

# GPS para curiosos

Ligia Fascioni



# **GPS PARA CURIOSOS**

Coisas que você queria saber e não tinha para quem perguntar

E-book publicado em 2013 por © Ligia Fascioni

1ª Edição, abril de 2013.

ISBN: 978-85-915143-0-4

Texto e ilustrações: Ligia Fascioni

Revisão técnica: Conrado Seibel

Contatos e feedbacks são bem-vindos: [ligia@ligiafascioni.com](mailto:ligia@ligiafascioni.com)

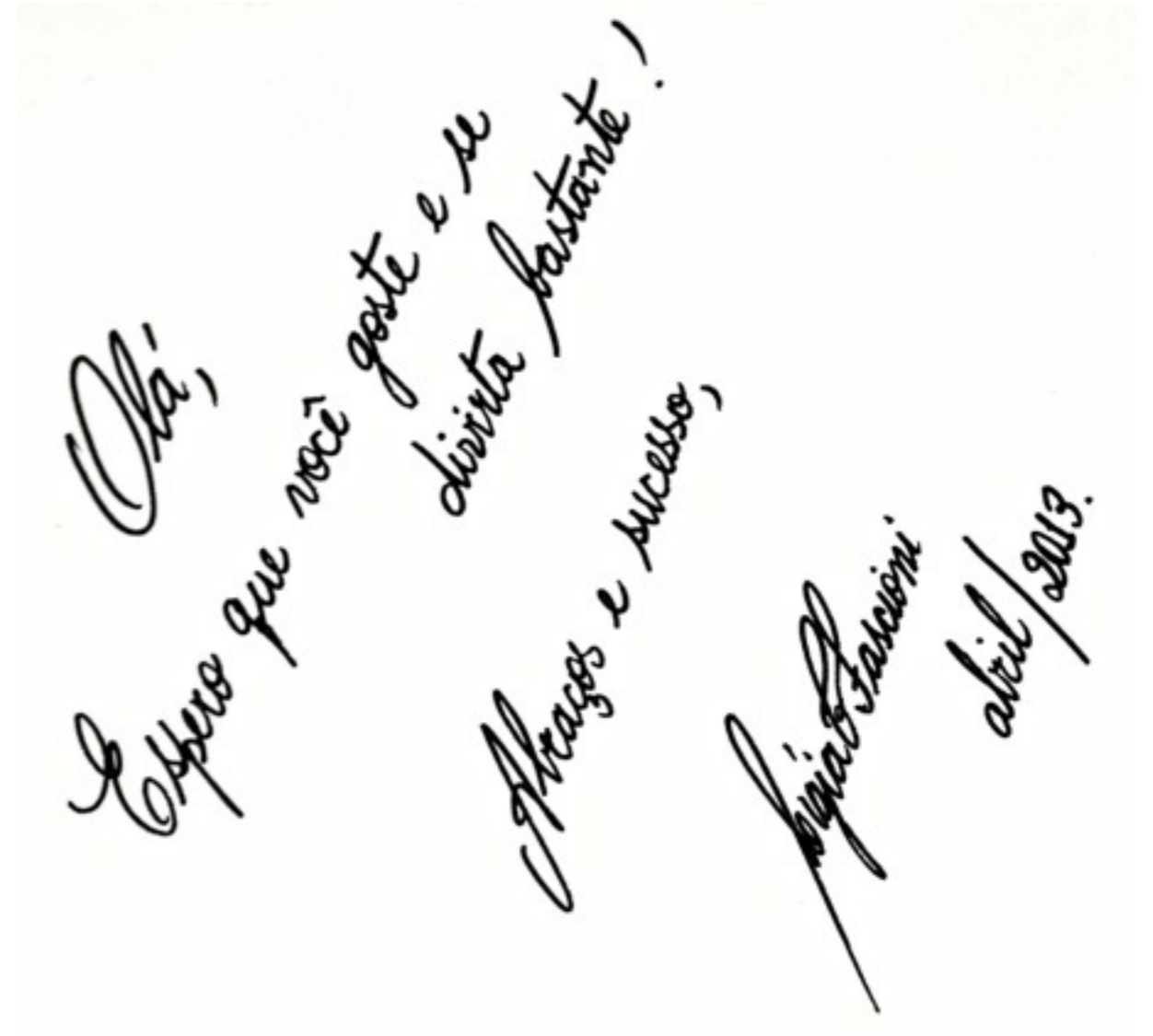
Sobre a autora: [www.ligiafascioni.com](http://www.ligiafascioni.com)

# AGRADECIMENTOS

Dedico esse livro ao José Fernando Xavier Faraco, empreendedor visionário do Projeto Helix, que muito contribuiu para minha vida profissional.

Agradeço também à toda equipe da Gyron Sistemas Autônomos; foram anos de muito aprendizado, estudo e trabalho, mas também de risadas, diversão e companheirismo. Impossível esquecer dos queridos Miguel Ângelo Bronaut, Carlos Dutra, Daniel Cobra e Marcos Regueira.

E daquele que depois se tornou o mais especial de todos, Conrado Seibel.



# Sumário

<b>Onde tudo começou</b>	v
<b>Capítulo 1. Esse tal de GPS</b>	7
Coisas que você queria saber	8
Para que serve o GPS	9
<b>Capítulo 2. O problema original</b>	11
Como eram as coisas antes do GPS	12
A grande sacada do GPS	15
<b>Capítulo 3. Noções de navegação</b>	16
Navegação	17
Latitude	19
Longitude	22
Altitude	30
Elevação	32
Azimute	33
<b>Capítulo 4. Como funciona o GPS</b>	34
Descobrimo onde você está	35
Medindo distâncias enormes	39
Sincronizando os sinais	45
<b>Capítulo 5. A precisão e os erros</b>	52
Revolucionário, mas não milagroso	53
Visibilidade dos satélites	58
<b>Capítulo 6. O GPS na vida real</b>	62
Como escolher seu receptor de GPS	63
Como anda a concorrência	69
<b>Conclusões</b>	Ixx
<b>Para saber mais</b>	Ixxi
<b>Créditos das imagens</b>	Ixxii

# ONDE TUDO COMEÇOU

Lá pelos idos dos anos 90 do século passado (faz tempo!) tive a sorte e o privilégio de trabalhar como engenheira num projeto extraordinário: o Helix, uma aeronave não tripulada (na verdade, um robô aéreo) na forma de um helicóptero.

Olhando de fora, o Helix parecia um aeromodelo; muita gente até achava que era. Mas basicamente o que diferencia um robô de um brinquedo é que o robô consegue tomar decisões sozinho, com base nos seus sensores e no software embarcado. Já no caso do aeromodelo, o “piloto” não pode sequer piscar, pois o helicóptero é naturalmente instável e um dos veículos de pilotagem mais difícil; qualquer bobeadada e ele se desequilibra e cai.

Por isso, quando o helicóptero de brinquedo está voando muito longe ou atrás de algum obstáculo (portanto, fora do alcance visual), é praticamente impossível controlá-lo (na verdade, um simples dia nublado já estraga a festa).

Para transformar a aeronave num robô, precisamos instalar uma série de sensores que contam para o software como é que ele está se comportando e programas que corrigem a posição conforme a missão planejada.

No caso do projeto Helix, eram vários e complexos os sensores: unidades de referência inercial (as mesmas usadas nos mísseis teleguiados), giro-inclinômetros digitais, bússolas eletrônicas e, vejam só, receptores de GPS!

Nessa época (lá se vão mais de 20 anos), os receptores de GPS eram maiores e traziam um erro embutido, pois o principal uso era militar. Aí a gente tinha que usar artifícios para compensar esses ruídos; dava um trabalhão.

Foi então que comecei a escrever um volume que explicava como as coisas funcionavam; fiz vários desenhos e elaborei explicações técnicas que agora precisaram ser atualizadas (nesse tempão a tecnologia mudou bastante, apesar dos princípios continuarem os mesmos). Revendo minhas coisas, achei o boneco do livro que nunca chegou a ser publicado. Quem sabe não seria agora a hora do rebento finalmente nascer?

Infelizmente, por diversos motivos, o projeto Helix não vingou e foi abandonado, apesar dos quatro protótipos terem sido um sucesso do ponto de vista técnico. Olhando à distância, era um projeto à frente de seu tempo em um país sem condições de acolher tanta vanguarda.

Além disso, questões de marketing estratégico dificultaram que o projeto fosse bem sucedido do ponto de vista comercial.

De qualquer forma, pelo menos para mim ele rendeu uma dissertação de mestrado em controle e automação industrial, alguns artigos, viagens e uma experiência profissional indescritível e riquíssima (além de ter conhecido lá a pessoa mais importante da minha vida hoje; e naquela época eu nem imaginava!).

Afora isso tudo, o Helix proporcionou para o mundo vários trabalhos de mestrado e doutorado, pesquisas e contribuições importantes nessa área do conhecimento.

E, olha só, depois de tantos anos, o projeto acabou nos legando outro fruto: esse livro que você tem agora nas mãos.



## CAPÍTULO 1

# ESSE TAL DE GPS

Para que(m) serve esse livro? Que perguntas ele responde? E quais ele não responde? Aqui vamos acertar as expectativas para que ninguém fique decepcionado e todo mundo termine a leitura feliz!

# COISAS QUE VOCÊ QUERIA SABER

A ideia aqui é mostrar para as pessoas curiosas quais são os princípios básicos de funcionamento do cada vez mais popular aparelhinho chamado **GPS** (que, aliás, é a abreviatura de *Global Positioning System*, mas depois vamos falar mais a esse respeito).

Você não precisa ter nenhum conhecimento aprofundado de física nem de matemática; mas vai terminar esse livro entendendo direitinho o que vêm a ser essas tais de coordenadas de **latitude**, **longitude** e **altitude**; vai conhecer o significado das palavras **elevação** e **azimute** e porque elas são importantes num sistema de localização; vai compreender também o contexto em que esse sistema foi inventado e implementado.

Outra coisa que você vai ficar sabendo é como é que as pessoas se viravam para viajar longas distâncias sem esse aparelhinho milagroso (você faz ideia?). Isso vai nos levar aos ancestrais do GPS, os avôs e tataravôs que tornaram possível a gente chegar até aqui.

No final, o livro mostra os tipos de equipamentos disponíveis no mercado e ajuda você a escolher o equipamento mais adequado para cada uso (mas sem entrar no mérito de uma marca ou outra).

Mas atenção: não vou explicar para que serve cada botão do aparelhinho que você carrega no carro. Eu juro que não é preguiça: cada

modelo é diferente e os botões mudam a toda hora; tem até aparelhos sem botões, veja só.

Para isso, é melhor dar uma olhada no manual de instruções (e, vamos combinar: vai ficar bem mais fácil de entender, agora que você vai ficar íntimo dos termos mais usados em navegação).

Pronto para o passeio?

Vamos lá, então!



# PARA QUE SERVE O GPS

Se você tem 25 anos ou menos, não vai se lembrar do mundo antes do GPS; a coisa se tornou tão popular na última década que provavelmente nem os pais da criança (o Departamento de Defesa dos Estados Unidos) previram tamanho sucesso.

Quando a gente fala em GPS, as pessoas automaticamente se lembram daquele **gadget** que se usa no carro para encontrar endereços desconhecidos ou descobrir o melhor caminho para se chegar a um lugar. Quem não dirige, não tem carro ou não usa esse equipamento até pode pensar que vive sem ele. Ledo engano!

O seu telefone celular muito provavelmente tem um receptor embutido; se você está usando um tablet para ler esse livro, é grande a possibilidade que ele tenha um aí dentro também. É com as informações do receptor de GPS do seu **smartphone** que você consegue fazer um *check-in* no **Foursquare** ou permitir que o **Facebook** descubra a cidade onde você está. O **Twitter**, o **Instagram** e praticamente todos os aplicativos de redes sociais também usam esses dados para informar para seus amigos sua localização nesse exato momento.

E não é só isso: não há um só avião em funcionamento que dispense o uso do GPS, assim como nenhum navio ou submarino.

A orientação de embarcações de pesca, veleiros e iates; a localização das frotas de caminhões para transporte de carga ou de valores; o posicionamento de boias em regatas náuticas; a agrimensura e o mapeamento de áreas para a construção de estradas e projetos de urbanização; o monitoramento de trens, caminhões e ônibus; a demarcação de trilhas ecológicas ou áreas de proteção ambiental; a orientação de robôs (terrestres e aéreos); o cadastramento de árvores de reflorestamento; a orientação para prática de balonismo ou voo livre; o rastreamento de equipamentos como notebooks, celulares ou tablets; tudo isso e muito mais coisas do que você imagina usa as coordenadas de localização do GPS como referência.

Além disso, vamos ver que a informação de tempo que o receptor fornece é mais precisa que a maioria dos relógios disponíveis no planeta terra. Isso faz com que esse dado sirva para monitorar experimentos científicos, calibrar sinais de equipamentos em linhas de transmissão e sincronizar atividades simultâneas em vários pontos do globo.

Uma coisinha tão útil e que se dá tão pouca atenção, não é?

Nenhum escritor de ficção científica se ocupou em imaginar uma maravilha dessas, no entanto hoje é difícil de imaginar como seria nossa vida sem o GPS.

Por isso, penso que vale muito a pena descobrir de onde veio a ideia e seus princípios de funcionamento; como está a situação hoje em dia, quem domina essa tecnologia da qual estamos tão dependentes e quais podem ser os possíveis desdobramentos para usos futuros.

Olha, não sei o que você faz para ganhar a vida, mas em algum momento talvez lhe seja útil conhecer um pouco mais dessa maravilha; vai que você tem alguma ideia inovadora para usar o GPS que mude tudo, né?

Bom, então vamos começar o passeio imaginando como era o mundo antes do GPS.



## CAPÍTULO 2

# O PROBLEMA ORIGINAL

De onde surgiu a necessidade de se ter um sistema de posicionamento global? Como é que as pessoas se viravam antes de existir o GPS? Que tipo de problemas essas pessoas tinham?

É o que vamos saber agora.

# COMO ERAM AS COISAS ANTES DO GPS

Durante toda a história da humanidade, sempre houve a necessidade de se saber onde se está, tanto para voltar pra casa como para descobrir novos caminhos. Os melhores cérebros de cada época foram usados para tentar definir uma convenção que todo mundo pudesse usar.

Em terra, a solução que o povo encontrou foi marcar o caminho tomando como base o relevo, a vegetação, as águas e, mais tarde, as construções. Na costa marítima, os marinheiros podiam usar os faróis para se localizar, mas em alto mar tudo era mais difícil, pois não se tinha nenhum ponto de referência fixo.

No início, a ideia foi marcar as estrelas do céu e tentar calcular a posição do navio em relação a elas, afinal, era a única referência que se tinha. Esse método foi usado por muito tempo pelos navegadores por falta de outro melhor. O problema era que o mapeamento das estrelas era trabalhoso e complicado.

Teve muito matemático e físico bom que devotou a vida toda observando o céu e confeccionando as cartas com os mapas celestes.

O trabalho era exaustivo, consumia anos e às vezes continha erros, mas era isso ou nada.

Outro problema era que de dia não dava para ver as estrelas. E aí, como é que esses navegadores faziam? Sem falar na encrenca que era se orientar nos dias de chuvas e tempestades. Gente, isso é que era aventura, o resto não é nada. Os caras entravam num barco com chances muito remotas de conseguir voltar para casa; pense na coragem que a pessoa precisava ter para fazer uma viagem dessas.

Para contornar esses problemas, capitães usavam um instrumento que media a altura de um astro acima do horizonte e o ângulo, não à toa, era chamado de **astrolábio** (do grego *astrolabium*: *astro*=astro e *labium*=prender, adquirir, conhecer). Esse pequeno disco de metal com anéis graduados foi inventado pelos gregos, entre eles o famoso matemático Euclides e teve até a participação de uma mulher na equipe, a célebre Hipátia de Alexandria.

Com o tempo, os árabes aperfeiçoaram o aparelho e as versões mais recentes foram desenvolvidas pelos navegadores portugueses.

O manejo do astrolábio não era muito simples e tinha que ser feito em dupla; enquanto uma pessoa suspendia o disco na altura dos olhos e alinhava a régua com o astro em questão, a outra lia os graus marcados no círculo.



Que trabalhadeira, heim?

Sem falar que de dia, o tal do astro era sempre o sol. Imagine um sujeito em alto mar, com o barco rebolando, tendo que alinhar a bagaça olhando diretamente para aquela luz fortíssima.

Captou agora porque os piratas e navegadores da época usavam um tapa-olho? Não era moda não, é que muitos ficavam cegos na operação; na verdade, dependendo da rotina de trabalho, era só uma questão de tempo para que isso acabasse acontecendo; uma tragédia, principalmente se a gente considerar que nessa época eles ainda não se aposentavam por invalidez e nem ganhavam adicional de insalubridade.

Bom, depois de um tempo, lá pelo século XVIII, o relojoeiro autodidata John Harrison inventou o **cronômetro** e resolveu o problema da longitude (vamos ver do que se trata mais adiante), mas a latitude continuou dependendo do astrolábio para ser medida por muito tempo ainda.

Em 1750, o astrolábio evoluiu para o **sextante**, que em vez de um disco inteiro (360º) era apenas uma seção de círculo vazado com um ângulo de 60º, graduado com algumas régua.

Se você pensou um pouquinho, já sacou que o sextante tem esse nome porque é a sexta parte do círculo.

Os equipamentos foram evoluindo aos pouquinhos, mas nada de muito revolucionário aconteceu até meados de 1970, com o advento do GPS.

Peraí, mas como assim o sextante virou GPS? O que uma coisa tem a ver com a outra?

Astrolábio marítimo (1686-1687)



Fonte: Paris, Musée de l'Institut du Monde Arabe, AI 86-45

Sextante de espelho (1810)



Fabricante: Breithaupt, Kassel, Deutschland  
Fotografia: Haufenbar

# A GRANDE SACADA DO GPS

Acompanhe o raciocínio: a melhor solução de todos os tempos para se determinar uma posição, tanto no mar como na terra, era se basear nos astros, certo?

A ideia era ótima, o problema eram as estrelas, que além de mudarem de lugar dependendo da época do ano e do hemisfério, nem sempre eram visíveis. Além disso, os instrumentos para medir a distância entre o ponto em que a embarcação se encontrava e os astros eram complicados e exigiam que o capitão do navio, além de um sujeito pra lá de destemido, também fosse muito bom em fazer contas (e, de preferência, bem rápido).

Então, o que o pessoal do Departamento de Defesa dos Estados Unidos pensou? Ora, vamos colocar no céu nossas próprias estrelas!

Como elas são treinadas (são estrelas militares, lembre-se disso), farão sempre o caminho que a gente mandar; elas sempre estarão nas posições que a gente determinar, não importa a época do ano ou o hemisfério. Em vez de estudar o céu para desenhar mapas, vamos desenhar os tais mapas primeiro e depois colocar as estrelas!

Fala sério: não é genial?

As estrelas de que estamos falando aqui, claro, são os satélites. E como eles se comunicam com a terra sem que seja necessário que a gente consiga vê-los, está resolvido também o problema de dias nublados e se é dia ou noite.

Para isso, em vez do olho humano e mais um equipamento com réguas e ângulos, eles criaram um receptor eletrônico que consegue “ver” os satélites e medir a distância até eles.

E não é só isso; tem muito mais ainda!

Mas para entender direitinho esse milagre, é preciso conhecer primeiro alguns conceitos importantes de **navegação**, ou melhor, de orientação, seja na terra, no céu ou no mar.



## CAPÍTULO 3

# NOÇÕES DE NAVEGAÇÃO

Aqui você finalmente vai compreender o que é latitude, longitude, altitude, elevação e azimute. Vai saber também para que servem essas informações e, não menos importante, entender que a palavra navegação não se refere apenas a barcos, mas a todo sistema de orientação e localização.



# NAVEGAÇÃO

Antes de mais nada, é preciso deixar claro uma coisa; ao contrário do que a palavra sugere, navegação não tem a ver só com barcos, navios e embarcações que viajam em rios e mares.

Na linguagem técnica, **navegação é o processo de determinar onde você está e para onde está indo.**

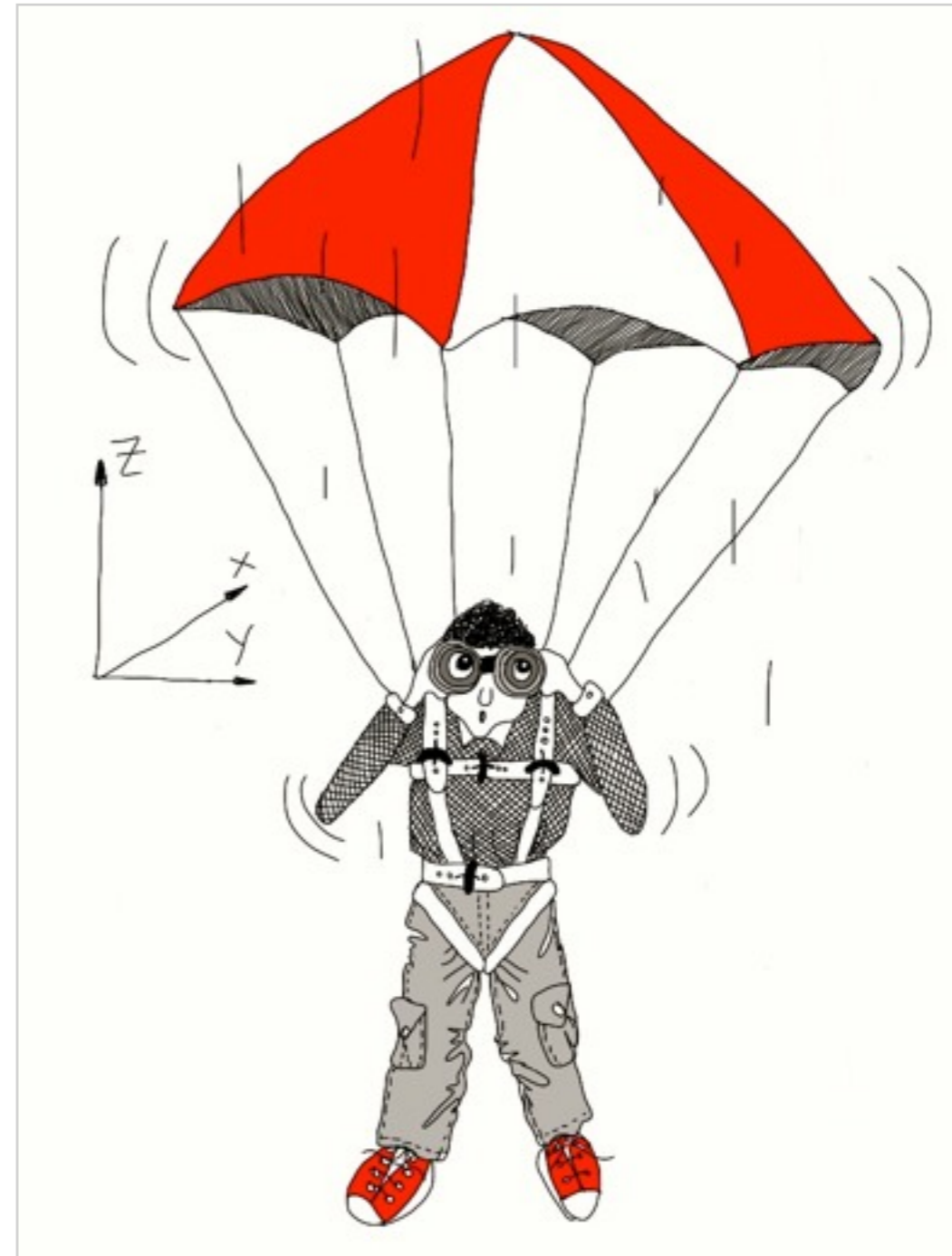
Isso quer dizer que aviões, helicópteros, carros, foguetes e até você precisam saber onde estão e para onde vão, de maneira que todo mundo precisa de navegação.

Só que para a gente conseguir dizer onde está um objeto (ou pessoa, ou animal, ou construção) é preciso que se tenha informação de três coordenadas, uma vez que o espaço em que vivemos tem três dimensões (altura, largura e profundidade).

Se a gente for desenhar essas direções, podemos chamá-las de X, Y e Z.

Esses eixos, se a gente for considerar o planeta Terra como referência, têm nomes especiais: latitude, longitude e altitude.

Se ainda quisermos saber para onde o objeto está apontando, como, por exemplo, um avião, precisamos conhecer a medida do azimute.



## AS COORDENADAS E OS MAPAS

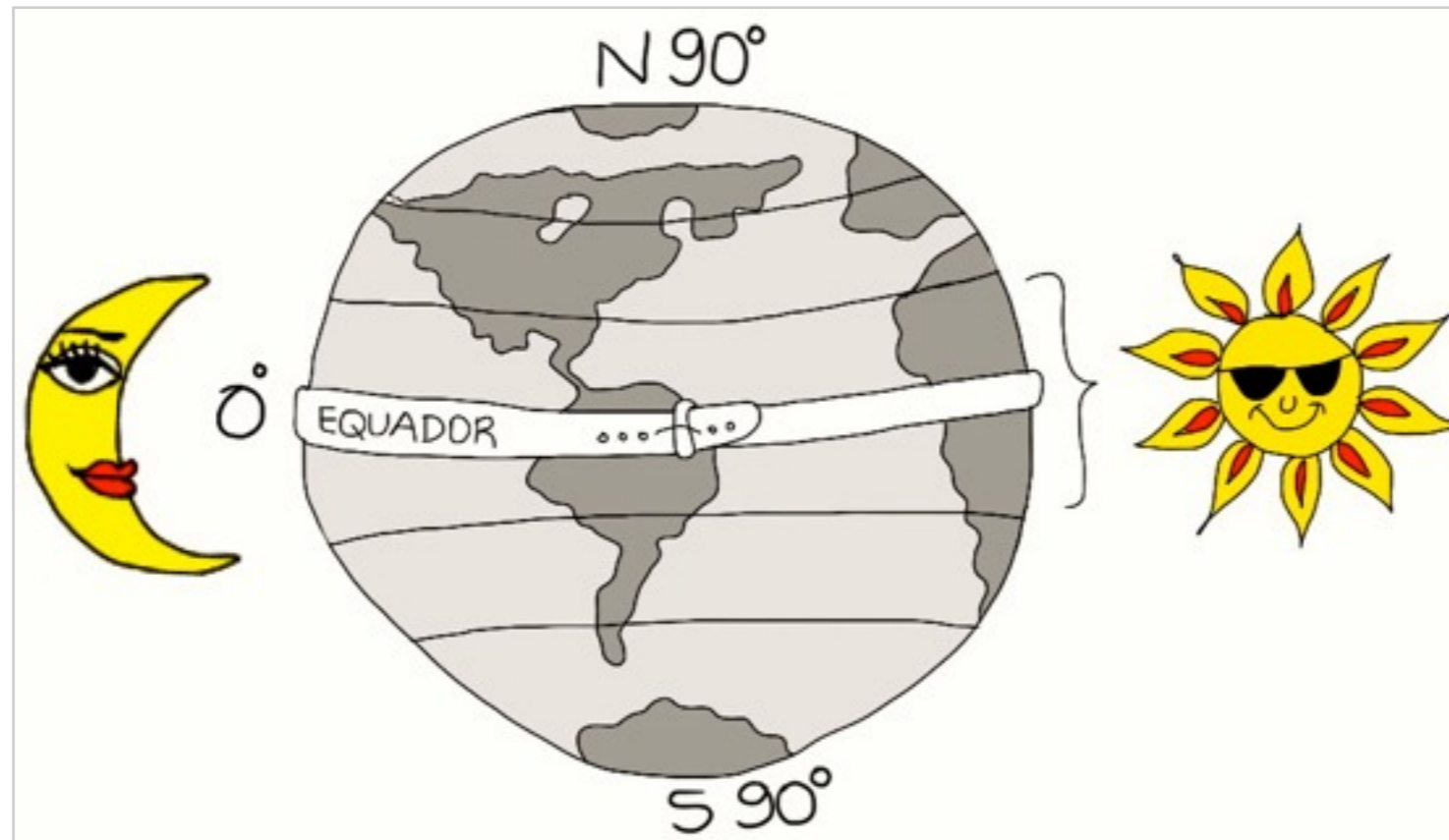
Desde a antiguidade já tinha um povo ocupado em tentar desenhar o que hoje a gente entende por mapas, com a representação dos lugares e das distâncias. Por volta de 150 a.C., o cartógrafo e astrônomo Ptolomeu já incluía as linhas de latitude e longitude nos seus desenhos. É claro que o Ptolomeu tinha apenas uma vaga ideia do tamanho e da forma do

mundo, não sendo, portanto, um trabalho completo e exato (nem dava, né?).

Mesmo assim, seu **atlas** (que é como se chama um conjunto de mapas) era tão bom para a época que só foi atualizado 1600 anos mais tarde!



Mapa de Ptolomeu de 1482. Foto: Norman B. Leventhal Map Center (BPL)



## LATITUDE

A latitude consiste na marcação do globo terrestre como se a gente fosse cortá-lo em rodelas, usando linhas horizontais paralelas (por isso, os graus da latitude se chamam **paralelos**).

Marcar a latitude nunca foi um grande problema, pois desde a antiguidade se definiu o paralelo  $0^\circ$  como sendo a linha do Equador (a gente pode dizer que o **Equador** é a “cintura” da Terra, pois fica bem no meio do *corpicho* dessa linda) e os polos ficam no Paralelos  $90^\circ$  Sul e  $90^\circ$  Norte.

Mas escolher a linha do Equador como referência não foi um chute não, olha só: é que o sol, a lua e os planetas passam quase todos diretamente por essa linha (não é à toa que essa é a região mais quente do planeta).

Sobre a latitude, ainda tem uma curiosidade que vale a pena chamar atenção, pois muita gente não se liga no fenômeno.

É que como o sol está sempre alinhado ao Equador, somente os lugares por onde essa linha passa é que têm sol a pino ao meio dia (quando a sombra some porque fica milimetricamente embaixo do objeto); em todos os outros lugares há um pequeno desvio e quanto mais longe do Equador, maior a diferença.

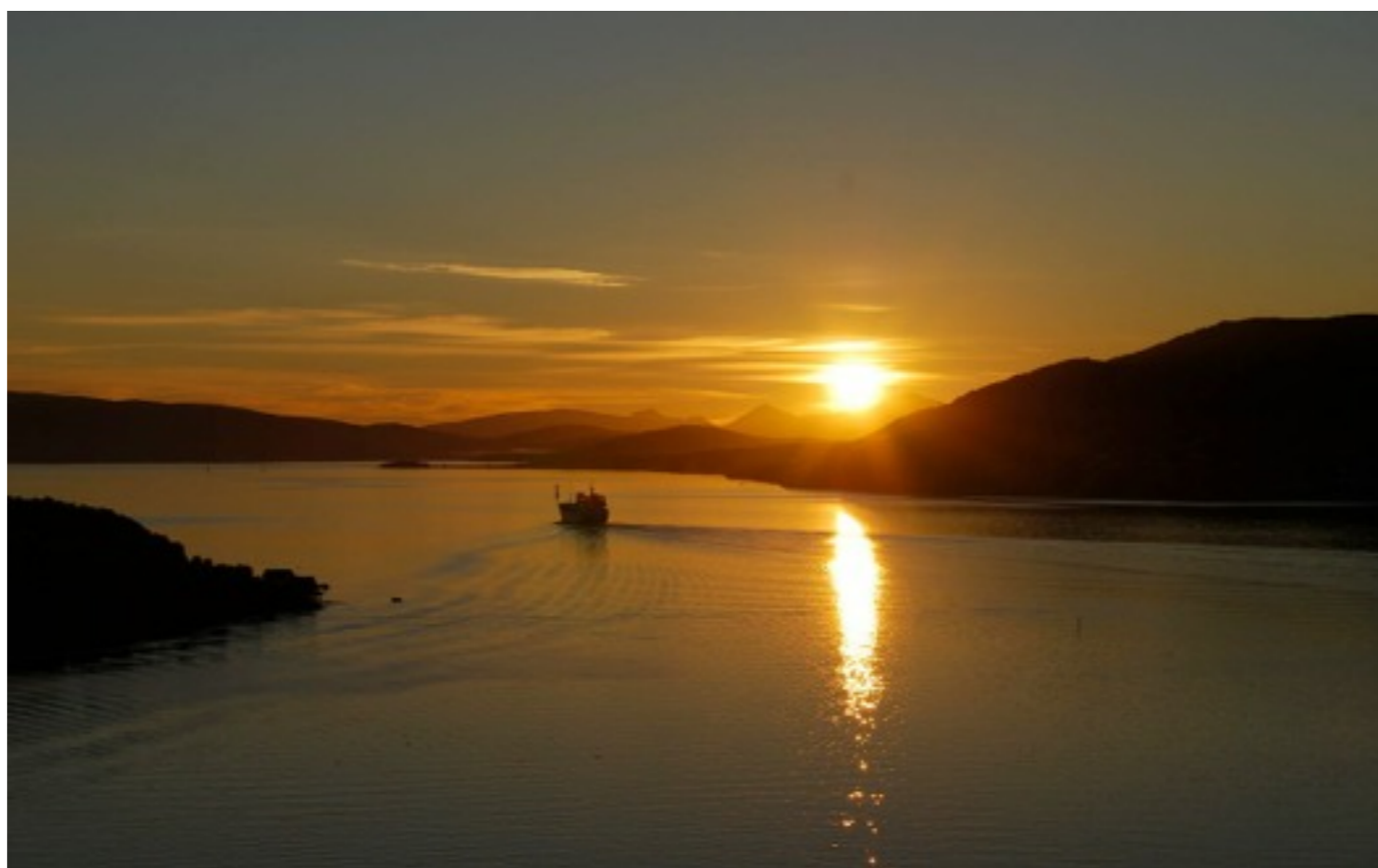
No Brasil, o paralelo 0° passa pela cidade de Macapá, no Amapá. Isso faz também com que lá a duração dos dias e das noites seja exatamente igual em todas as estações do ano.

Já quando a gente vai se afastando do Equador e o ângulo do sol em relação ao lugar vai ficando maior, a diferença de duração entre o dia e a noite também vai aumentando conforme as estações.

Por exemplo: se pegarmos a cidade do Ushuaia, que fica lá embaixo, no extremo sul da Argentina, veremos que no verão o sol só se põe depois

das 10 da noite e nasce bem cedinho, antes das 5 horas (no começo do verão não é tanta diferença; vai aumentando até chegar no solstício de verão, em dezembro, que é o dia mais longo do ano e da noite mais curta).

Já no inverno é o contrário: vai amanhecendo cada vez mais tarde e escurecendo cada vez mais cedo. Tanto que no solstício de inverno, em julho (noite mais longa e dia mais curto), o sol nasce quase às 10 da manhã e encerra o expediente antes das 4 da tarde .



No verão do norte da Noruega, acima do Círculo Polar Ártico, o sol passa meses sem chegar a se por. Ele começa a função do crepúsculo e demora tanto para dar conta do trabalho que o outro dia já nasce a partir daí mesmo. Aí acontece o famoso fenômeno do sol da meia-noite.

No hemisfério norte acontece a mesma coisa, só que ao contrário: o solstício de verão é em julho e o de inverno é em dezembro (Berlim, por exemplo, fica na mesma latitude que o Ushuaia, só que para o norte).

Nos pólos norte e sul esse fenômeno é extremo a ponto do dia ficar tão comprido no verão que o sol nem chega a se por (são 6 meses de luz,

apesar do sol nunca ficar a pino e ter uma inclinação, como vimos antes); é o famoso sol da meia noite que já deve ter ouvido falar.

No inverno, as noites são tão longas que o sol nunca aparece; os dias vão ficando cada vez mais curtos até sumirem de vez; aí é noite direto por meses a fio. Já pensou?

