



“NAVEGAR É PRECISO!”: UMA REFLEXÃO SOBRE A IMPORTÂNCIA DO DOMÍNIO DA MEDIÇÃO DO TEMPO NA NAVEGAÇÃO CONTEMPORÂNEA

*Capitão de Corveta Daniel Martins Saraiva
Leontsinis¹*

RESUMO

Este artigo aborda a importância do domínio do tempo para assegurar a capacidade de navegar com a precisão necessária. Neste contexto, ressalta-se o papel do Serviço da Hora que, no Brasil, a cargo do Observatório Nacional (ON), tem a atribuição de definir, manter e divulgar a Hora Legal Brasileira (HLB) em conformidade com os padrões internacionais de modo a guardar a sua natural coerência com a rotação da terra. Inicialmente, apresenta-se um breve histórico com alguns dos principais conceitos e métodos desenvolvidos pela humanidade a respeito do tempo e sua medição até o estágio atual, em que relógios atômicos são utilizados para assegurar precisão quase perfeita. Este avanço tecnológico tem sido útil a uma parametrização internacional da contagem do tempo de maneira a garantir a devida correlação entre a hora fisicamente determinada e aquela definida, por convenção, em prol de um sincronismo em âmbito global. Neste contexto, nota-se a relevância do Serviço da Hora para sistemas críticos em larga escala, como telecomunicações, redes elétricas, padrões de certificação eletrônica com carimbo de tempo e, especialmente, aplicações de *Positioning, Navigation and Timing* (PNT) para navegação marítima, terrestre e aeroespacial. Conclui-se que a adequada precisão temporal é imprescindível à

¹Oficial da Armada, Hidrógrafo. Chefe do Departamento de Ensino do Centro de Instrução e Adestramento Almirante Radler de Aquino – CIAARA. Email: leontsinis@marinha.mil.br

resiliência das infraestruturas de serviços essenciais à sociedade, especialmente, à navegação segura e eficaz. Tal realidade exige atenção aos riscos de interferências intencionais e fenômenos físicos naturais que podem impactar o funcionamento dos sistemas de posicionamento via satélite, *Global Navigation Satellite System (GNSS)*, os quais dependem de adequada medição do tempo. Neste diapasão, amparando-se em eventos históricos e casos recentes, aponta-se a importância de mecanismos de contingência que recorrem às técnicas basilares de navegação, a exemplo da obtenção e manutenção da hora oficial onde quer que se navegue sem o auxílio de comunicação satelital. A atividade exercida pela Divisão Serviço da Hora (DISHO) do ON brasileiro, aliada ao emprego de cronômetros marítimos a bordo dos navios da Marinha do Brasil, é um exemplo consonante com a crescente demanda por resiliência de sistemas PNT. Trata-se, portanto, da relevância do compreender e aplicar técnicas básicas, como alternativas à dependência de satélites, sobretudo, em um contexto geopolítico e geofísico que ressalta, de forma recorrente, as vulnerabilidades geradas pelo excesso de confiança em tecnologias de ponta incorporadas ao dia-a-dia dos navegantes.

Palavras-Chave: Serviço da Hora; tempo; PNT; resiliência; satélites; navegação.

ABSTRACT

This article discusses the importance of timekeeping mastery to ensure the ability to navigate with the required precision. In this context, it highlights the role of the Time Service. In Brazil, this responsibility lies with the National Observatory (ON), which is tasked with defining, maintaining, and disseminating the Brazilian Legal Time

(HLB) in accordance with international standards, thereby ensuring its natural coherence with the Earth's rotation. Initially, a brief historical overview is presented, with some of the main concepts and methods developed by humanity regarding time and its measurement, up to the current stage in which atomic clocks are used to guarantee near-perfect precision. This technological advancement has enabled the international standardization of timekeeping to ensure the proper correlation between the physically determined time and the one defined by convention, aiming at global synchronization. In this context, the importance of the Time Service becomes evident for large-scale critical systems such as telecommunications, power grids, electronic certification standards with timestamping, and, in particular, Positioning, Navigation, and Timing (PNT) applications for maritime, terrestrial, and aerospace navigation. It follows that adequate temporal precision is indispensable for the resilience of infrastructures that provide essential services to society, especially for safe and effective navigation. This reality demands attention to the risks of intentional interferences and natural physical phenomena that may affect the operation of satellite-based positioning systems, such as the Global Navigation Satellite System (GNSS), which depends on accurate time measurement. In this regard, supported by historical events and recent cases, the importance of contingency mechanisms is underscored, especially those based on fundamental navigation techniques, such as the acquisition and maintenance of official time wherever one sails without satellite communication. The work carried out by the Time Service Division (DISHO) of the Brazilian National Observatory, along with the use of marine chronometers aboard Brazilian Navy ships, is an example in alignment with the increasing



demand for resilience in PNT systems. This article thus addresses the importance of understanding and applying fundamental techniques as viable alternatives to satellite dependence, particularly within a geopolitical and geophysical context that continually underscores the vulnerabilities arising from excessive reliance on advanced technologies embedded in the daily practices of navigators.

Keywords: Time Service; time; PNT; resilience; satellites; navigation.

1. INTRODUÇÃO

É provável que boa parte dos brasileiros desconheça que existe um garantidor da medição do tempo físico como marcador oficial da história e elo de sincronismo para todas as atividades em qualquer lugar do país: o Serviço da Hora. Neste diapasão, há uma coordenação internacional dos esforços de dezenas das nações mais influentes do planeta para a determinação e manutenção do horário internacional em prol da padronização da informação horária no mundo inteiro. A importância deste serviço é das mais transversais em nossa sociedade e influencia praticamente todos os temas contemporâneos. Atendo-se, no entanto, à navegação, no contexto do conceito de *Positioning, Navigation and Timing* (PNT), que consiste em requisitos de posição, navegação e sincronismo de tempo de um sistema (NORBERTO, 2024), o tempo tem papel protagonista na medida indireta dos parâmetros que determinarão uma navegação precisa e segura. Para compreender a relevância da acurácia temporal nos sistemas clássicos de navegação até os mais atuais e seu impacto na história da humanidade, é interessante considerar que o manejo do tempo passou por diversos saltos culturais, filosóficos e técnicos ao longo dos séculos.

O tempo, de certa forma, conecta e limita a tudo e a todos em uma trama que se forma no presente, dá sentido cronológico à existência do passado e permite a projeção de um futuro. Isaac Newton, considerado “o pai da Física”, definiu o tempo como um ente absoluto, conceito que atendeu bem às aplicações para escalas de tempo, espaço e velocidade comuns ao cotidiano científico de sua época, servindo de base para o pensamento intuitivo e pragmático sobre o tempo até hoje: “O tempo absoluto, verdadeiro e matemático, por si mesmo e por sua natureza, flui uniformemente, sem relação com qualquer coisa externa e, por outro nome, é chamado duração”. (NEWTON, 1687, p. 15, tradução nossa).

Já no século XX, em meio às pressões de evolução tecnológica catalisadas pelas tensões geopolíticas que culminaram nos conflitos de escala mundial vividos por sua geração, Albert Einstein postulou que o tempo é, na verdade, relativo: “Dois acontecimentos que, para um observador, ocorrem simultaneamente em lugares diferentes, não ocorrem simultaneamente para um observador em um sistema em movimento relativo”. (EINSTEIN, 1905, p. 895). Em outras palavras, conforme a teoria do célebre físico alemão, pode-se afirmar que o tempo passa de forma diferente para um observador parado em terra firme e um outro a bordo de uma aeronave em voo.

Nesta linha de raciocínio, se fosse possível dar a cada um deles relógios sincronizados com altíssima precisão, seriam registradas diferenças observáveis na medição do intervalo de tempo de um mesmo voo. Este entendimento foi comprovado, na prática, pelo experimento de Hafele e Keating (1971) que, utilizando relógios atômicos a bordo de aeronaves em alta velocidade relativa, confirmou o novo paradigma sobre o tempo proposto

por Einstein mais de seis décadas antes: “As mudanças relativísticas no tempo do relógio foram observadas, com resultados

consistentes com as previsões das teorias da relatividade especial e geral”. (HAFELE; KEATING, 1972, p. 170).



Figura 1- Hafele e Keating e seus relógios atômicos a bordo de um avião por ocasião do experimento que comprovou as previsões de Albert Einstein. Fonte: Disponível em: <https://www.mundogump.com.br/o-estranho-experimento-hafele-keating/>. Acesso em: 5 ago. 2025.



Antes de Hafele e Keating, experimentos como o de Pound–Rebka comprovaram a afirmação teórica da Relatividade Geral de Einstein, de que a gravidade deforma o espaço-tempo e altera o ritmo de todos os processos físicos, incluindo relógios (POUND; REBKA, 1960; EINSTEIN, 1916). Este amadurecimento na percepção da realidade física do tempo também é verificável nos erros de sincronismo observados nos relógios atômicos dos satélites que compõem os *Global Navigation Satellite System* (GNSS), que necessitam de correções constantes para compensar os efeitos previstos pela Relatividade Geral e Especial (ASHBY, 2003), a exemplo do que ocorre na constelação de satélites do Global Positioning System (GPS).

Desenvolvida a partir do alicerce teórico e prático legado pela experiência de muitas gerações, a evolução tecnológica parece refletir o entendimento alcançado sobre o tempo, que se constitui, simultaneamente, objeto de estudo e veículo para o desenvolvimento da humanidade. Na contínua busca pelo melhor emprego possível do tempo, está posta a questão da capacidade que, de fato, se tem de medi-lo e controlá-lo com segurança e eficiência em benefício da sociedade contemporânea.

2. HISTÓRICO DA MEDIÇÃO E REGISTRO DO TEMPO ATÉ A ATUALIDADE

Os mais notáveis registros da antiguidade indicam que o estudo do tempo tem seu início intimamente relacionado à observação dos astros: “E disse Deus: Haja luminares na expansão dos céus, para haver separação entre o dia e a noite; e sejam eles para **sinais e para tempos determinados**, e para dias e anos” (BÍBLIA, Gênesis 1:14).

A começar pelo Sol, que durante o dia, por meio de técnicas rudimentares, a partir de cuidadoso estudo e observação diária da sombra de objetos, ao longo dos anos, alcançou-se um acompanhamento do tempo, consideravelmente satisfatório, em diversas culturas antigas. Destarte, instrumentos foram desenvolvidos, relógios de Sol foram utilizados amplamente para a medição do tempo e do espaço permitindo façanhas como o cálculo da

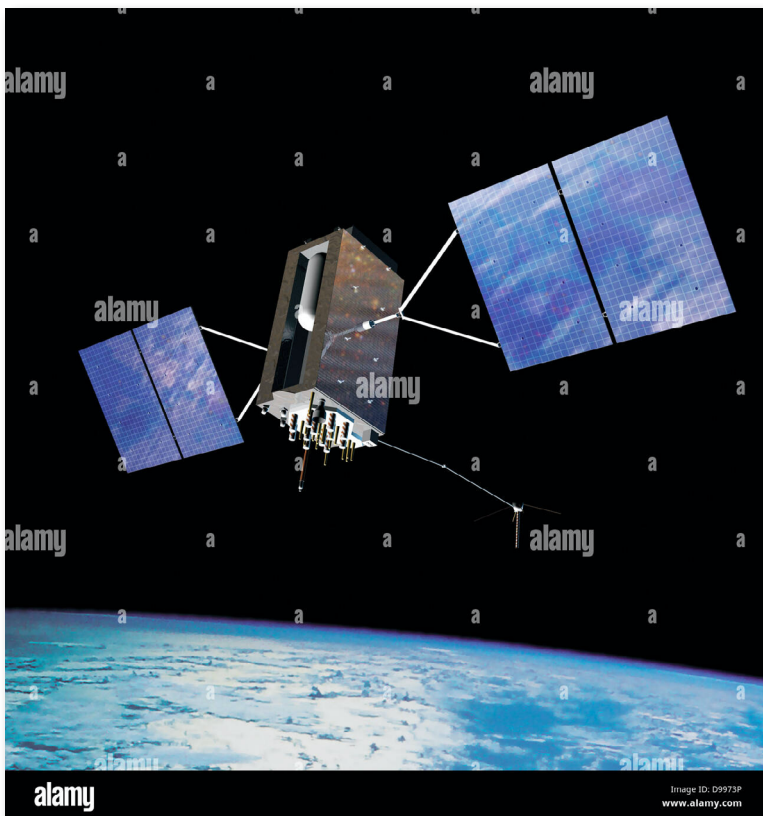


Figura 2- Satélite do GPS em órbita. Seus relógios atômicos comprovam as Teorias da Relatividade Geral e Especial de Einstein, ao apresentarem necessidade de correções decorrentes dos efeitos da velocidade relativa e do campo gravitacional sobre a passagem do tempo. Fonte: ALAMY. GPS satellite in Earth orbit. Disponível em: <https://www.alamy.com/stock-photo-gps-satellite-in-earth-orbit-57366170.html>. Acesso em: 14 ago. 2025.

circunferência aproximada da terra por Eratóstenes de Cirene no século III a.C. (HEATH, 2023).

Já para a noite, desenvolveram-se instrumentos como o “Nocturlábio” (CIÊNCIA VIVA, 2025) que, com menor precisão, permitia a observação de horários a partir da luz da Lua e de certas estrelas cujo movimento nos céus já era conhecido e registrado pelos antigos. Ainda, para momentos em que não havia céu claro para observar os astros, desenvolveram-se ampulhetas



Figura 3- Nocturlábio: instrumento utilizado, principalmente entre os séculos XIV e XVI, para medir o tempo, no período da noite, e estimar a longitude a partir de astros cujos movimentos no céu eram conhecidos. Fonte: Disponível em: <https://www.lojadomuseudemarinha.pt/pt/nocturlabio-girolamo-della-volpaia.html>. Acesso em: 5 ago. 2025.

(relógios de areia), pepsidras (relógios de água) até que as técnicas se aprimoraram e chegamos aos relógios de pêndulo, cordas, ponteiros e digitais, que ainda figuram no horizonte contemporâneo na medida em que entregam satisfatória precisão e praticidade ao dia-a-dia da sociedade.

Atualmente, entre as tecnologias mais avançadas de medição do tempo, estão os relógios atômicos que utilizam elementos como césio, hidrogênio, rubídio e estrôncio. De acordo com o Bureau Internacional de Pesos e Medidas (BIPM, 2019) e com a revista Visão (2024), os mais precisos entre os relógios atômicos atuais podem levar de 300 milhões a 30 bilhões de anos para apresentar erro da ordem de um segundo.

2.1. O SERVIÇO DA HORA

Apesar do elevado patamar alcançado pela ciência, nenhum destes avanços técnicos prescindem do ajuste fundamental, físico, concreto, fruto da observação efetiva dos movimentos astronômicos: o devido acompanhamento da rotação da terra e seu movimento relativo ao sol, que indica a duração exata de cada dia, o ciclo de um ano e suas estações. Atualmente, essas informações são meticulosamente estudadas e registradas pelo *International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS)*, que mede o “horário físico”, diretamente atrelado à rotação da Terra, o chamado Tempo Universal (TU)², subsídio primário para a padronização da hora internacional.

²O Tempo Universal (TU ou TU1) equivale à média do tempo solar médio observado no primeiro meridiano de Greenwich e substituiu oficialmente a designação “Hora Média de Greenwich” (HMG), ou *Greenwich Mean Time* (GMT), como parâmetro internacional para a definição do tempo físico, sendo obtido por observações astronômicas diretas e corrigido dos efeitos de pequenos movimentos da Terra em relação ao seu eixo de rotação (variação polar). Referências: BRASIL. Marinha do Brasil. Diretoria de Hidrografia e Navegação. Lista de *Auxílios-Rádio 2025–2029*. 15. ed. Niterói: Centro de Hidrografia da Marinha, 2024; ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA. Universal Time. Trad. nossa. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/Universal-Time>. Acesso em: 14 ago. 2025.



O ente responsável por essa padronização é o *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM)³, do qual o Brasil é considerado um dos Estados Membros fundadores desde a assinatura da Convenção do Metro em Paris, no dia 20 de maio de 1875 (BIPM, 2025). Para cumprir sua atribuição, o BIPM integra dados provenientes de 77 observatórios ou laboratórios metrológicos equipados com centenas de relógios atômicos distribuídos ao redor do globo. O fruto da compilação desses relógios atômicos, é o Tempo Atômico Internacional (TAI), que garante estabilidade e uniformidade temporal à informação horária. Para promover coerência entre o TAI e o TU, foi estabelecido o Tempo Universal Coordenado (UTC), que, ao ser criado em 1972, recebeu um ajuste inicial (*offset*) de 10 segundos em relação ao TAI. Desde então, para manter a diferença entre o UTC e o TU menor que 0,9 segundo, são inseridos **segundos intercalares** de forma periódica, conforme as necessidades motivadas por fatores geofísicos e aplicadas na forma de recomendações oportunas do IERS ao BIPM (BIPM, 2025; IERS, 2025).

Desta forma, pode-se dizer que, desde de 1972, o trabalho coordenado de 64 Estados Membros do BIPM, além

da colaboração de 39 países associados, organiza a informação horária no mundo para a determinação o mais precisa e sincronizada possível do horário internacional: o UTC. É neste contexto que, nos dias de hoje, o Serviço da Hora no Brasil, a cargo do Observatório Nacional (ON), cumpre sua missão de estabelecer, manter e difundir, por todos os meios disponíveis, o horário legal e científico em todo o território nacional (MARINHA DO BRASIL, 2024). O ON dispõe de estrutura que mantém e utiliza relógios atômicos bem como relaciona-se com o BIPM de maneira a representar o Brasil como membro dessa organização e contribuir para o mencionado cálculo do UTC.

A figura a seguir descreve o fluxo simplificado da informação horária com a devida validação e disponibilização ao usuário final da Hora Legal Brasileira (HLB) via internet e por radiodifusão. Os métodos especificados no fluxograma são utilizados pelo ON de maneira a garantir a conformidade da HLB com o UTC, a partir de parâmetros definidos pelo BIPM, o que viabiliza a informação horária nacional como dado preciso e amplamente reconhecido para aplicações científicas, tecnológicas e cotidianas.

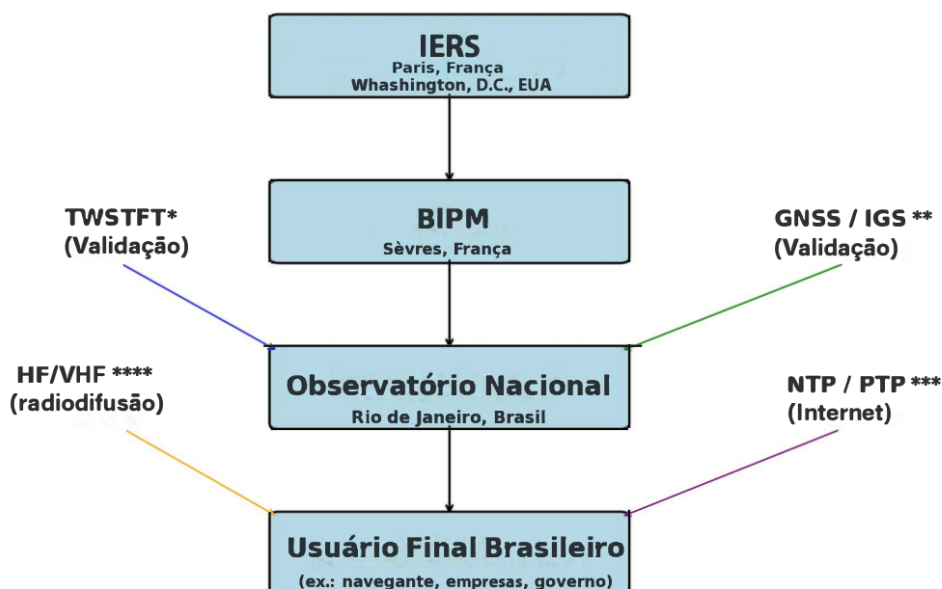


Figura 4- Hora Legal Brasileira (HLB). Fonte: Elaborado pelo autor com base em: BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES (BIPM). BIPM. 2025. Disponível em: <https://www.bipm.org>. Acesso em: 14 ago. 2025. INTERNATIONAL EARTH ROTATION AND REFERENCE SYSTEMS SERVICE (IERS). Disponível em: <https://www.iers.org>. Acesso em: 14 ago. 2025. OBSERVATÓRIO NACIONAL (Brasil). Tempo e Frequência. Disponível em: <https://www.gov.br/observatorio/pt-br/assuntos/areas-de-atuacao/tempo-e-frequencia>. Acesso em: 14 ago. 2025. OBSERVATÓRIO NACIONAL (Brasil). Rádio-Difusão de Sinais Horários. Disponível em: <http://www.horalegalbrasil.mct.on.br/RadioDifusaoSinaisHorarios.html>. Acesso em: 14 ago. 2025.

* Two-Way Satellite Time and Frequency Transfer (TWSTFT): técnica bidirecional via satélite geostacionário que proporciona comparações de tempo com elevada precisão, comumente utilizada em relações com o BIPM e laboratórios internacionais de tempo.

** GNSS/IGS: utilização de receptores geodésicos GNSS – Global Navigation Satellite System e processamento via IGS – International GNSS Service⁴, com métodos Precise Point Positioning (PPP) e GPS Common-View⁵, para assegurar rastreabilidade da HLB ao UTC via comparações contínuas com o BIPM.

*** NTP/PTP: protocolos que permitem ao ON disponibilizar a HLB via Internet — o NTP é amplamente utilizado nacionalmente, enquanto o PTP (IEEE 1588) oferece precisão sub-microsegundos em redes locais.

**** HF/VHF – a Divisão Serviço da Hora (DSHO) do ON dissemina a HLB por radiodifusão na faixa de HF (10 MHz) e VHF (166,53 MHz e 171,13 MHz). Esse sistema de transmissão visa atender metas de cobertura nacional e apoio à navegação, sem caráter de validação metrológica (OBSERVATÓRIO NACIONAL, 2025).

⁴O *Global Navigation Satellite System (GNSS)* é o termo genérico para sistemas globais de navegação por satélite, como GPS (EUA), GLONASS (Rússia), Galileo (União Europeia) e BeiDou (China), utilizados para posicionamento, navegação e tempo (PNT) em escala mundial. Já o *International GNSS Service (IGS)* é uma rede científica internacional que coleta e processa dados GNSS, gerando produtos de alta precisão, como órbitas e correções de relógio, para aplicações em geodésia, metrologia do tempo e pesquisas geodinâmicas.

⁵*Precise Point Positioning (PPP)* – técnica que utiliza dados de sistemas GNSS com medições precisas de fase e pseudodistância, acrescidas de correções refinadas de órbita e relógio, atingindo elevada precisão no alinhamento de tempo e frequência, com erros da ordem de centésimos de segundo ou menores. *GPS Common-View* – procedimento no qual dois laboratórios observam simultaneamente o mesmo satélite GNSS; ao comparar as medições e subtrair os erros comuns, obtêm-se resultados com precisão inferior a 1 nanosegundo (JUNQUEIRA, 2015; LEWANDOWSKI; PETIT, 1999).



Figura 5- Foto da sede do Observatório Nacional, instituição científica que, subordinada ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), é responsável pela determinação, conservação e disseminação Hora Legal Brasileira. Abaixo, a foto de exemplar do Padrão atômico de Maser de hidrogênio (à direita) e de conjunto de Padrões atômicos de feixe de césio (à esquerda).

Fonte: Elaborado pelo autor com base em: OBSERVATÓRIO NACIONAL (Brasil). Hora Legal Brasileira. Disponível em: <http://www.horalegalbrasil.mcti.gov.br/PadroesNacionaisTF.html>. Acesso em: 5 ago. 2025.

CIUFFO, Leandro. Fachada do Museu de Astronomia e Ciências Afins, antiga sede do Observatório Nacional. Fotografia, Rio de Janeiro, 25 jan. 2011. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Observat%C3%B3rio_Nacional#/media/Ficheiro:Observat%C3%B3rio_Nacional_%285388501749%29_%282%29.jpg. Licença Creative Commons Atribuição 2.0 Genérica (CC BY 2.0). Acesso em: 14 ago. 2025.

Este tipo de serviço, que envolve esforços nacionais e internacionais, permite a sincronização a nível global de atividades que envolvem infraestruturas críticas em larga escala de telecomunicações, redes elétricas, sistemas financeiros, carimbo de tempo para autenticação eletrônica internacional⁶, transportes e, principalmente, as aplicações ligadas ao conceito de PNT. Levanta-se, neste contexto, a seguinte reflexão: quais são os desafios impostos a esta geração no que tange à resiliência destes serviços básicos em um ambiente de instabilidade internacional? Atualmente, esforços das grandes potências militares do planeta apontam na direção do uso de técnicas de “spoofing”⁷ e “jamming”⁸, reduzindo a confiabilidade dos principais sistemas utilizados para a navegação marítima, que tem seu funcionamento baseado no correto e suficientemente preciso domínio da variável tempo.

Além das turbulências geopolíticas no mundo, o contexto geofísico tem chamado a atenção: nos últimos cinco anos, observações científicas têm revelado uma inesperada aceleração da rotação da Terra, resultando na redução do chamado “Length of Day” (LOD), a duração fisicamente mensurável do dia. Se esse fenômeno persistir nos próximos anos, será necessária a adoção de um segundo intercalar negativo – uma medida nunca antes aplicada na história da cronometria planetária (TIME, 2025).

Com o propósito de manter a adequada sincronia entre o padrão internacional (UTC) e o tempo baseado

⁶O **carimbo de tempo** é um serviço que associa a Hora Legal Brasileira a um documento eletrônico, garantindo registro oficial de data e hora, com base nos padrões de tempo mantidos pelo Observatório Nacional. Esse mecanismo integra a Infraestrutura de Chaves Públicas Brasileira (ICP-Brasil) e atende requisitos técnicos e normativos reconhecidos nacional e internacionalmente, permitindo a certificação eletrônica de documentos com validade jurídica e interoperabilidade global (OBSERVATÓRIO NACIONAL, 2025)

⁷**Spoofing**: técnica de falsificação de sinais GNSS com o objetivo de enganar receptores e induzi-los a calcular posições incorretas. **Fonte**: SCOTT, L. *A conceptual framework for GNSS signal authentication and integrity*. In: ION GNSS 2003 – *Proceedings of the 16th International Technical Meeting of the Satellite Division*. Portland: *The Institute of Navigation*, 2003. p. 688–699.

⁸**Jamming**: interferência intencional ou acidental que bloqueia os sinais GNSS, por meio da emissão de ruído na mesma faixa de frequência. **Fonte**: DENARO, R. P.; HUMPHREYS, T. E. *GNSS Spoofing and Jamming: A Guide for Civilian Users*. Austin: The University of Texas Radionavigation Laboratory, 2019. Disponível em: <https://radionavlab.ae.utexas.edu/images/stories/files/papers/sjbrief.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2025.

estritamente na rotação da Terra (TU), desde 1972 foram inseridos 27 segundos intercalares positivos, ou seja, acrescidos ao UTC, sendo o último deles em 1º de janeiro de 2017, segundo os registros atualizados (NIST, 2025). Diante Um possível e inédito segundo intercalar negativo, levanta preocupações técnicas quanto à compatibilidade de sistemas de tecnologia da informação e redes interligadas globalmente, observa-se um aumento da atividade solar, com registro de manchas e tempestades que

podem afetar a ionosfera e, por conseguinte, impactar diretamente a propagação de sinais de radiofrequência, inclusive os utilizados por sistemas GNSS (KLARREICH, 2023). Esses riscos de ordem geofísica reiteram a urgência de estratégias de resiliência temporal, como o uso de backups terrestres e o domínio das técnicas tradicionais de navegação baseadas na observação e na manutenção autônoma da hora legal como medida de prudência em um cenário de indisponibilidade dos sistemas de navegação via satélite.

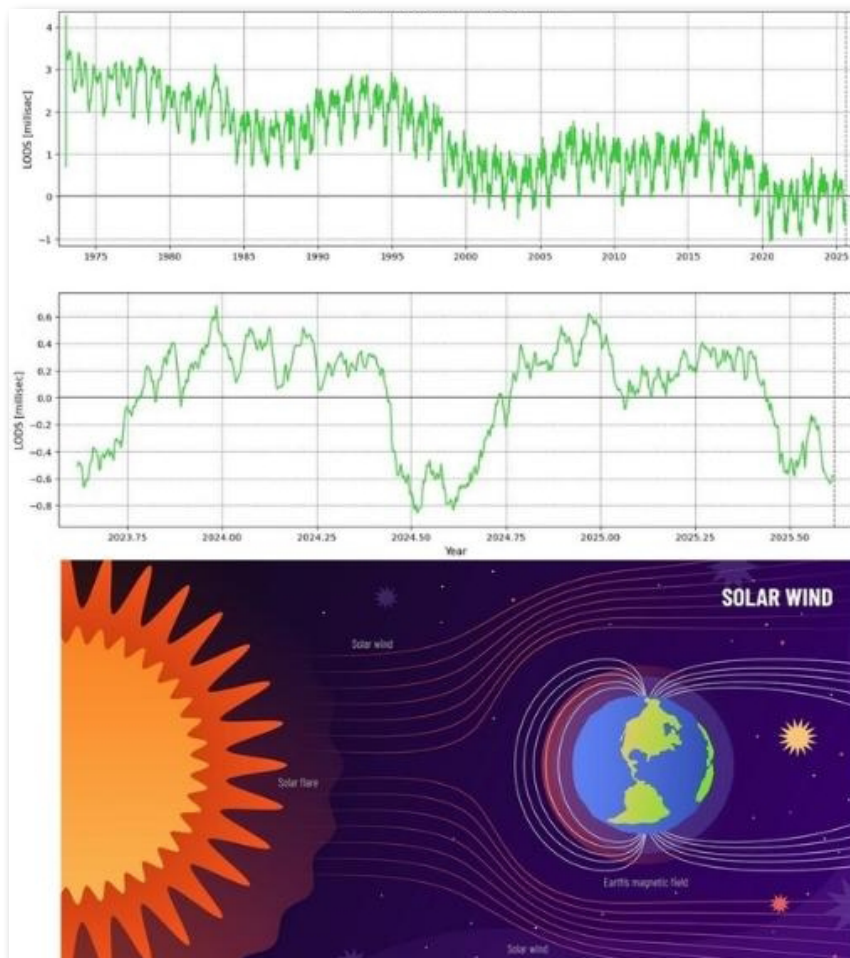


Figura 6- Preocupações Geofísicas: a tendência inédita de encurtamento da LOD (duração do dia físico) observada nos últimos cinco anos (gráfico da figura mostra, em milissegundos, médias negativas da variação do LOD a partir de 2020); e o risco significativo de tempestades solares que, a depender da intensidade, podem afetar infraestruturas de comunicação ao comprometer o campo magnético terrestre. Fonte: Elaborado pelo autor com base nos sites: www.iers.org/ IERS/EN/DataProducts/EarthOrientationData/eop.html; www.freepik.com/free-vector/solar-wind-protection-solar-storm-shield-earth-magnetic-field_229548-3469.htm.



Figura 7- Complexo gerenciamento do tempo: painel de partidas em estação de trem na Itália ilustra a importância da resiliência temporal para garantir a normalidade em situação de contingência. Fonte: WIRESTOCK. Naples, Italie – 20 juin 2021 : tableau de bord électronique avec les horaires des trains passant par la gare ferroviaire centrale de Naples. 123RF. Disponível em: https://fr.123rf.com/photo_176545419_naples-italie-20-juin-2021-tableau-de-bord-%C3%A9lectronique-avec-les-horaires-des-trains-passant-par-la-.html. Acesso em: 05 ago. 2025.

2.2. Breve histórico da medição do tempo no âmbito da navegação marítima

Quando se trata de navegação marítima, pouco antes do surgimento de cronômetros marítimos de alta precisão, a medição do tempo embarcado amparava-se no uso de ampulhetas, geralmente projetadas para medir, por exemplo, intervalos de 30 minutos. Tais dispositivos, de simples construção e confiável regularidade, em seus diferentes tamanhos e intervalos de tempo registrados, eram empregados para marcar o início e fim de um quarto de serviço ou registrar o tempo decorrido entre medições de velocidade como subsídio para a estimativa da distância percorrida por meio da navegação estimada segundo as técnicas da época. Apesar dos relógios de pêndulo já existirem naquele tempo e serem comuns em terra firme, mostravam-se impróprios para embarcações, devido à instabilidade provocada pelo balanço do mar e às variações de temperatura e umidade, que afetavam diretamente sua precisão.

Essas limitações evidenciaram a necessidade de um instrumento mais robusto e confiável para uso náutico.



Figura 8- Ampulheta Marinha de 30 Minutos: Instrumento de Navegação nos Séculos XV–XIX. Fonte: WIKIPEDIA. Marine sandglass. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Marine_sandglass. Acesso em: 05 ago. 2025.



Figura 9- Relógio de pêndulo livre (Shortt-Synchronome free pendulum clock), apesar de muito preciso em terra, não seria útil a bordo de um navio. Fonte: WIKIPEDIA. Shortt-Synchronome clock. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Shortt%E2%80%93Synchronome_clock. Acesso em: 05 ago. 2025.

Sabe-se, porém, que momentos críticos da história, normalmente, impõem a tomada de grandes decisões que impulsionam atitudes persistentes na busca de novas soluções para os problemas complexos que se apresentam. Exemplo disto foi o fatídico naufrágio ocorrido em 22 de outubro de 1707, quando a esquadra inglesa, sob o comando de Sir Cloudesley Shovell (1650-1707), sofreu uma grande perda nas ilhas Scilly, resultando na morte de mais de 2.000 marinheiros. Em decorrência desse desastre, a Rainha Ana, por meio do Parlamento e do Almirantado Inglês, aprovou em 1714 o *Longitude Act*, que instituiu um concurso para premiar aquele que desenvolvesse um cronômetro



Figura 10- Cronômetro Marítimo H4 de John Harrison, vencedor do Concurso da Longitude. Fonte: SJX WATCHES. In-Depth: The Microscopic Magic of H4, Harrison's First Sea Watch. Disponível em: <https://watchesbysjx.com/2019/09/john-harrison-marine-chronometer-h4-diamond-pallets.html>.

marítimo capaz de determinar a longitude com um erro máximo de dois minutos de arco, oferecendo uma recompensa de £ 20 mil (aproximadamente £ 3,3 milhões em valores atualizados) para o vencedor.

Após décadas de pesquisa e aprimoramentos técnicos, John Harrison (1693–1776), relojoeiro autodidata de Yorkshire, construiu, em 1759, o cronômetro H4, modelo considerado suficientemente preciso, com deriva média inferior a um segundo por dia, durante a viagem de teste até a Jamaica, em 1761.

Esse instrumento revolucionou a navegação marítima, proporcionando confiabilidade e precisão inéditas para o posicionamento em alto-mar. Graças a essa tecnologia, comandantes renomados como o Almirante Horatio Nelson (1758 - 1805), da Marinha Real Britânica, e, posteriormente, o Almirante Joaquim Marques Lisboa (1807 - 1897), o Marquês de Tamandaré, patrono da Marinha do Brasil, puderam usufruir de soluções mais seguras para suas campanhas navais, reduzindo drasticamente o risco de encalhes e naufrágios. Tornou-se tão relevante a então nova tecnologia no cotidiano naval, que o jovem Joaquim Marques Lisboa, por ocasião de sua missão voluntária a bordo da Fragata *Nictheroy*⁹ em 1823, teve mencionado o fato de que foram-lhe confiados os cronômetros marítimos do navio, como relatou seu Comandante, o Capitão de Mar e Guerra John Taylor, em ofício elogioso ao Ministro da Marinha da época, em favor de sua promoção ao posto de segundo-tenente (BOITEUX, 1937).

⁹A fragata *Nictheroy* integrou a esquadra brasileira de 1823, sob o comando do Capitão-de-Fragata John Taylor, desempenhando papel crucial nas ações navais da Guerra de Independência do Brasil. A embarcação participou do bloqueio e das perseguições à esquadra portuguesa, garantindo a soberania marítima do novo Império. Nessa missão histórica, embarcou o jovem Joaquim Marques Lisboa — futuro Almirante Tamandaré, Patrono da Marinha do Brasil —, que deu seus primeiros passos na carreira naval, contribuindo diretamente para o sucesso das operações navais.

BRASIL. Marinha do Brasil. Viagem da Fragata Niterói em 1823 (Independência do Brasil). Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/dphdm/viagem-da-fragata-niteroi-em-1823>. Acesso em: 3 ago. 2025;

ALMEIDA, Francisco Eduardo Alves de. Independência do Brasil: aspectos militares. Revista do Clube Naval, Rio de Janeiro, n. 403, p. 29, 2022.



Dada a importância deste avanço tecnológico conquistado para a navegação marítima, surgiram dispositivos em terra para acertos diários para fazer valer a precisão alcançada por estes novos medidores do tempo no mar. Exemplos notáveis desta infraestrutura em terra são a “Time Ball”¹⁰, em Greenwich, no Reino Unido e a instalação de dispositivo para emissão de sinal luminoso ao meio-dia no alto da torre da Ilha Fiscal no Rio de Janeiro como “Serviço da Hora para o mar”¹¹.



Figura 11- Time Ball de Greenwich, dispositivo visual para acerto de relógios. Fonte: OAKLEY, Malcolm. Greenwich – A Place of Time and Space. Easy Malc, 2021. Disponível em: <https://www.easymalc.co.uk/greenwich-a-place-of-time-and-space/>. Acesso em: 05 ago. 2025.



Figura 12- Ilha Fiscal, em cuja torre operava o “Serviço da Hora para o Mar”, que disparava sinal visual ao meio-dia mediante a deflagração de carga de magnésio para indicar a Hora Legal aos navios nas proximidades do Porto do Rio de Janeiro. Fonte: GUIA VIAJAR MELHOR. Um castelo no Rio de Janeiro: conheça a história da Ilha Fiscal. 15 nov. 2022. Disponível em: <https://guiaviajarmelhor.com.br/um-castelo-no-rio-de-janeiro-conheca-a-historia-da-ilha-fiscal/>. Acesso em: 05 ago. 2025.



Figura 13- Cronômetro Marítimo Ulysse Nardin de quartzo, utilizado atualmente no Navio Hidroceanográfico Faroleiro “Almirante Graça Aranha”. Fonte: Acervo fotográfico pessoal do autor.

¹⁰A *Time Ball* [esfera do tempo] é um dispositivo histórico utilizado para sinalizar a hora exata aos navegantes, especialmente no século XIX. Foi instalada em 1833 e localiza-se no Observatório Real de Greenwich, no Reino Unido. Ela caía diariamente às 13h, no horário de Greenwich, servindo como referência visual para o ajuste dos cronômetros marítimos, essenciais à determinação da longitude no mar. Este tipo de procedimento visual de “acerto de relógios” tornou-se fundamental para a navegação precisa no período anterior à transmissão da hora via rádio e ao GNSS.

ROYAL MUSEUMS GREENWICH. *What is the Greenwich Time Ball and how does it work?* Disponível em: <https://www.rmg.co.uk/stories/time/greenwich-time-ball-one-time-all>. Acesso em: 3 ago. 2025.

¹¹O “Serviço da Hora para o Mar” funcionava na Ilha Fiscal que, localizada na Baía de Guanabara (Rio de Janeiro), abrigou as instalações da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). Conforme registros históricos, um pêndulo de precisão mantinha a hora legal do Rio de Janeiro, e, a partir dele, um comando eletromagnético era transmitido para inflamar uma **carga de magnésio no alto da torre da Ilha Fiscal às 12h, horário local**. Esse sinal visual diário servia para o ajuste dos cronômetros marítimos a bordo dos navios atracados ou fundeados nas proximidades do porto do Rio de Janeiro, oferecendo uma referência confiável e sincronizada com os padrões da época para uma navegação segura MARINHA DO BRASIL. *Livro do Centenário da Diretoria de Hidrografia e Navegação: 1876–1976*. Rio de Janeiro: DHN, 1976. p. 91.



Figura 14- Cronômetro marítimo John Pool mecânico de corda, utilizado na Marinha do Brasil no século XX. Fonte: Elaborado pelo autor com base no acervo fotográfico pessoal do Diretor de Hidrografia e Navegação.

2.2. CENÁRIO ATUAL

Este tipo de avanço impulsionado por amargas experiências, como o naufrágio das Ilhas Scilly, deve inspirar a humanidade a superar os atuais desafios e valorizar os conhecimentos básicos e em profundidade técnica suficiente para que sejamos capazes de recorrer aos princípios fundamentais das ciência e arte empregados pelos nautas que alcançaram o porto almejado ao longo da história. A clássica poesia que diz “Navegar é preciso...” (Pessoa, XIX) carrega a verdade sobre a navegação em duas facetas: aventurar-se no mar é necessário e requer acurácia para fazê-lo com eficiência em cada situação que se apresentar.

Em um estudo sobre liderança no contexto de grandes naufrágios recentes com significativas perdas materiais e humanas, chegou-se à conclusão de que, dentre os principais problemas identificados foi o “pouco conhecimento verdadeiro” (CORDEIRO,2025)¹² em que se observou, como traço comum aos acidentes, a falta de conhecimento profundo como um dos responsáveis pelo mau gerenciamento de passagem e consciência situacional inadequada na conduta dos envolvidos. Esta falta de profundidade técnica se traduz em lacunas de entendimento de princípios básicos, como, por exemplo, a importância do cronômetro marítimo aferido e seus desdobramentos na navegação astronômica em uma eventual falha dos sistemas mais complexos, como o GNSS, disponíveis em escala global, tais como o famoso GPS.



Figura 15- Fragata da Marinha Norueguesa KHM Helge Ingstad (Entre as causas do Naufrágio foram apurados erros básicos de gerenciamento de passagem e consciência situacional). Fonte: NAVAL.COM.BR. Fragata norueguesa quase totalmente submersa após colisão. Disponível em: <https://www.naval.com.br/blog/2018/11/13/fragata-norueguesa-quase-totalmente-submersa-apos-colisao/>.

¹²Expressão utilizada pelo Capitão de Fragata VINÍCIUS MATHEUS DE OLIVEIRA CORDEIRO, Instrutor de Liderança da Escola Naval Brasileira (primeira e mais antiga Instituição de nível superior em atividade no País), durante palestra proferida em 15 de abril de 2025, por ocasião do Colóquio de Liderança organizado pelo Centro de Instrução Almirante Alexandrino, a bordo da Escola de Aprendizes-Marinheiros do Espírito Santo.



Momentos emblemáticos, como o ataque às torres gêmeas no dia 11 de Setembro de 2001, mostraram ao mundo e, especialmente, aos que conduzem atividades ligadas à navegação, que os sistemas GNSS podem ser manipulados a depender das circunstâncias, deixando aqueles que, deles têm excessiva dependência, à mercê de riscos inaceitáveis à segurança do pessoal e material. Há, ainda, episódios recentes no conflito entre Rússia e Ucrânia em que se observam interferências claras e documentadas no sinal GNSS nas regiões de combate ou no Teatro de Operações. Ademais, observamos nos últimos anos demonstrações de capacidade de destruição de satélites em órbita, dentre outras fragilidades dos sistemas de posicionamento GNSS.

Neste contexto, chama atenção o movimento da US Navy, a Marinha dos Estados Unidos da América (EUA): segundo o relato do Capitão de Fragata (RM1) Jacques de Oliveira Rocha Lima¹³, Instrutor da disciplina Navegação Astronômica da Escola Naval Brasileira, por volta do ano de 2015, representantes da Academia Naval de Annapolis, principal instituição de ensino para formação de oficiais da *US Navy*, contactaram-no para obter subsídios para o retorno da navegação astronômica ao currículo da formação dos oficiais estadunidenses, tal como se ensina aos oficiais brasileiros, ininterruptamente, desde a fundação de nossa Escola Naval.

De fato, em 2015, após quase duas décadas sem ensino de navegação astronômica, a Academia Naval dos Estados Unidos reintroduziu a disciplina na formação de seus oficiais (KNIBBS, 2015). Aparentemente, a motivação para a essa decisão da *US Navy* conecta-se com a perspectiva de que certos incidentes e

ameaças evidenciaram a necessidade de que seus navios de guerra tenham máxima resiliência por meio da formação de tripulações que tenham condições, sempre que necessário, de recorrer às técnicas mais tradicionais de navegação.



Figura 16 – CF (RM1) Rocha Lima, Instrutor de navegação astronômica da Escola Naval em aula. Fonte: Acervo pessoal do CF(RM1) Rocha Lima.

3. CONCLUSÃO

Em um mundo conturbado com crescentes disputas geopolíticas e acostumado à complexidade tecnológica, observa-se um afastamento dos princípios básicos de funcionamento das tecnologias já consideradas imprescindíveis ao cotidiano da sociedade e, em especial, ao navegante. Em situação de emergência, independente

¹³Entrevista pessoal concedida ao autor, no Rio de Janeiro, em junho de 2025. Comunicação pessoal não publicada.

da causa, mostra-se imperativo, no âmbito da navegação, como atividade de caráter estratégico para o País, assegurar a capacidade de navegar independentemente dos avançados sistemas de navegação satelital (GNSS), o que requer certas medidas, consideradas arcaicas por alguns.

A prática da navegação astronômica, a existência da carta em papel e de cronômetros marítimos aferidos com precisão suficiente para uma navegação segura são muito mais que tradições marinheiras a serem mantidas a bordo de nossos navios. Essas são verdadeiras medidas de prudência que, em função da necessidade do domínio das técnicas básicas de navegação, são adotadas em benefício do adequado preparo e emprego do Poder Naval¹⁴, bem como dos demais aspectos da utilização sadia do Poder Marítimo¹⁵ em prol do desenvolvimento e salvaguarda dos interesses nacionais brasileiros em um cenário possível de falhas das tecnologias às quais o navegante contemporâneo se habituou.

As experiências recentes de graves acidentes bem documentados e investigados denunciam casos de superficialidade no conhecimento durante a operação de navios, não raro, apresentando resultados desastrosos e amargos prejuízos. Tais eventos seriam evitados na presença do bom senso e da consciência situacional amparada em uma formação que reconhece e exercita os princípios e técnicas que foram consolidados ao longo da história até que chegássemos às tecnologias avançadas de hoje.

Em condições normais, essas tecnologias facilitam o dia a dia dos navegantes, o que exige a sabedoria de encontrar o equilíbrio entre o benefício do uso dos avanços conquistados e a capacidade de vislumbrar suas vulnerabilidades, bem como responder adequadamente diante do inesperado. Isto é possível a partir do conhecimento básico bem consolidado, fruto da experiência, erros e acertos, de muitas gerações de nautas devotadas ao êxito das navegações, ao longo da história, desde que a humanidade se fez ao mar.

4. REFERÊNCIAS

ALAMY. GPS satellite in Earth orbit. Disponível em: <https://www.alamy.com/stock-photo-gps-satellite-in-earth-orbit-57366170.html>. Acesso em: 14 ago. 2025.

ALMEIDA, João Ferreira de. Bíblia. Antigo e Novo Testamento: Sagrada Escritura. Tradução Revista e Corrigida. São Paulo: Sociedade Bíblica do Brasil, 1995.

BIPM (Bureau International des Poids et Mesures). The International System of Units (SI). 9. ed. Sèvres: BIPM, 2019. Disponível em: <https://www.bipm.org/en/publications/si-brochure/>. Acesso em: 18 jun. 2025.

¹⁴O Poder Naval é a parcela do Poder Militar que se manifesta no mar, composta pelos meios navais, aeronavais e de fuzileiros navais, com capacidade de pronta resposta, mobilidade, permanência e versatilidade, sendo empregado na defesa dos interesses marítimos e fluviais do País.

BRASIL. Marinha do Brasil. Doutrina Básica da Marinha do Brasil – DBM-301. 3. ed. Brasília: Marinha do Brasil, 2020.

¹⁵O Poder Marítimo é a capacidade do Estado de utilizar o mar, os rios e as hidrovias interiores para atingir os objetivos nacionais. Envolve todos os meios que concorrem para esse fim, abrangendo os setores político, econômico, científico, tecnológico e militar relacionados ao mar.

BRASIL. Marinha do Brasil. Doutrina Básica da Marinha do Brasil – DBM-301. 3. ed. Brasília: Marinha do Brasil, 2020.



BOITEUX, Henrique. O Marquês de Tamandaré: um indígena brasileiro. Rio de Janeiro: Zélio Valverde, 1943.

BRASIL. Marinha do Brasil. Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). Lista de Auxílios-Rádio 2025–2029. 15. ed. Niterói: Centro de Hidrografia da Marinha, 2024.

BRASIL. Marinha do Brasil. Viagem da Fragata Niterói em 1823 (Independência do Brasil). Centro de Comunicação Social da Marinha. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/dphdm/viagem-da-fragata-niteroi-em-1823>. Acesso em: 3 ago. 2025.

BRITANNICA. Horatio Nelson, British Admiral. *Encyclopaedia Britannica*, 2024. Disponível em: <https://www.britannica.com/biography/Horatio-Nelson>. Acesso em: 18 jun. 2025.

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES (BIPM). Member State: Brazil. Disponível em: <https://www.bipm.org/en/countries/br>. Acesso em: 15 ago. 2025.

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES. Two-Way Satellite Time and Frequency Transfer (TWSTFT). Disponível em: <https://www.nist.gov/pml/time-and-frequency-division/time-distribution/two-way-satellite-time-and-frequency-transfer>. Acesso em: 13 ago. 2025.

CIÊNCIA VIVA. Nocturlábio. Disponível em: https://www.cienciaviva.pt/equinocio/onde_estas/nocturlabio.asp. Acesso em: 3 jun. 2025.

EINSTEIN, Albert. Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento. *Annalen der Physik*, v. 17, p. 891–921, 1905. Tradução da Sociedade Brasileira de Física, 2005.

ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA. Universal Time. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/Universal-Time>. Acesso em: 14 ago. 2025.

FREEPIK. Solar wind protection solar storm shield earth magnetic field. [S.l.], 2025. Disponível em: https://www.freepik.com/free-vector/solar-wind-protection-solar-storm-shield-earth-magnetic-field_229548-3469.htm. Acesso em: 5 ago. 2025.

HAFELE, Joseph C.; KEATING, Richard E. Around-the-World Atomic Clocks: Observed Relativistic Time Gains. *Science*, v. 177, n. 4044, p. 168–170, 1972. DOI: 10.1126/science.177.4044.168.

HEATH, Thomas L. *A Manual of Greek Mathematics*. New York: Dover Publications, 2003.

IERS. Earth Rotation Data. International Earth Rotation and Reference Systems Service, 2025. Disponível em: <https://www.iers.org/IERS/EN/DataProducts/EarthOrientationData/eop.html>. Acesso em: 5 ago. 2025.

INTERNATIONAL EARTH ROTATION AND REFERENCE SYSTEMS SERVICE (IERS). IERS Conventions Centre. Disponível em: <https://iers-conventions.obspm.fr/>. Acesso em: 14 ago. 2025.

INTERNATIONAL EARTH ROTATION AND REFERENCE SYSTEMS SERVICE (IERS). The Leap Second. Disponível em: <https://hpiers.obspm.fr/eop-pc/earthor/utc/leapsecond.html>. Acesso em: 14 ago. 2025.

INTERNATIONAL EARTH ROTATION AND REFERENCE SYSTEMS SERVICE (IERS). IERS Bulletins. Disponível em: <https://www.iers.org/IERS/EN/Publications/Bulletins/bulletins.html>. Acesso em: 15 ago. 2025.



JUNQUEIRA, Selma. Time Transfer Using GNSS. Brasília: ONRJ/DSHO, ICG Experts Meeting, 2015. Disponível em: <https://www.unoosa.org/pdf/icg/2015/presentations/53.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2025.

KLARREICH, Erica. Solar Maximum: What to expect from the sun's peak and how it may affect Earth. *Nature*, Londres, 10 out. 2023. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/d41586-023-03170-1>. Acesso em: 5 ago. 2025.

KNIBBS, Kate. The Navy Is Teaching Celestial Navigation Again as a Backup Plan Against Hackers. *Gizmodo*, 13 out. 2015. Disponível em: <https://gizmodo.com/the-navy-is-teaching-celestial-navigation-again-as-a-ba-1736311892>. Acesso em: 11 jun. 2025.

MARINHA DO BRASIL. Marquês de Tamandaré – Patrono da Marinha do Brasil. Rio de Janeiro: Marinha do Brasil, 2024. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/patrono>. Acesso em: 18 jun. 2025.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY (NIST). Leap seconds — List of leap seconds and UT1–UTC difference. Disponível em: <https://www.nist.gov/pml/time-and-frequency-division/time-realization/leap-seconds>. Acesso em: 14 ago. 2025.

NAVAL.COM.BR. Fragata norueguesa quase totalmente submersa após colisão. 13 nov. 2018. Disponível em: <https://www.naval.com.br/blog/2018/11/13/fragata-norueguesa-quase-totalmente-submersa-apos-colisao/>. Acesso em: 3 jun. 2025.

NEWTON, Isaac. *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*. 1. ed. Londres: Royal Society, 1687. Tradução nossa. (Definição I, p. 15).

OBSERVATÓRIO NACIONAL. Observatório Nacional expande rede de servidores de sincronização. Brasília: DISHO/ON, 27 jun. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/observatorio/pt-br/assuntos/noticias/hora-legal-brasileira-observatorio-nacional-expande-rede-servidores-sincronizacao>. Acesso em: 13 ago. 2025.

OBSERVATÓRIO NACIONAL (Brasil). Serviço de Carimbo de Tempo. Disponível em: <http://pcdsh01.on.br/ReTempHLB.html>. Acesso em: 12 ago. 2025.

ROYAL MUSEUMS GREENWICH. What is the Greenwich Time Ball and how does it work? Londres: Royal Museums Greenwich, [s.d.]. Disponível em: <https://www.rmg.co.uk/stories/time/greenwich-time-ball-one-time-all>. Acesso em: 3 ago. 2025.

TIME. The Earth Is Spinning Faster This Summer. *Time*, 2025. Disponível em: <https://time.com/7301379/earth-rotation-speeding-up-science/>. Acesso em: 1 ago. 2025.

VISÃO. Criado o relógio mais preciso do mundo: atrasa-se um segundo a cada 30 mil milhões de anos. *Visão*, Lisboa, 5 jul. 2024. Disponível em: <https://visao.pt/exameinformatica/noticias-ei/ciencia-ei/2024-07-05-criado-o-relogio-mais-preciso-do-mundo-atrasa-se-um-segundo-a-cada-30-mil-milhoes-de-anos/>. Acesso em: 18 jun. 2025.

WIKIPEDIA. Precision Time Protocol. [S.l.], 2025. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Precision_Time_Protocol. Acesso em: 13 ago. 2025.