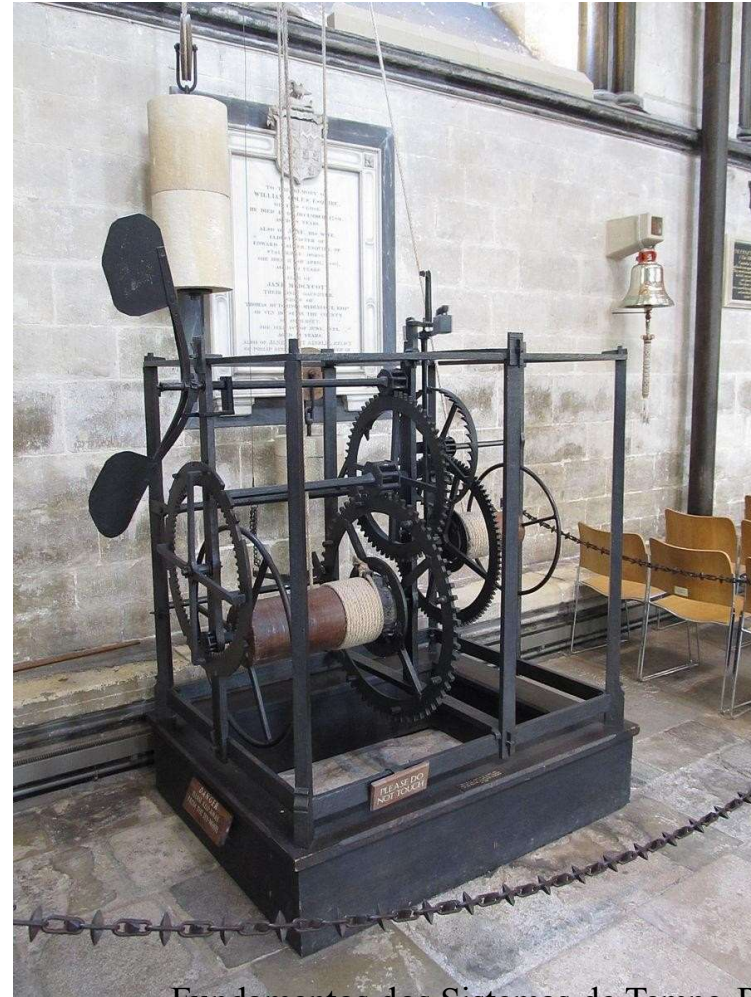
Tempo Real: Relógios Mecânicos 2/4

- Richard of Wallingford (1292-1336)
 - Abade e matemático na Abadia de St. Alban (Inglaterra)



Tempo Real: Relógios Mecânicos 3/4

- Relógio da Catedral de Salisbury (Inglaterra)
- Datado de 1386
- Relógio mecânico mais antigo da Europa em funcionamento



Fundamentos dos Sistemas de Tempo Real

Tempo Real: Relógios Mecânicos 4/4

- Em 1714, o governo Britânico ofereceu um prêmio para quem conseguisse determinar a longitude de um navio no mar
 - Cerca de US\$20M em valores atuais
- Uma solução:
 - Terra gira 360° em 24 horas
 - São 15° em 1 hora
 - Basta um relógio preciso com a hora certa de Londres
 - John Harrison recebeu o prêmio (trabalhou de 1737 a 1773)
 - Ex: Suponha que em Londres o capitão do navio ajuste seu relógio conforme a hora local. Dias mais tarde, no meio do oceano Atlântico a caminho do Caribe, ele observa que a hora local é meio-dia (observando o sol), e em Londres são 2 horas da tarde segundo o relógio. Isto indica que sua longitude é 30° a oeste de Londres.
- Filme “Longitude”, feito para a TV em 2000

Tempo Real: Relógios Astronômicos 1/7

- Como a duração de **um dia** é definida ?
- Medição do tempo baseada na **rotação da terra**
 - Movimento aparente do Sol no céu
 - Adequado para seres biológicos
- Sol no ponto aparente mais alto: Trânsito Solar
 - Trópico de Capricórnio passa em Guarulhos-SP
- Intervalo entre dois trânsitos solares: Dia Solar
- $1/(24 \cdot 3600)$ do Dia Solar: Segundo Solar

Tempo Real: Relógios Astronômicos 2/7

- O dia solar não é constante, varia ao longo do ano
 - Inclinação do eixo da Terra (vários movimentos oscilatórios)
 - Forma elíptica da órbita
 - Atração gravitacional da Lua
 - Perturbações Aleatórias
- Pode-se usar o segundo solar médio de um ano
 - Dia solar varia ± 15 minutos em torno do valor médio anual

Tempo Real: Relógios Astronômicos 3/7

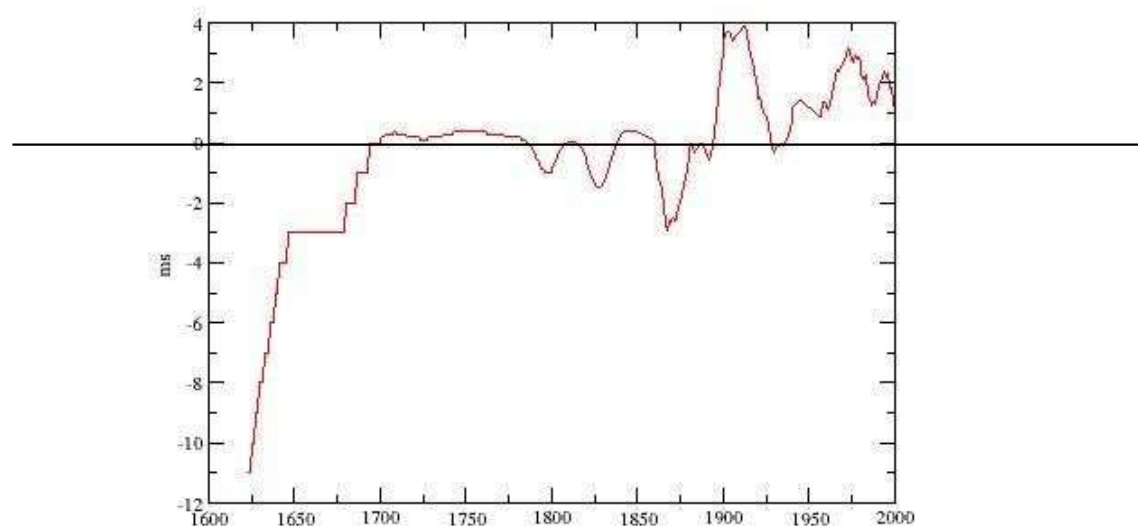
- UT (Universal Time): Tempo definido em termos da rotação da Terra em torno do seu eixo, usando o Sol como referência
 - Tempo solar médio em Greenwich (Inglaterra)
- UT0
 - Observação ótica do transito de estrelas
- UT1
 - UT0 corrigida considerando o movimento polar
 - Proporcional ao ângulo de rotação da terra, espaço como referência
- UT2
 - Correção empírica para a variação sazonal

Tempo Real: Relógios Astronômicos 4/7

- UT varia
- Flutuações aleatórias (núcleo da Terra)
 - Terremoto no Japan em 2011 encurtou o dia em 1.8us
 - Terra gira mais rápido devido à redistribuição de massa
- Constante desaceleração da rotação da Terra
 - Devido ao afastamento da Lua

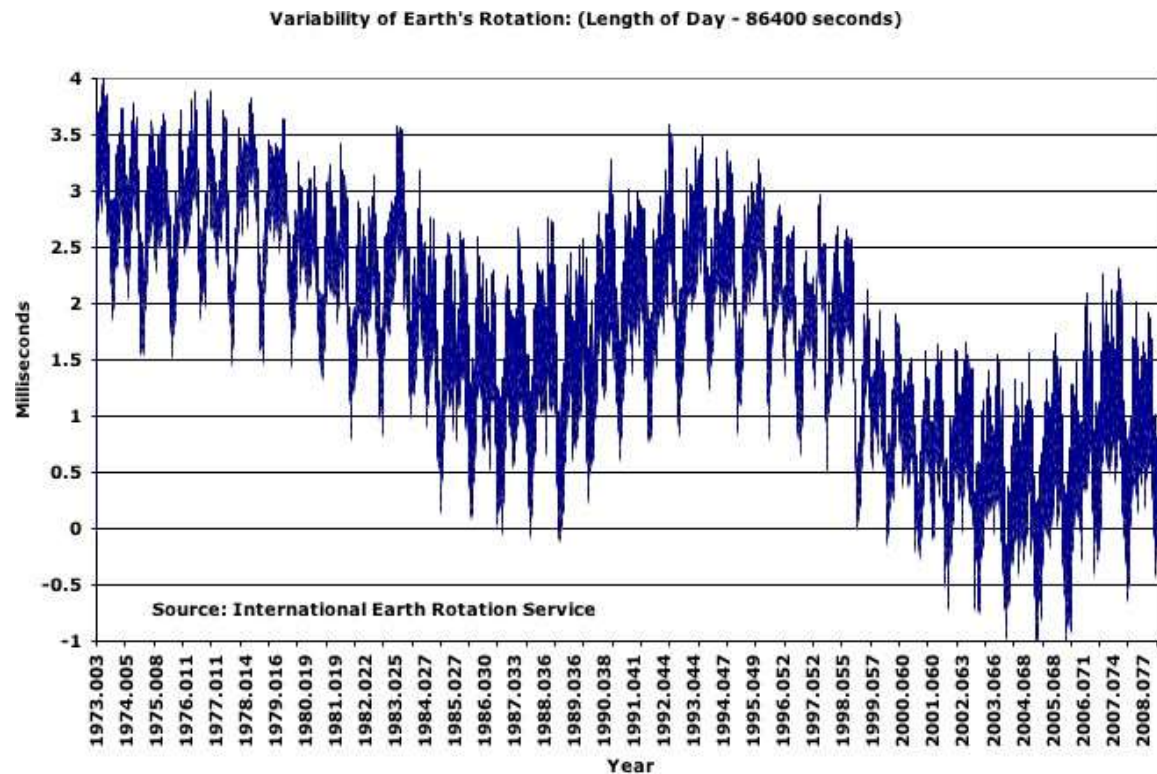
Tempo Real: Relógios Astronômicos 5/7

- Rotação da terra diminui com o tempo
 - 400 dias por ano a 300 milhões de anos atrás
 - Os dias estão ficando mais longos
 - Dia aumenta em torno de 1,7ms por século



Tempo Real: Relógios Astronômicos 6/7

- Variação da duração do dia



Tempo Real: Relógios Astronômicos 7/7

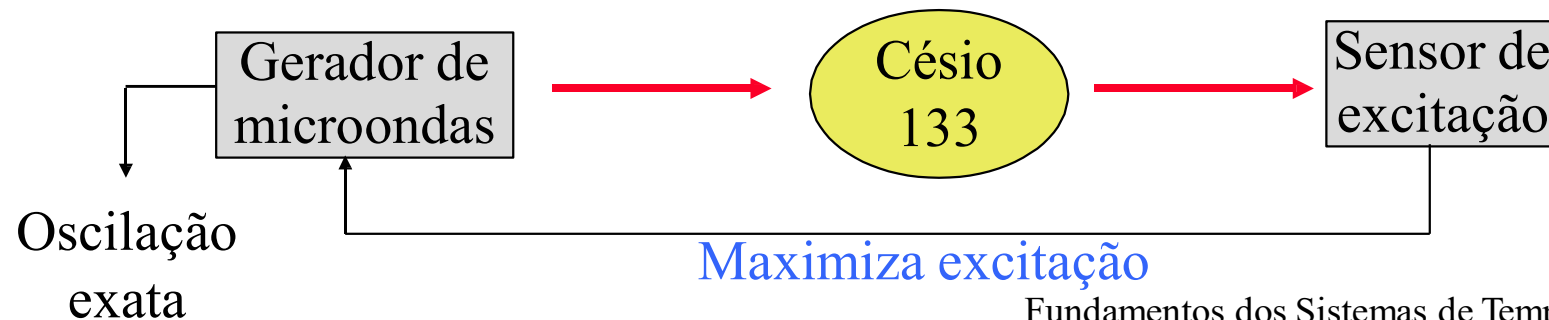
- Qual a incerteza na leitura da UT ?
 - Em torno de 1ms nos anos 1950
 - Em torno de 10us atualmente
- ET (Ephemeris Time, Efemérides)
 - Definido em 1950
 - Baseado no movimento orbital da Terra em torno do Sol
 - Mais estável que a rotação da terra em torno de seu eixo
 - Difícil de medir, criadas ET0, ET1, ET2, etc
- Porém, tudo mudou na década de 1950

Tempo Real: Relógios Atômicos 1/6

- Relógio atômico criado no final da década de 1940
- Utiliza propriedades imutáveis dos átomos
 - Frequências associadas com as transições entre estados de energia dos elétrons
- Existem hoje relógios atômicos com diversas tecnologias
 - Precisão de nanosegundos por dia

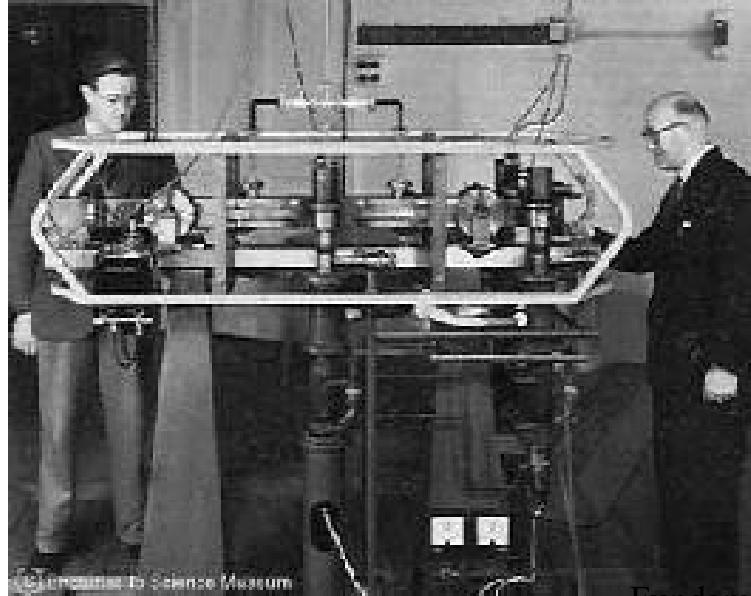
Tempo Real: Relógios Atômicos 2/6

- Átomos possuem frequências características
- Nuvem de Césio 133 atravessa uma câmara de vácuo
- Campo magnético seleciona apenas átomos em um certo estado de energia
- Átomos selecionados passam por microondas
- Na frequência exata, átomos mudam estado de energia
- Mudança de estado pode ser medida



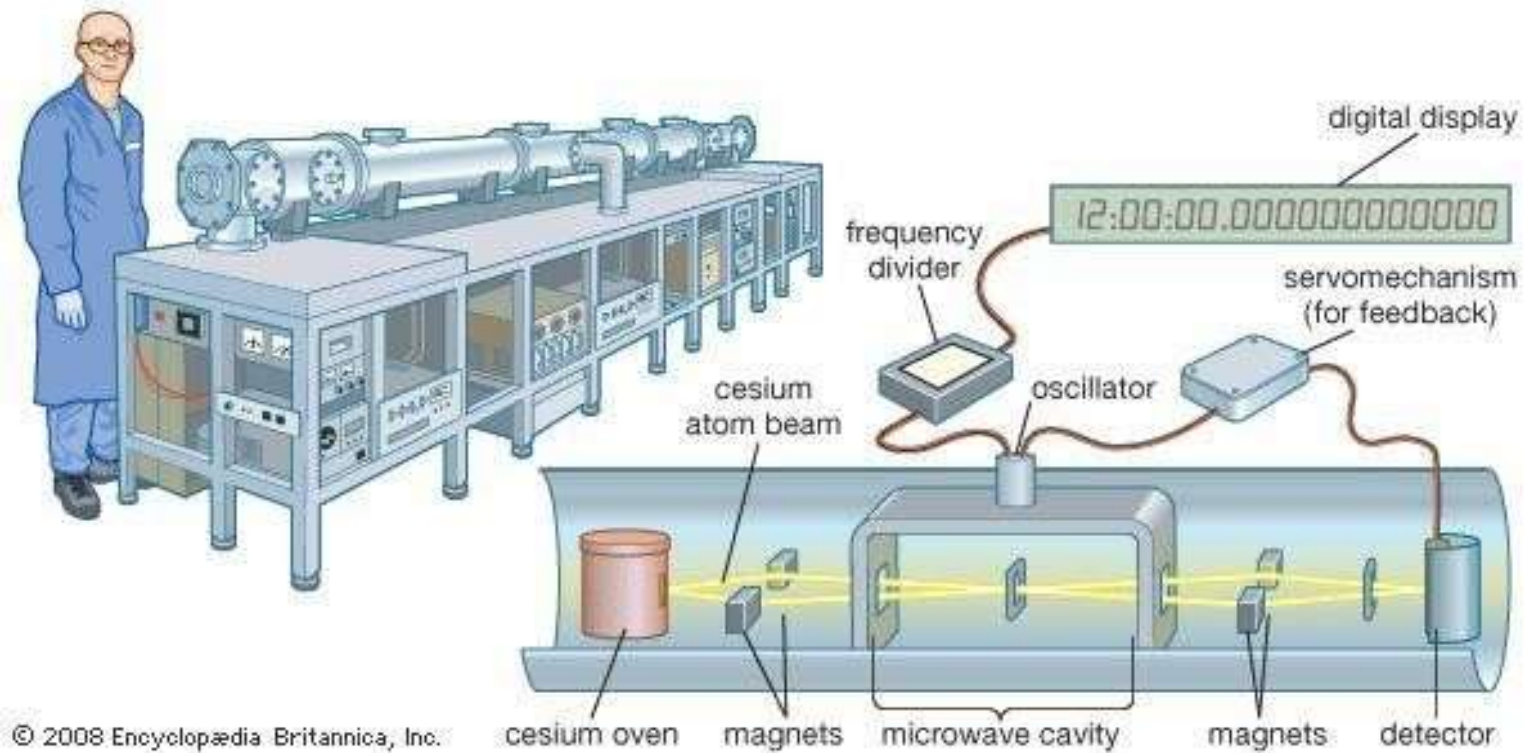
Tempo Real: Relógios Atômicos 3/6

- Relógio atômico de 1955 usando Césio 133
- National Physical Laboratory, Reino Unido
- Erro menor do que 1 segundo em 300 anos
 - Hoje é menor que 1 segundo em milhões de anos



Fundamentos dos Sistemas de Tempo Real

Tempo Real: Relógios Atômicos 4/6





NIST-F2 ATOMIC CLOCK

Tempo Real: Relógios Atômicos 5/6

- Quantos períodos desta oscilação fazem 1 segundo?
- Vários anos gastos para correlacionar a oscilação do gerada pelo relógio atômico com a hora astronômica
 - Em 1955 com a UT2
 - Depois com a ET
- Definição de **segundo atômico**: Tempo necessário para ocorrerem 9.192.631.770 períodos da oscilação obtida do átomo de césio 133
- Adotado como unidade fundamental do Sistema Internacional de Unidades em **1967**

Tempo Real: Relógios Atômicos 6/6

- Ainda na década de 1950 relógios atômicos comerciais
- Horas atômicas locais independentes
 - TA(ONRJ), Observatório Nacional no Rio de Janeiro
- Necessidade de gerar uma hora atômica média
- Média coordenada pelo Bureau International de l'Heure - BIH, Paris-França, deu origem ao TAI em 1972
 - Mais de 400 laboratórios
 - Cada laboratório informa o BIH quantos ticks ocorreram
 - BIH faz a média, produz o International Atomic Time - TAI
- Em 1988 o BIH foi dissolvido
- Definição do TAI passou para o Bureau International des Poids et Mesures

Tempo Real: UTC 1/5

- Problema:
24*3600 segundos do TAI é
cerca de 2,5 mS menor que o dia solar médio
 - Dia solar médio está ficando maior
 - Rotação da terra está ficando mais lenta
- Erro é cumulativo
 - Quase 1 segundo ao longo de 1 ano
- Usando somente o TAI:
Meio-dia do relógio e do sol ficariam diferentes

Tempo Real: UTC 2/5

- Solução é atrasar o TAI de vez enquanto para manter a sincronia com o movimento aparente do sol
- Atrasado 1 segundo de cada vez
- Sempre as 24:00 de 31 de dezembro (ou 30 de junho)
- São os chamados “leap seconds”

<https://www.timeanddate.com/time/leap-seconds-future.html>

- Este relógio atômico corrigido é chamado a partir de 1967 de

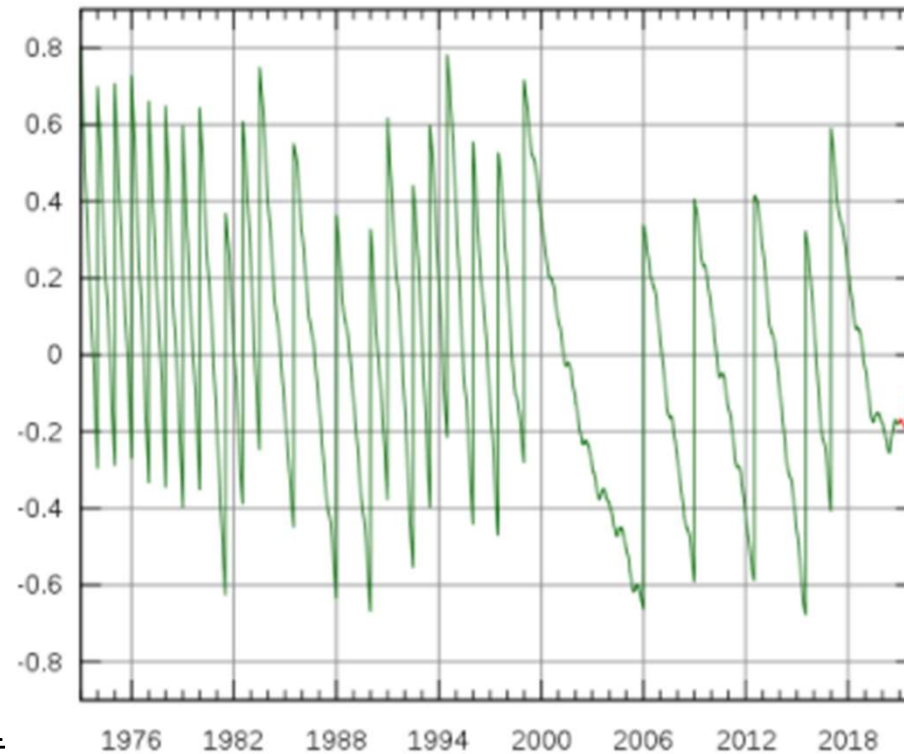
UTC - Universal Time Coordinated

Tempo Real: UTC 3/5

- Diferença máxima entre UTC e UT1 é de 0,950 s
- UTC é mantida pelo BIPM
- UTC varia conforme a TAI, mas difere por um número inteiro de segundos
 - Corrige desaceleração da Terra (a qual varia)
- Até novembro/2017 foram 37 segundos atrasados
- NENHUM *leap second* será introduzido no final de 2021 segundo a *International Earth Rotation and Reference Systems Service* (IERS)
 - A próxima data possível é 30 de junho de 2022.
 - No entanto, a rotação da Terra tem se acelerado.
- UTC é padrão oficial e de fato em todo o planeta

Tempo Real: UTC 4/5

- Diferença entre UT1 e UTC
 - Pulos verticais são os *leap seconds*



Notícias - Leap Second: Porque Adicionamos 1 Segundo de Vez em Quando? - Ambifood