

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

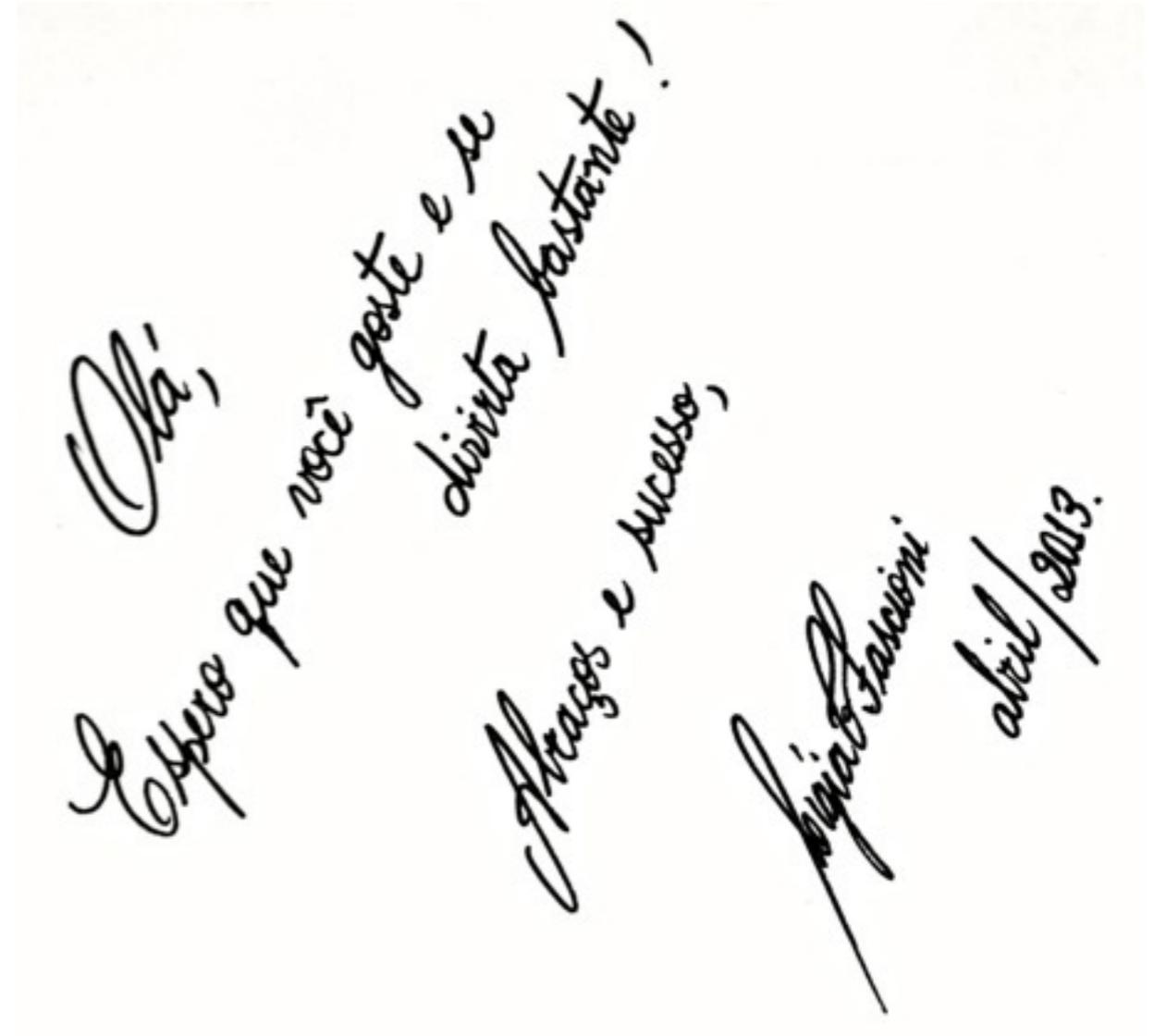
Sobre a autora: www.ligiafascioni.com

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

Onde tudo começou	v
Capítulo 1. Esse tal de GPS	7
Coisas que você queria saber	8
Para que serve o GPS	9
Capítulo 2. O problema original	11
Como eram as coisas antes do GPS	12
A grande sacada do GPS	15
Capítulo 3. Noções de navegação	16
Navegação	17
Latitude	19
Longitude	22
Altitude	30
Elevação	32
Azimute	33
Capítulo 4. Como funciona o GPS	34
Descobrimo onde você está	35
Medindo distâncias enormes	39
Sincronizando os sinais	45
Capítulo 5. A precisão e os erros	52
Revolucionário, mas não milagroso	53
Visibilidade dos satélites	58
Capítulo 6. O GPS na vida real	62
Como escolher seu receptor de GPS	63
Como anda a concorrência	69
Conclusões	Ixx
Para saber mais	Ixxi
Créditos das imagens	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 (360°) era apenas uma seção de círculo vazado com um ângulo de 60° , 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!

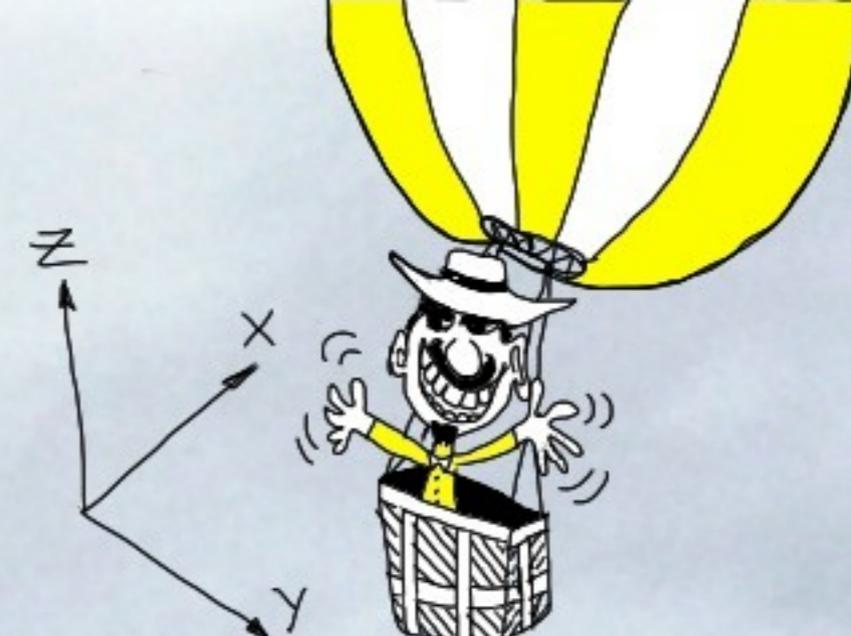
Fala sério: não é genial?

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

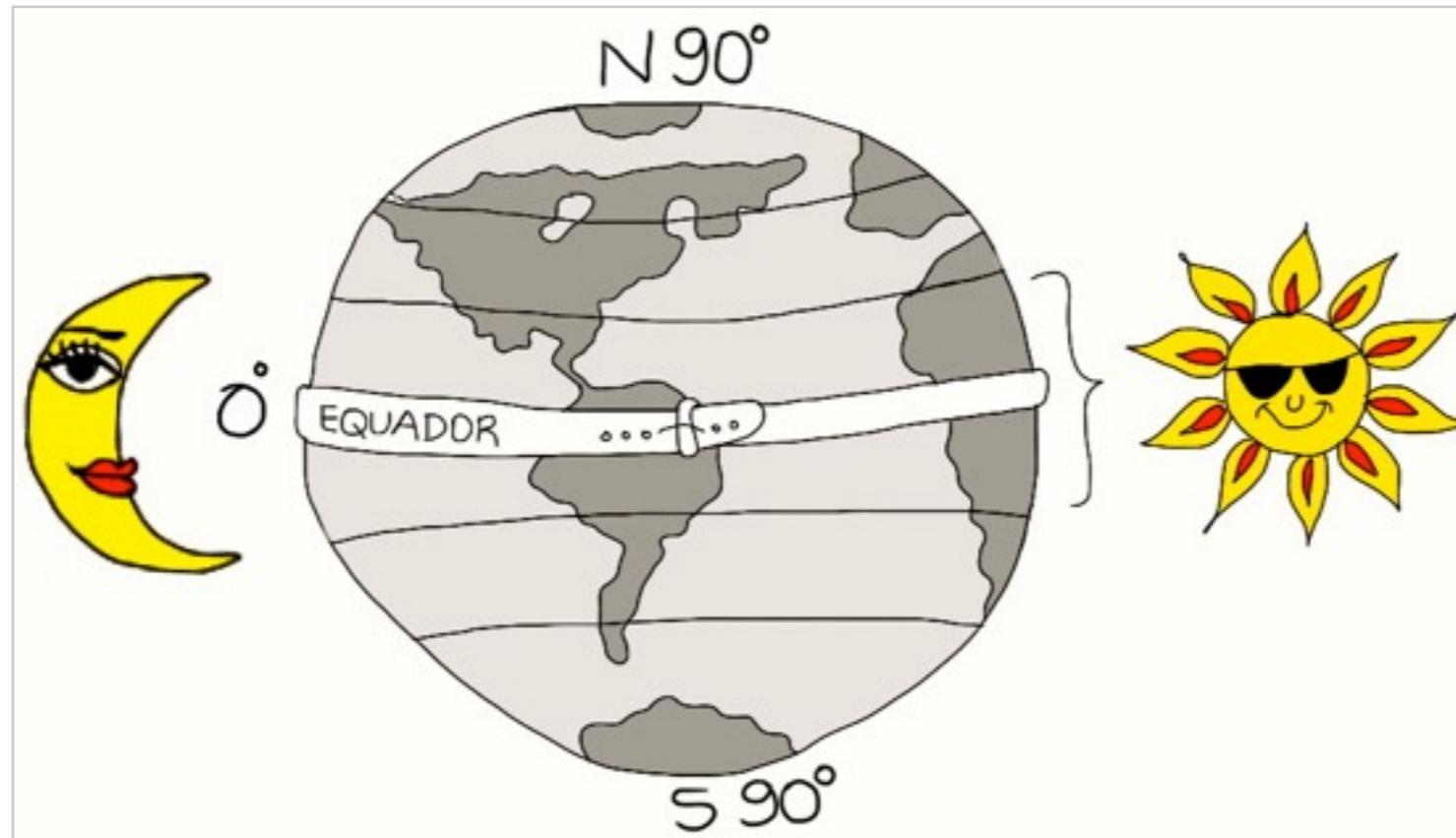
Desde a antiguidade já tinha um povo ocupado em tentar desenhar o que hoje a gente entende por mapas, com a representação dos lugares e das distâncias. Por volta de 150 a.C., o cartógrafo e astrônomo Ptolomeu já incluía as linhas de latitude e longitude nos seus desenhos. É claro que o Ptolomeu tinha 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 rodela, 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° 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° Sul e 90° 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.

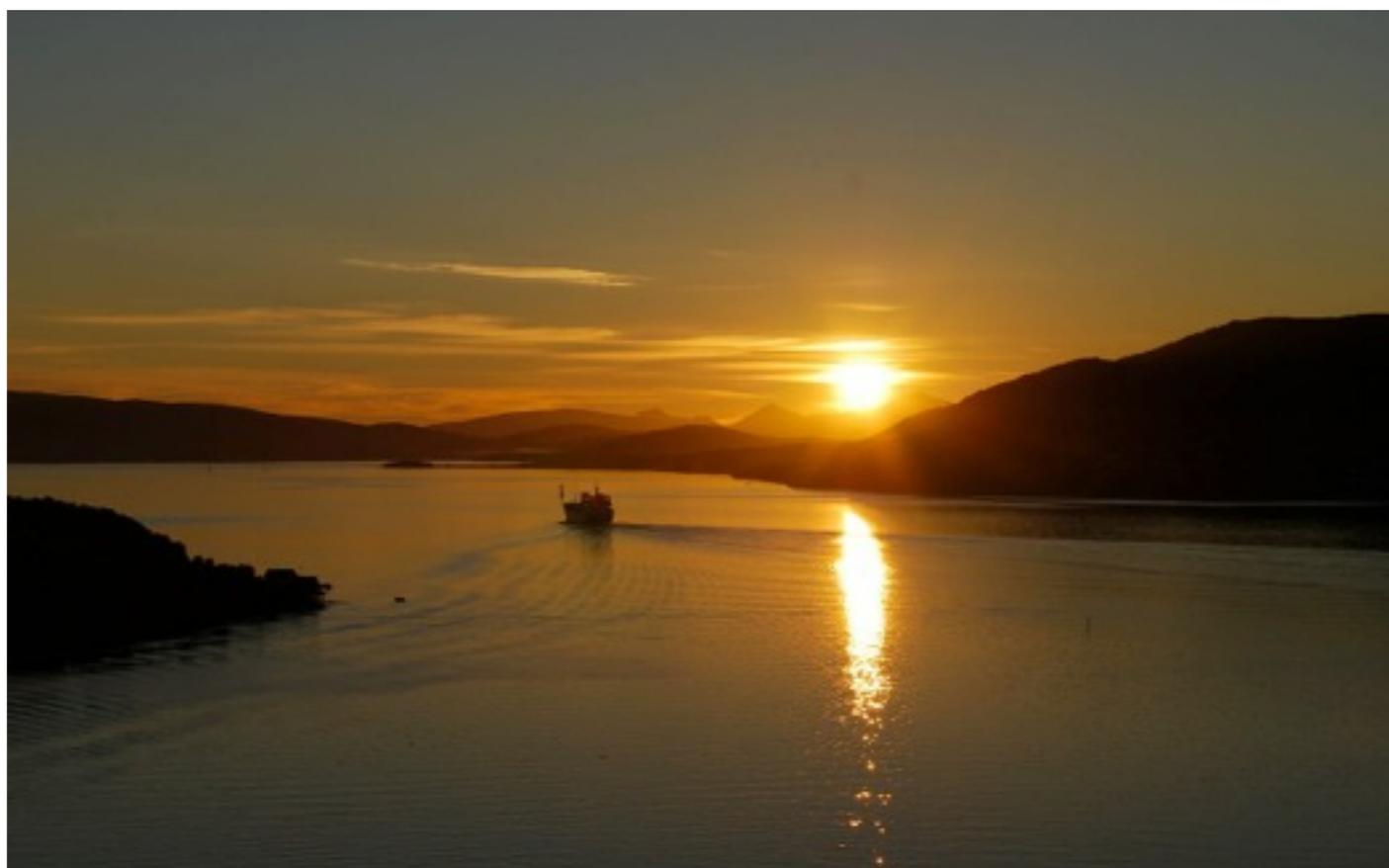
No Brasil, o paralelo 0° passa pela cidade de Macapá, no Amapá. Isso faz também com que lá a duração dos dias e das noites seja exatamente igual em todas as estações do ano.

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 .



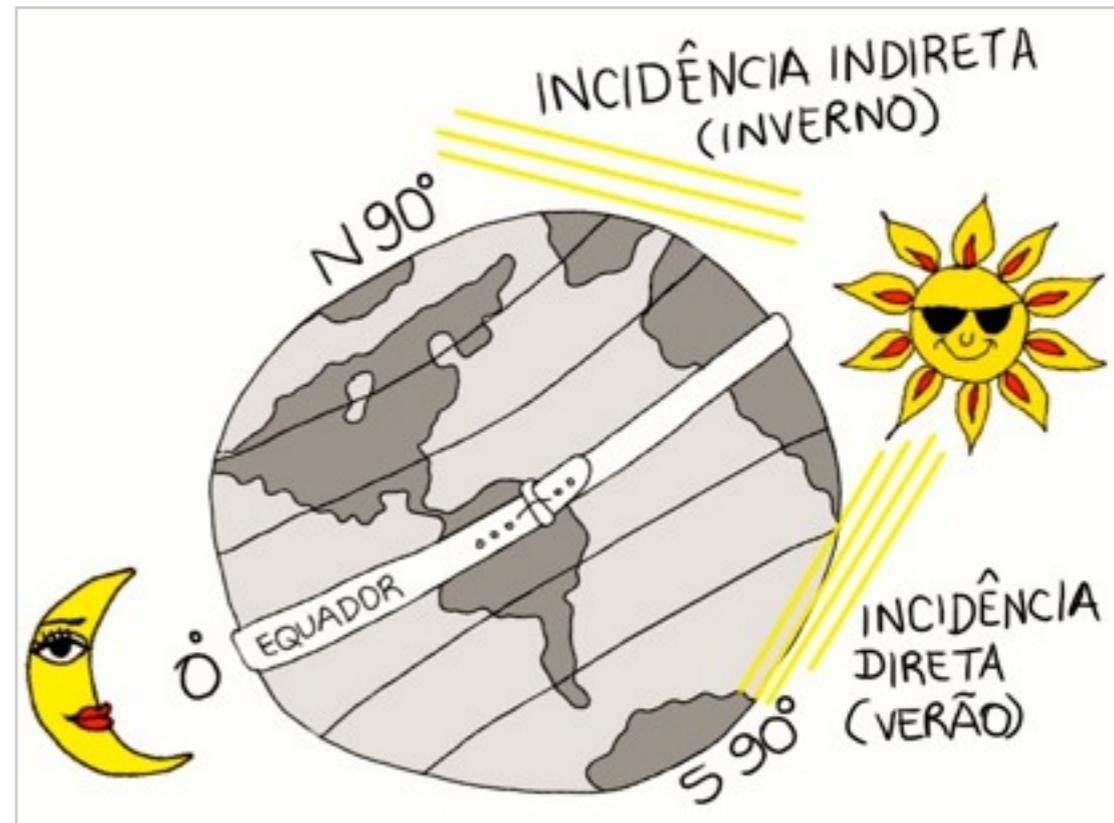
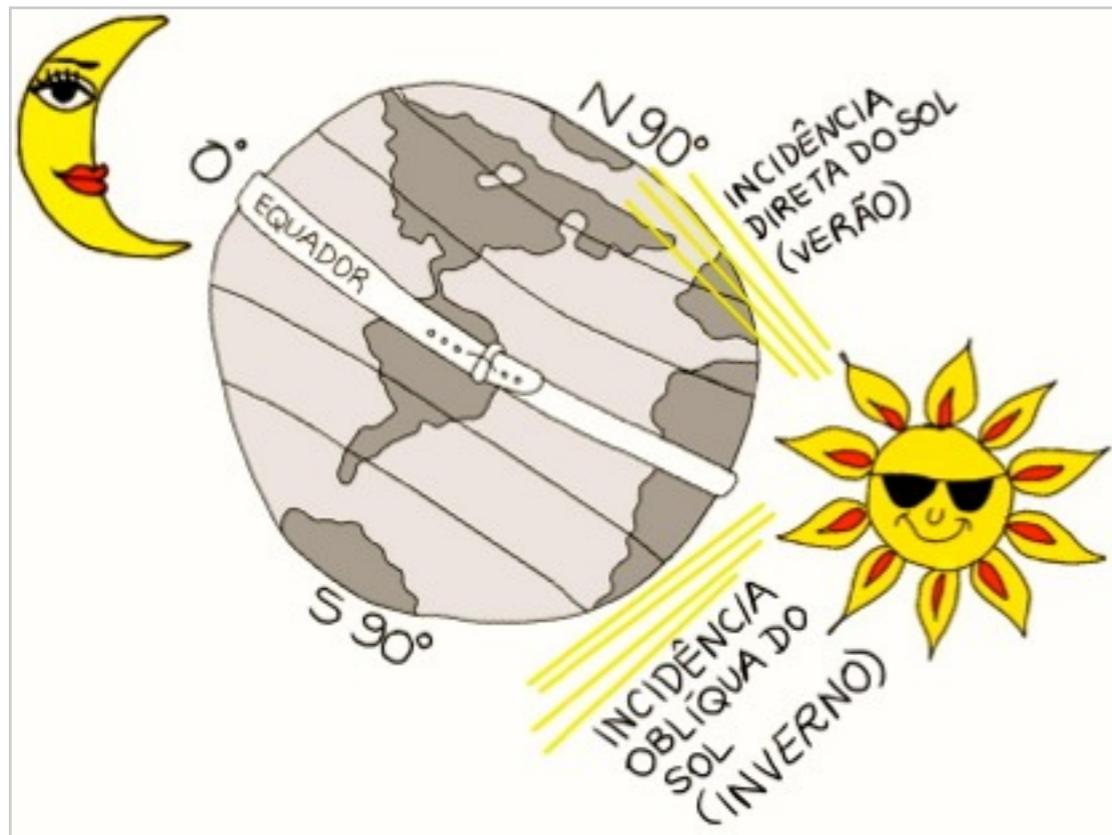
No verão do norte da Noruega, acima do Círculo Polar Ártico, o sol passa meses sem chegar a se por. Ele começa a função do crepúsculo e demora tanto para dar conta do trabalho que o outro dia já nasce a partir daí mesmo. Aí acontece o famoso fenômeno do sol da meia-noite.

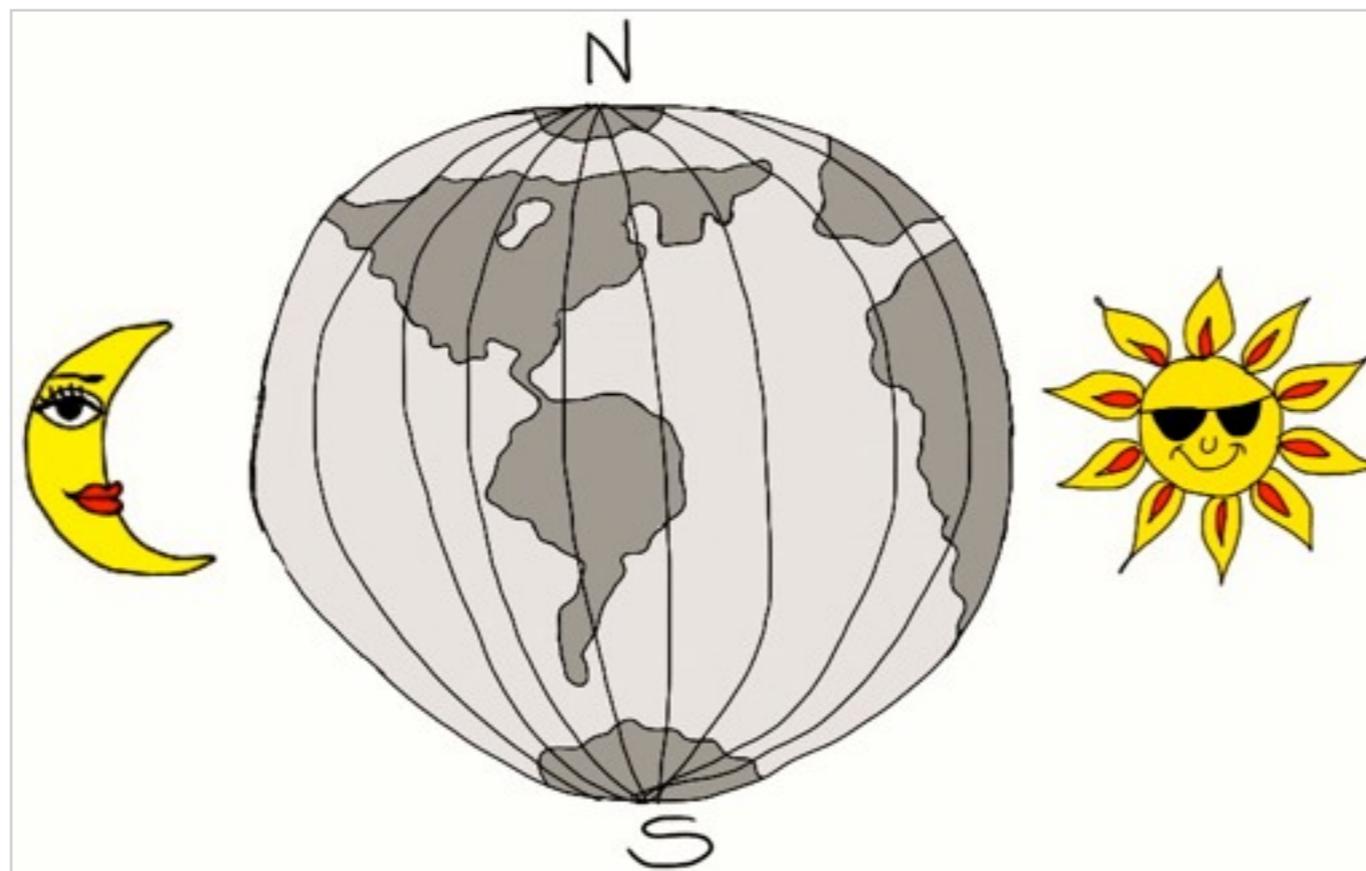
No hemisfério norte acontece a mesma coisa, só que ao contrário: o solstício de verão é em julho e o de inverno é em dezembro (Berlim, por exemplo, fica na mesma latitude que o Ushuaia, só que para o norte).

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?





LONGITUDE

Para entender bem o conceito de longitude, imagine que o globo terrestre é uma tangerina: as linhas que separam os gomos são chamadas de meridianos e a distância entre elas é de uma hora. A longitude usa esse sistema de dividir o globo em gomos para ajudar a localização.

24 LINHAS = 24 HORAS = 1 ROTAÇÃO DA TERRA = 1 DIA

Mas como saber em que lugar está um **meridiano**? E onde fica o meridiano zero?

Bom, nesse caso, a coisa é mais complicada, pois a solução não é óbvia como no caso da latitude.

Esse foi um desafio para as mentes mais brilhantes, de Galileu Galilei a Isaac Newton, até o final do século XVIII. Os astrônomos tentaram buscar uma solução nas estrelas enquanto mapeavam o céu, mas além de trabalhoso, esse método não trouxe nenhuma resposta, simplesmente porque ela não existia.

É que o meridiano zero é apenas uma convenção, não um fenômeno da natureza.

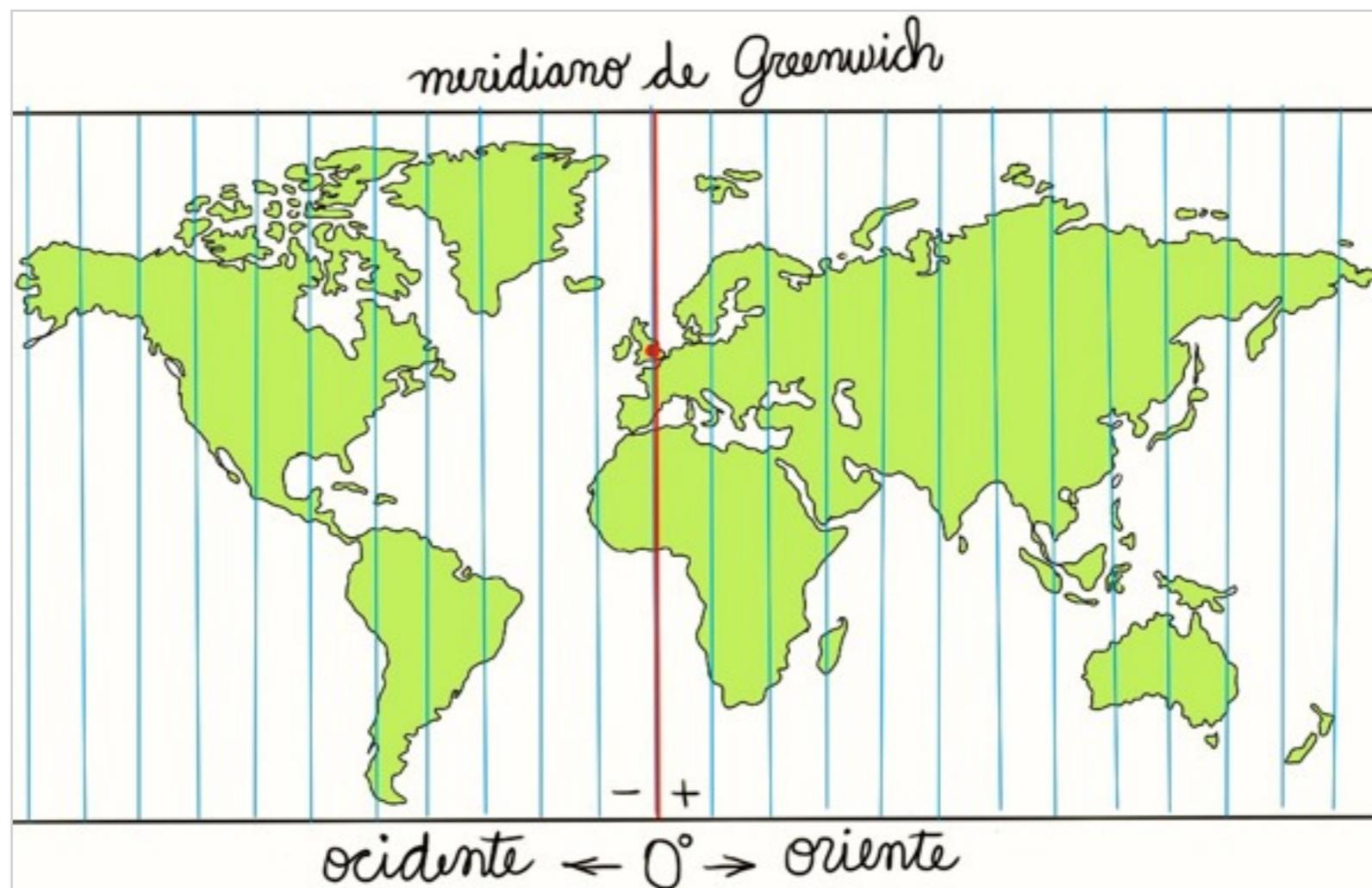
A princípio, ele poderia ser colocado onde se quisesse; depois era só contar uma hora a mais para cada um dos doze meridianos à sua direita (leste) e uma hora a menos para cada meridiano à sua esquerda (oeste).

Ok, mas era preciso que se convencionasse um lugar, pois se cada pessoa colocasse o meridiano zero conforme achasse melhor, ninguém iria conseguir medir coisa nenhuma.

O Observatório Real, em **Greenwich**, perto de Londres, acabou ganhando esse privilégio como forma de homenagear e reconhecer o

trabalho de levantamento das distâncias lunares na tentativa para se calcular a longitude. Assim, em 1884, a Conferência Internacional sobre Meridianos declarou como sendo esse o meridiano primo do mundo e por onde todos os relógios deveriam se acertar.

Assim, todos os horários que se vê em qualquer relógio do planeta são sempre em relação ao horário de Londres, ou, mais exatamente, ao horário de Greenwich. Essa linha, também conhecida como Meridiano Zero também divide o mundo entre ocidente e oriente.





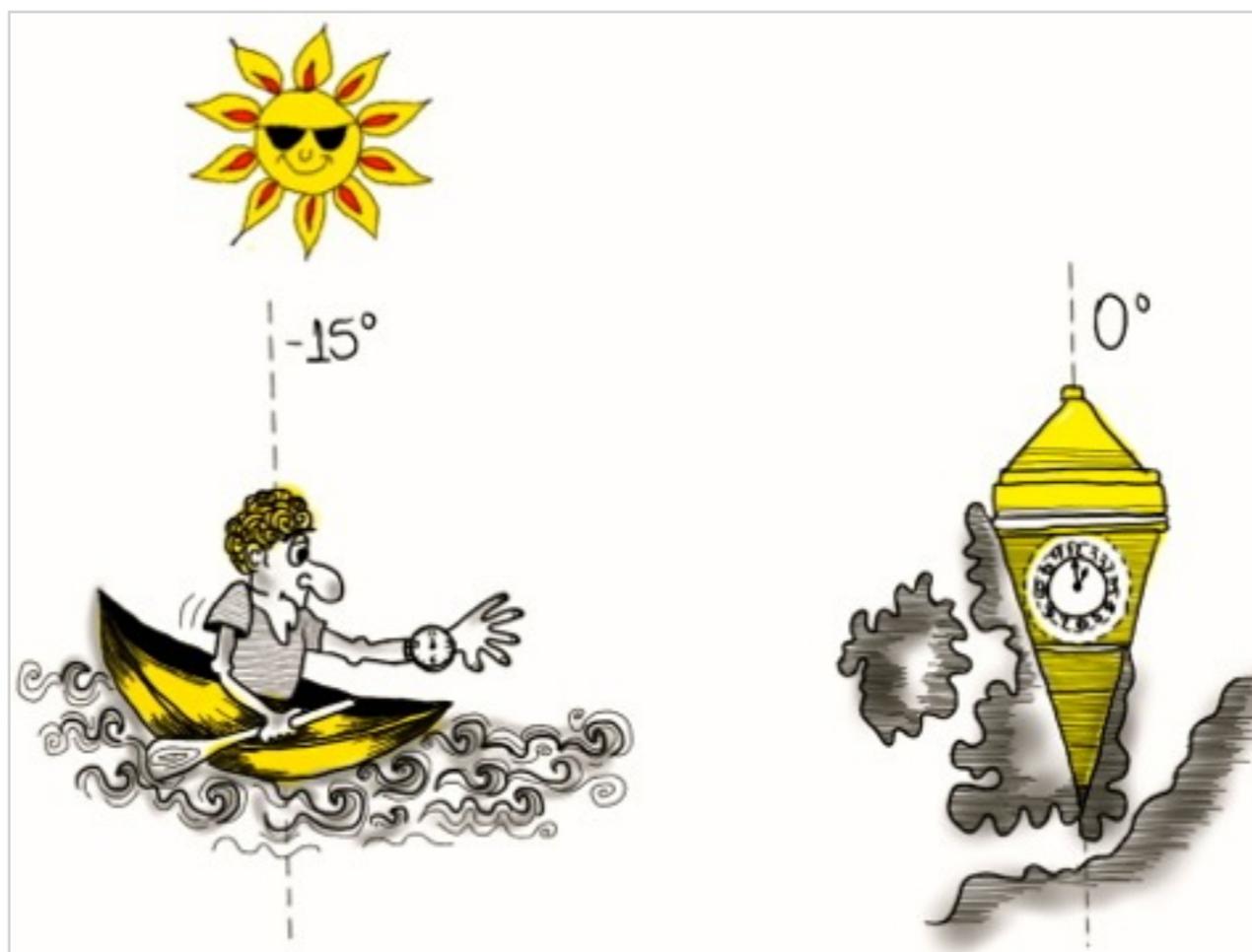
Para não ficar muito complicado, alguns países acabam arredondando os fusos para definir horários oficiais, de maneira que se a gente for olhar os fusos horários, vai ver vários “dentes” nos meridianos para que eles se encaixem diretinho no mapa.

O horário oficial de Brasília, por exemplo, toma como referência um meridiano que não passa pela cidade, mas corta mais ou menos o Brasil no meio. Até aí o ajuste não é tão complicado, pois estamos falando de minutos para mais ou para menos. Já no extremo oeste do país fica mais difícil, pois aí já passa outro meridiano e a diferença se torna muito grande.

Então, por ser muito largo, o Brasil é cortado por três meridianos (e por isso, tem três horários): o que passa por Fernando de Noronha (-2 horas em relação a Greenwich); o que passa pelo meio do Brasil (-3 horas) e vale para todo o litoral brasileiro, Minas, Goiás, Tocantins e Pará, sendo usado como referência para o horário oficial de Brasília; e o que passa pelo Amazonas (-4 horas) que também acerta os relógios do Acre, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso.

Isso acontece com todos os países de dimensões continentais como os Estados Unidos, a Austrália e Canadá, por exemplo. Agora imagine quantos fusos horários tem a Rússia!

Aí, cada um vai adaptando da maneira que vai conseguindo ajustar. As consequências não são muito graves porque, como dito antes, a longitude é apenas uma convenção.



Bom, a parte fácil era marcar o meridiano zero, pois era apenas só uma questão de todo mundo concordar. Mas se estou no meio do mar e não numa cidade específica, como é que vou saber em que meridiano estou? Acompanhe o raciocínio.

A Terra é uma bola e leva 24 horas para girar completamente em torno de si mesma, ou seja, um dia. Pois é, mas uma volta inteira numa circunferência significa um ângulo de 360° . Como são 24 meridianos (um para cada hora), temos que:

$$360^\circ/24 = 15^\circ$$

Isso quer dizer que a cada hora de diferença de Greenwich, significa que estou me afastando 15° de longitude.

Então, é o seguinte: você tem que levar na viagem dois relógios. Um deles marca a hora de Londres (pode ser de outro lugar com longitude conhecida; depois é só descontar a diferença) e o outro marca a hora do lugar em que você está.

Quando chegar meio-dia (você vai saber porque o sol vai estar no seu ponto mais alto e a sombra vai ser quase nenhuma ou nenhuma

mesmo, se você estiver sobre a linha do Equador), ajuste seu relógio para marcar meio dia.

Agora veja que horas são no relógio de Londres. Vamos supor que lá seja uma da tarde, ou seja, você está a uma hora **a menos**.

Então, é só calcular: $-1 \text{ hora} \times 15^\circ = -15^\circ$

Estou então a 15° de longitude **Oeste**; é só marcar na sua carta náutica e você vai ver no mapa onde está (claro, partindo do pressuposto que você já sabe a latitude).

Facinho, né? Ok, mas como é que o povo fazia antes de existirem relógios de pulso precisos?

Lembre-se que antigamente os relógios eram de pêndulo. Como garantir a hora certa num navio, por exemplo, que vivia balançando o tempo todo?

A questão é: não dava para garantir nada. Esses relógios grandes e pesados sofriam muito e não serviam para quase nada, pois, quando não paravam, geravam erros bem grandes.

Daí que, impossibilitados de saber onde estavam, muitos navegadores morriam com suas tripulações inteiras e carregamentos porque pegaram o caminho errado. Isso quando não pereciam de fome ou de sede por não conseguirem mais sair do meio do oceano.

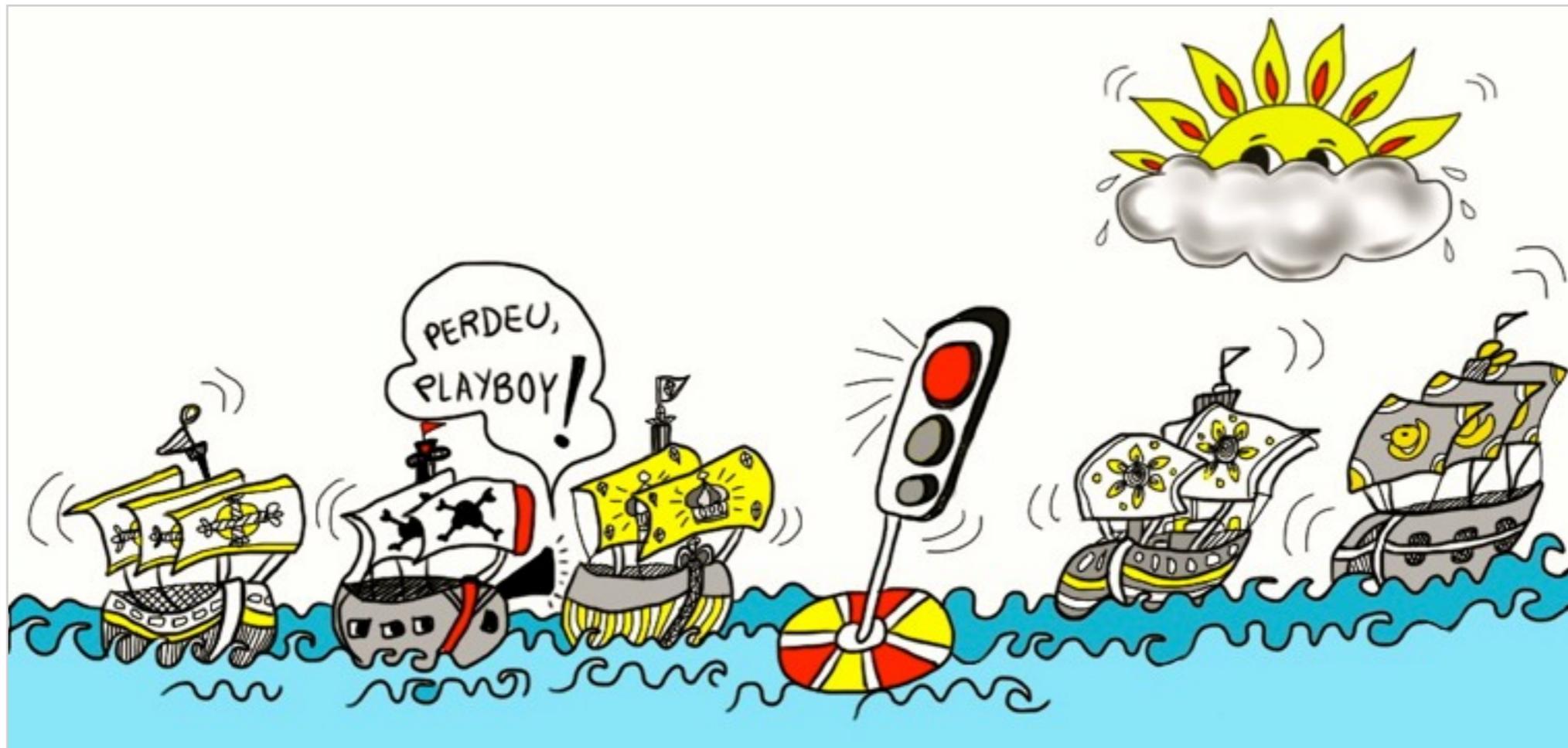


Mas a gente sabe que muita navegação rolou na época, mesmo com esses perigos todos. O que eles faziam era navegar sempre sobre o mesmo paralelo para não se perderem; era como se fosse uma estrada e todo mundo passava por ela.

Bom, nem é preciso dizer que foram os tempos áureos da pirataria, pois os navios carregavam fortunas incalculáveis por rotas pra lá de manjadas.

Então, era urgente que se resolvesse de vez o problema dos relógios para cada um ir pelo caminho mais adequado.

Saiba que isso consumiu anos de pesquisa intensa. O grande desafio da navegação da antiguidade era justamente construir um relógio preciso que também fosse robusto o suficiente para não sofrer alterações quando estivesse sendo sacudido pelas ondas do mar, meu amor...





Há um livro excelente, que recomendo muito, da Dava Sobel, que se chama, veja só, "[Longitude](#)". Ela conta todas as peripécias e dificuldades que o relojoeiro inglês John Harrison passou para resolver o maior problema científico do século XVIII: a invenção do cronômetro.

E aí temos outra curiosidade. A gente sempre pensa que cronômetro é aquele contador de segundos (e milisegundos) usado para medir tempos pequenos em eventos esportivos, ou quando a gente tem que fazer um contagem regressiva de tempo, não é assim?

Mas cronômetro não é nada disso não, minha gente. Na verdade esse objeto é um contador, ou um **cronógrafo**.

O nome cronômetro só deve ser usado para designar relógios testados e certificados conforme padrões específicos de precisão. Na Suíça, somente o [COSC](#) (*Contrôle Officiel Suisse des Chronomètres*), o Instituto Suíço Oficial de Testes com Cronômetros, pode certificar a precisão e acuracidade de um relógio mecânico de pulso. Hoje em dia, com os relógios eletrônicos de alta precisão, o certificado já não é tão valorizado.

Mas o grande feito do inglês John Harrison, que resolveu de vez o problema da longitude, foi conseguir projetar e construir um relógio mecânico de altíssima precisão (e por isso chamado cronômetro).

É claro que levou algum tempo até que essas verdadeiras joias da relojoaria pudessem ser utilizadas em escala comercial, mas há os diários de bordo de 1780 da Marinha Real já registravam leituras de longitude baseadas no cronômetro. Há até historiadores que afirmam que o Império Britânico só teve sua existência possível por causa do cronômetro.

Ok, mas por que esse auê todo em torno dos relógios? Por que é que em vez de graus não se mede as distâncias em quilômetros e ficaria tudo muito mais fácil?

Bom, por dois motivos. Primeiro porque fica difícil de estender uma trena em pleno mar para medir distâncias tão grandes. Mesmo que se utilize métodos mais tecnológicos, como o laser, não dá para esquecer a curvatura da terra, o que nos traz ao segundo e principal motivo: porque a terra é redonda, e não plana.

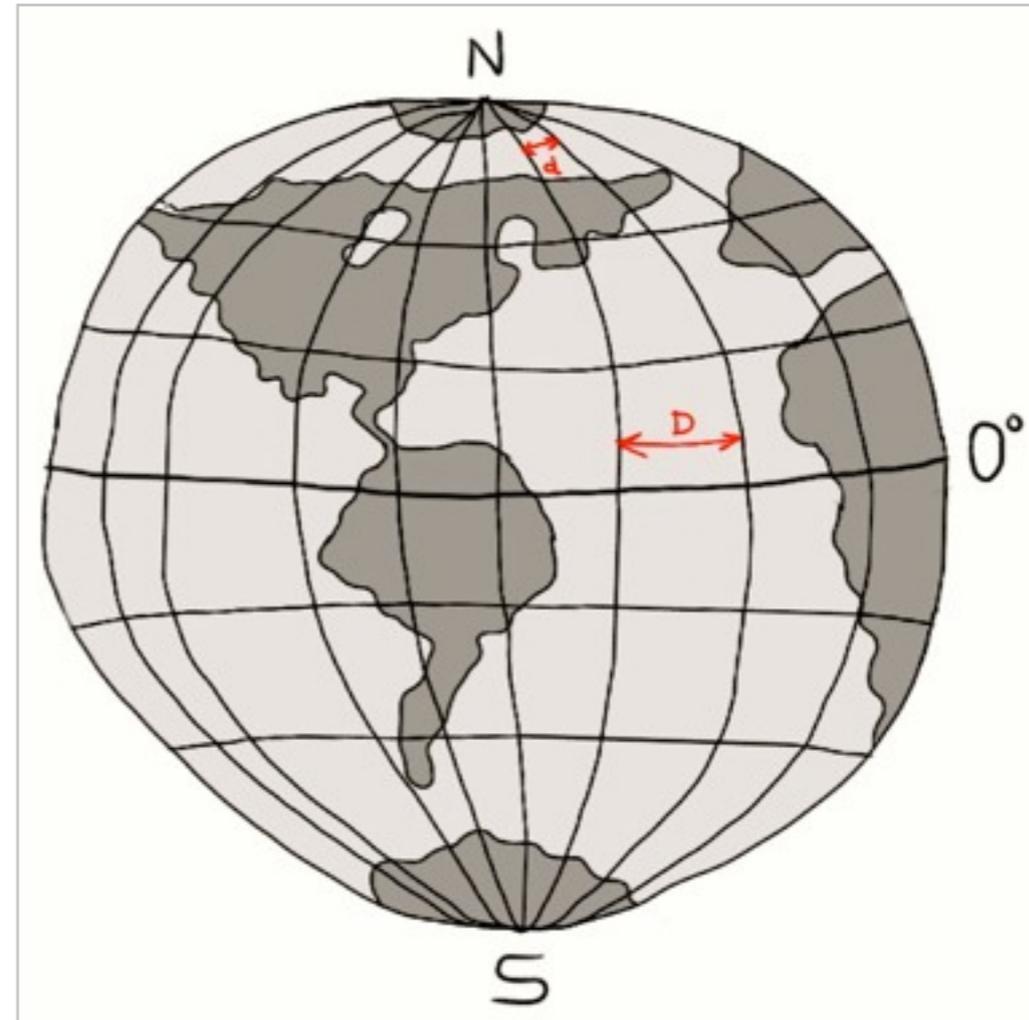
No caso da latitude, onde os paralelos são justamente, como dizer — paralelos — dá para garantir que eles terão sempre a mesma distância: mais exatamente 111.2 km a cada grau.

Já a longitude é mais complicada, pois as linhas não são paralelas; elas se encontram nos dois polos e se esgarçam no Equador.

Assim, para conhecer a distância entre um meridiano e outro em km, é preciso saber, além da longitude, qual é a latitude que se está. Se estiver perto dos polos, com uma latitude alta, a distância será pequena. Se estiver perto do Equador, a distância vai ser bem maior.

Por isso é que fica bem mais fácil usar ângulos; basta usar a trigonometria básica lá da escola e tudo se resolve rapidinho.

Por isso também é que o relógio tem que ser preciso; dependendo da latitude, um minuto de longitude pode representar vários quilômetros de erro. Já pensou?





ALTITUDE

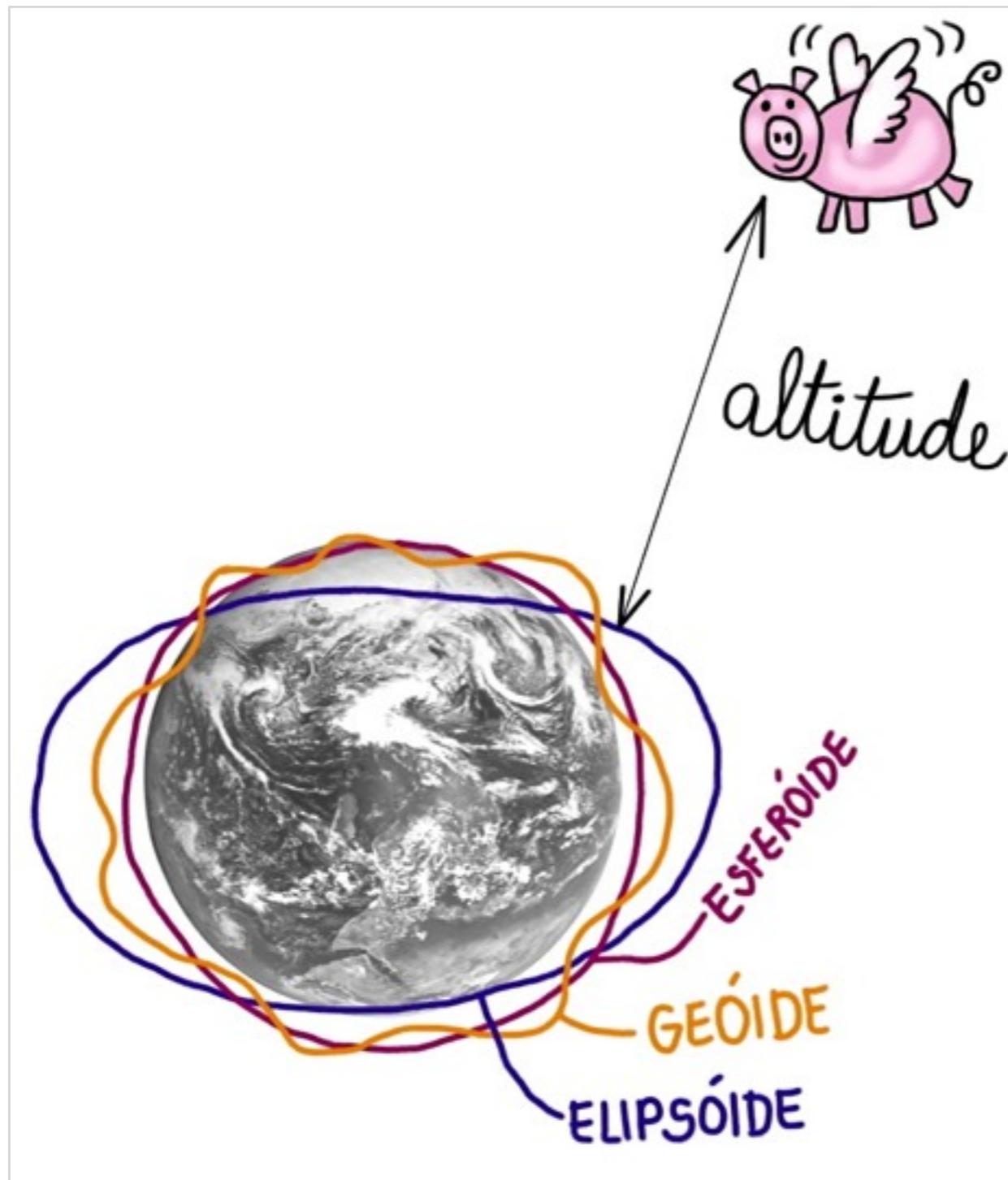
Agora que você já está sabendo tudo de latitude e longitude (são coordenadas mais ou menos como aquelas usadas no joguinho de Batalha Naval, lembra?), a gente tem que considerar que a terra é tridimensional. Então, a gente precisa de mais uma coordenada para completar as três dimensões e conseguir se localizar realmente no espaço.

A altitude é a medida que falta; ela é a altura de um objeto em relação a uma referência qualquer (por exemplo, sua sobancelha pode ter uma altitude de 1,60 m em relação ao piso da sua cozinha). E tanto faz que você more no térreo ou no trigésimo andar, pois a referência nesse caso, é o piso da cozinha, não o solo.

Apesar dos cartógrafos poderem contar com várias e complexas referências para a altitude, a mais comum e popular é o nível do mar, talvez porque também seja mais útil e fácil de visualizar.

Infelizmente, o GPS não usa o nível do mar como referência. Isso acontece porque os satélites não têm como medir o mar lá de cima e acabam usando a matemática para calcular a altura de um objeto.

A gente tinha falado antes que a terra é um globo (ou uma bola), mas é mentira... (desculpe, mas esse pecadinho foi usado para fins didáticos). Vamos ver agora por quê.



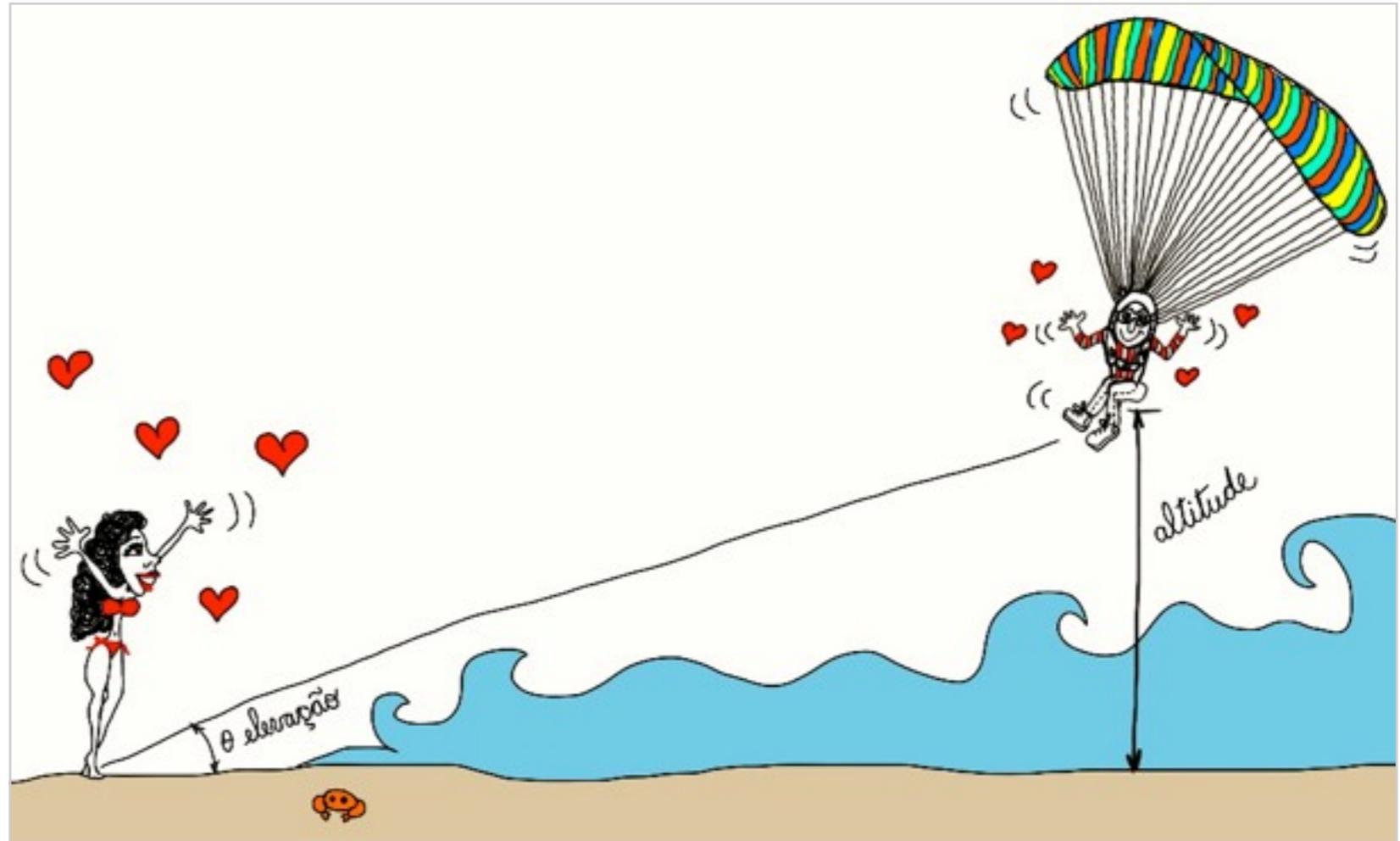
A verdade é que a terra é toda esquisitona e não pode ser descrita com exatidão por nenhuma figura geométrica conhecida: nem esfera, nem oval, nem forma de kibe frito ou de risoles. Isso significa que a figura geométrica que o sistema utiliza inclui aproximações matemáticas e não necessariamente vão coincidir com o nível do mar em todos os pontos da Terra.

Existem várias famílias de figuras geométricas que podem ser utilizadas para fins de cálculo: as **geóides**, as **esferóides** e as **elipsóides** (nome bom para uma tripla sertaneja, né não?).

Desde 1987, o GPS utiliza a elipsóide padrão **WGS-84** (*World Geodetic System*) como referência para seus cálculos. Devido a essa aproximação matemática, costuma-se dizer que a medida da altitude é a menos precisa das três grandezas de localização que o GPS fornece.

Na verdade, não é que essa medida seja menos precisa; é que quando o GPS diz que a altitude de um porco voador é de 145 metros, significa que o porco está a 145 metros acima da linha imaginária da elipsóide, e não a 145 metros do nível do mar, como algumas pessoas podem pensar.

E vale lembrar que a gente não tem como saber se a elipsóide, num determinado ponto, está passando por dentro da terra, do mar, ou acima de uma montanha. É apenas um modelo imaginário...



ELEVAÇÃO

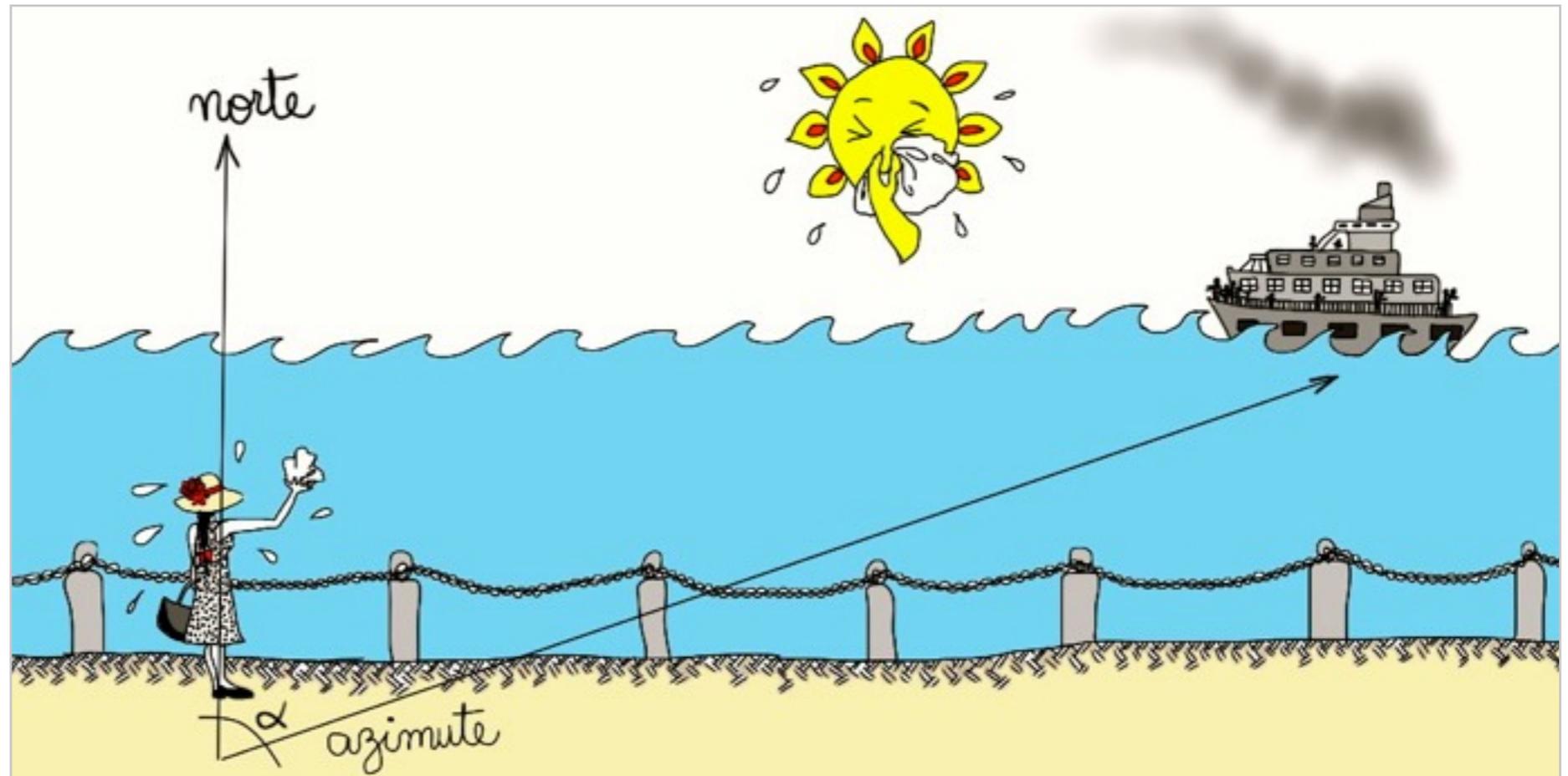
Achou que tendo as três coordenadas estaria tudo resolvido em termos de navegação? Não mesmo! Para objetos que estejam se movendo sobre a superfície da Terra até dá para se contentar com isso, mas se a gente estiver falando de um avião, uma estrela, um helicóptero, um satélite ou até mesmo um porco voador, temos que conhecer também a elevação do objeto.

Mas não precisa se preocupar porque a coisa é bem simples: elevação é o ângulo formado entre a superfície da terra e o objeto observado.

Quando um paraquedista está bem em cima da linha do horizonte, a gente diz que sua elevação é zero graus (provavelmente ele acabou de pousar ou ainda não decolou). Quando ele passa exatamente por cima da nossa cabeça, a elevação é 90° .

A mesma coisa acontece com o sol: quando ele está a pino (meio dia sobre a linha do Equador), a elevação é exatamente 90° (também conhecida como **zênite**). Quando ele se põe no horizonte, a elevação é 0° .

Fácil, né?



AZIMUTE

Eis que chegamos à última grandeza necessária para uma navegação perfeita: o azimute.

Vamos supor que tenhamos as coordenadas exatas de uma pessoa que está na praia em algum lugar do mundo. Temos então a latitude, a longitude, a altitude e a elevação da pessoa (que é 0° , pois ela está sobre a terra). Mas como saber para que lado ela está virada?

Essa informação é o azimute e, para saber disso, basta colocar uma bússola na mão dela. O azimute é o ângulo entre o ponto para onde a pessoa está olhando (ou para onde o bico do avião ou do navio está apontando, por exemplo) e o norte geográfico da terra.

O GPS não fornece nenhuma informação de azimute, portanto, ele não é uma **bússola** eletrônica como muita gente sai por aí dizendo.

O que acontece é que muitos equipamentos, além de GPS, também têm uma bússola embutida.

Ah, e uma curiosidade: há uma pequena diferença entre o norte geográfico e o magnético (que a bússola mede) e as bússolas mais sofisticadas calculam a diferença sozinhas e já compensam a leitura.



CAPÍTULO 4

COMO FUNCIONA O GPS

Agora que você já é expert em navegação e conhece todas as coordenadas, já está pronto para saber, afinal, como é que o GPS usa os satélites para fornecer a posição de qualquer objeto.

DESCOBRINDO ONDE VOCÊ ESTÁ

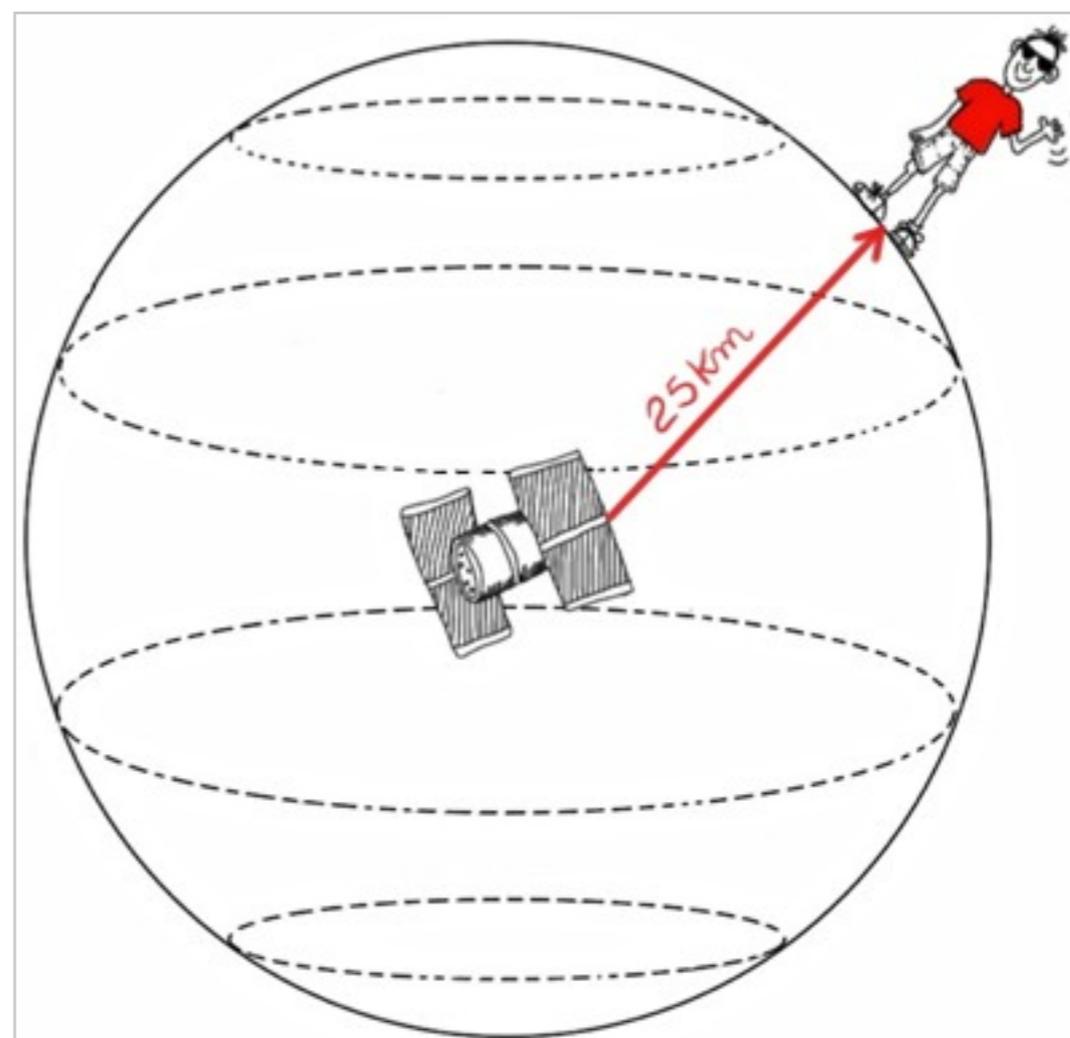
Mas como é que os satélites podem ajudar a determinar a posição de um objeto no espaço (ou sobre a terra, tanto faz)?

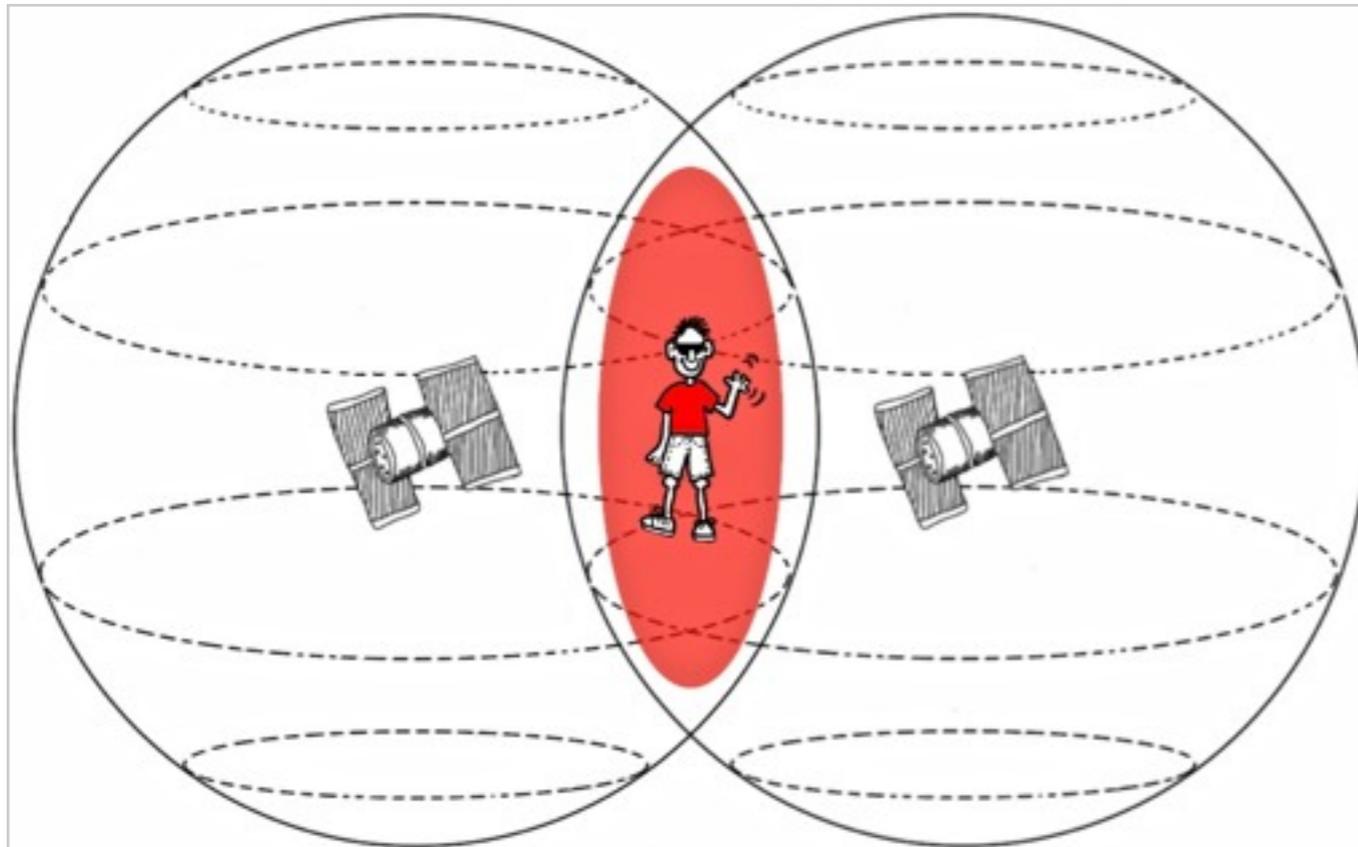
Bom, vamos usar um exemplo para facilitar o entendimento: imagine que você está em um lugar que não sabe onde é, mas sabe que está a uma distância de 25 km de um determinado satélite.

É claro que isso não resolve seu problema, pois você pode estar em qualquer lugar a 25 km em torno dele, mas já limita bastante as possibilidades. Se você está a 25 km do tal satélite, isso tem que ser em algum ponto sobre a superfície de uma esfera imaginária de raio igual a 25 km, centrada no satélite em questão.

Como dito, não resolve a questão da localização, mas estar sobre a superfície de uma esfera imaginária já não é qualquer lugar no mundo, não é?

Ok, agora vamos supor que, ao mesmo tempo, você também saiba a distância entre você e outro satélite.





Beleza, então você também tem que estar em algum ponto da superfície de uma esfera imaginária que tem esse outro satélite como centro. Se você já estava na superfície da outra esfera imaginária, então tem que estar sobre as duas ao mesmo tempo.

A intersecção entre essas duas esferas é um círculo (o desenho aparece uma oval por causa da perspectiva).

Então, se as duas medidas estiverem certas, você vai ter que necessariamente estar sobre um círculo, confere?

Ainda não resolveu o problema, mas limitou ainda mais as possibilidades. Estamos chegando perto de descobrir onde você está, acompanhe.

Até aí conseguimos deduzir que conhecer a distância que se está de dois satélites já é suficiente para definir a área onde você provavelmente está. Isso ajuda, mas não resolve, pois a gente quer saber o ponto exato.

Como saber a localização bem certinha?

Pensou certo: precisamos de mais um satélite, é claro.

Com as três medidas, temos a intersecção de três esferas. O resultado disso são dois pontos possíveis, como dá para ver no desenho ao lado.

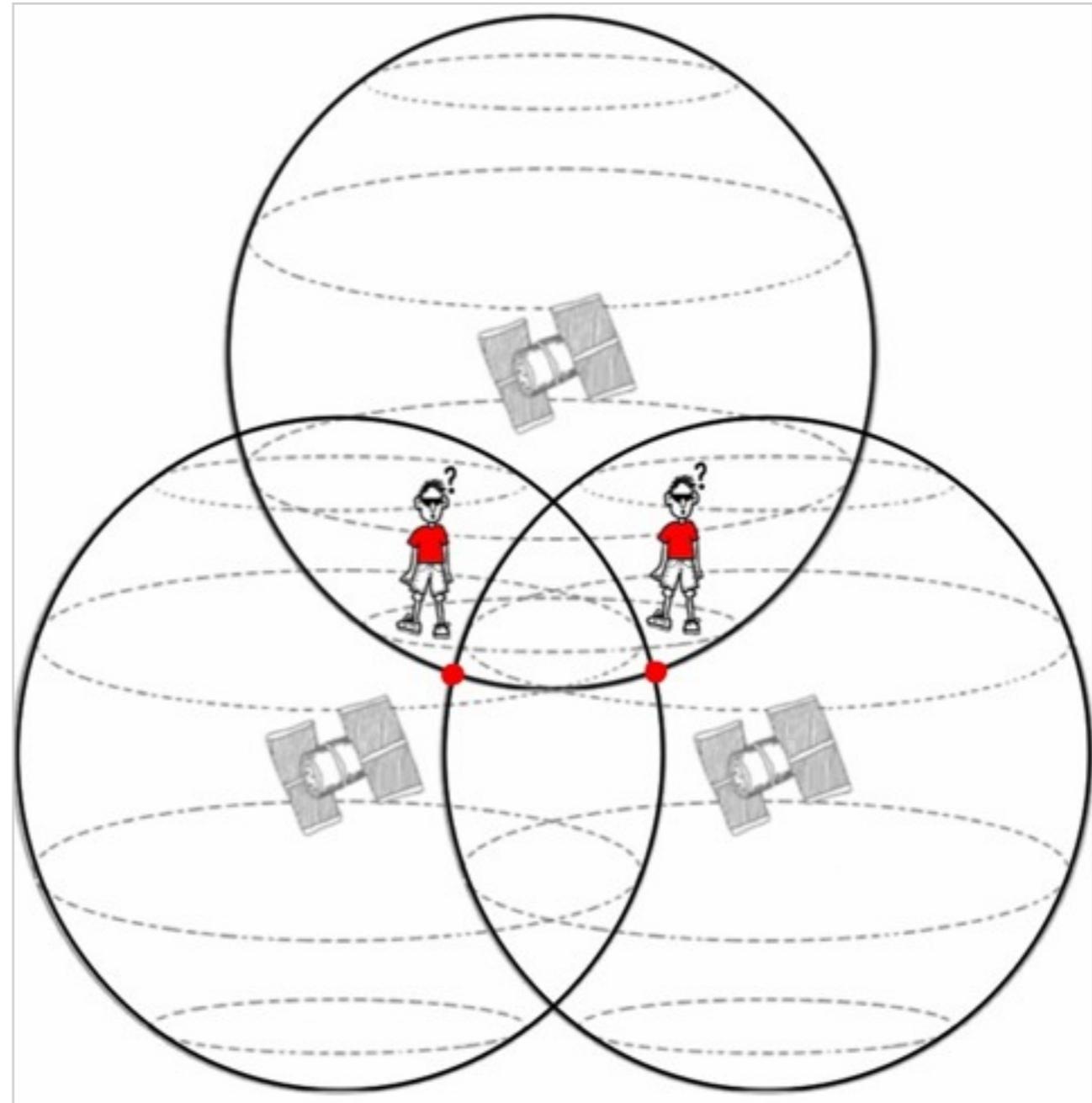
Porque usamos três medidas conhecidas, esse método é conhecido como *triangulação* (palavra bonita para usar no domingo, né?).

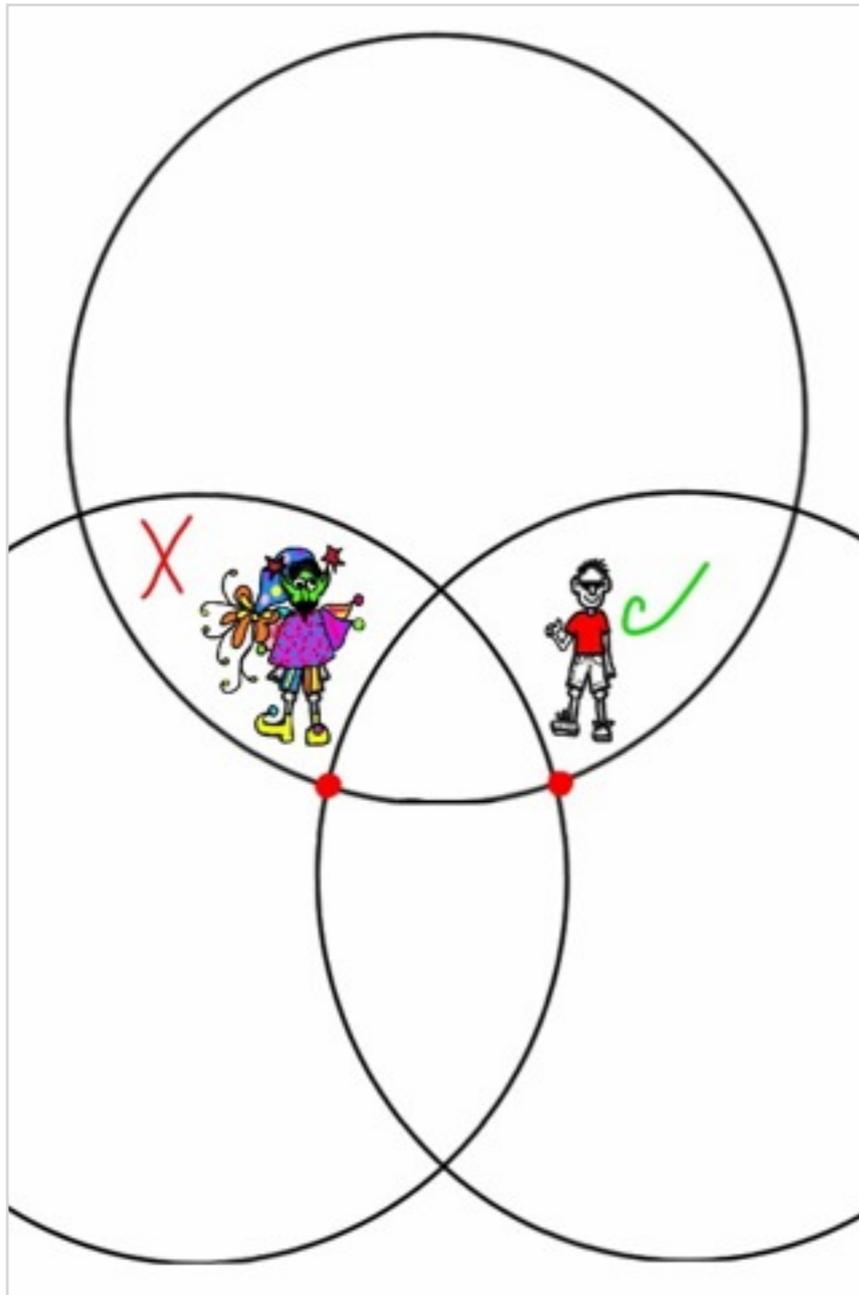
Estamos indo bem, mas a pergunta que não quer calar agora é: como vou saber em qual dos dois pontos eu estou? Qual é o ponto certo?

Bom, existem duas maneiras de se resolver essa questão.

Uma é usar um quarto satélite (sim, você pensou direito: a intersecção entre 4 esferas imaginárias resulta num ponto só). De fato, usamos sim um quarto satélite, mas não por esse motivo.

É que tem a segunda maneira de se saber onde você está: saber que um dos dois pontos é absurdo e descartá-lo.





É o seguinte: um dos dois pontos vai dar como resultado um lugar muito fora da terra; se você está dentro do seu carro, fazendo uma trilha, não pode estar tão longe da superfície. Mesmo para um avião esse número é incompatível.

Outra coisa que o GPS percebe é a velocidade na qual você está se deslocando. Um dos dois pontos sempre tem uma velocidade de deslocamento completamente bizarra. Enfim, um receptor de GPS tem essas e outras maneiras de decidir qual é o ponto certo onde você está e ignorar o outro.

Então, está desvendado o segredo: essa é a maneira que o GPS descobre a sua localização exata de latitude e longitude. Basta o receptor que está na sua mão (ou no seu carro, barco, avião, etc) calcular a distância entre ele e os três satélites mais próximos que conseguir “enxergar”. Depois é fazer umas contas e pronto.

Ok, mas espera um pouquinho: como é que o receptor vai calcular a distância entre ele e os satélites? Não existe uma super-trena que dê para se usar nesses casos...

Você tem alguma ideia?

MEDINDO DISTÂNCIAS ENORMES

Pois é, como acabamos de ver, todo o sucesso da localização do GPS está na capacidade que o receptor tem de calcular a distância entre ele e os satélites. E quanto mais precisa é essa medida, menor o erro na localização final.

Como estamos falando aí de satélites que ficam a mais ou menos 25.000 km de distância da superfície da terra, qualquer errinho de 0,01% já resulta em 2,5 km.

Então, já deu para se ter uma ideia do tamanho da encrenca, né? Não dá para o achar que meu carro está aqui ou mais ou menos a 2,5 km; não tem jeito da coisa funcionar dessa maneira.

Beleza, mas o que fazer para resolver essa questão tão espinhosa?





O princípio é bem simples: lembra daquela equação que você aprendeu na aula de física (ou de ciências) e achou que não servia para nada? É essa aqui, ó:

$$D = V \times T$$

D= Distância

V= Velocidade

T= Tempo

Só para não ficar na saudade, vamos refrescar a memória com um exemplo. Se um carro viaja a uma velocidade de 80 km/h, que distância ele terá percorrido depois de 2 horas?

$$D = 80 \text{ (km/h)} \times 2 \text{ (h)}$$

$$D = 160 \text{ km}$$

Nem era tão difícil, não é?

Pois o GPS usa o mesmo princípio, mas com uma pequena variação: o que ele monitora é o tempo que o sinal de rádio demora para sair do satélite e chegar até o receptor, onde você está.

Como as ondas de rádio viajam à velocidade da luz (300.000 km/seg), ou seja, a uma velocidade já conhecida, se a gente souber o tempo, automaticamente pode calcular a distância.

Então, voltando para a nossa equação básica. Se o sinal do satélite demora 1 segundo para chegar até você, temos:

$$D = 300.000 \text{ (km/seg)} \times 1 \text{ (seg)}$$

$$D = 300.000 \text{ km}$$

Agora pare e pense: esse relógio tem que ser muito, mas muito bom mesmo. Pois um erro mínimo de 0,1 segundo representa, pasme, 30.000 km!! Não dá para bobear mesmo!

Com certeza não dá para fazer isso com um relógio de pulso desses que você troca a pulseira, né?

Bom, depois de tanta tecnologia para projetar, lançar e manter satélites em órbita, não seria um relógio que iria impedir a coisa de funcionar. Na realidade, os receptores de GPS têm relógios de quartzo muito precisos.

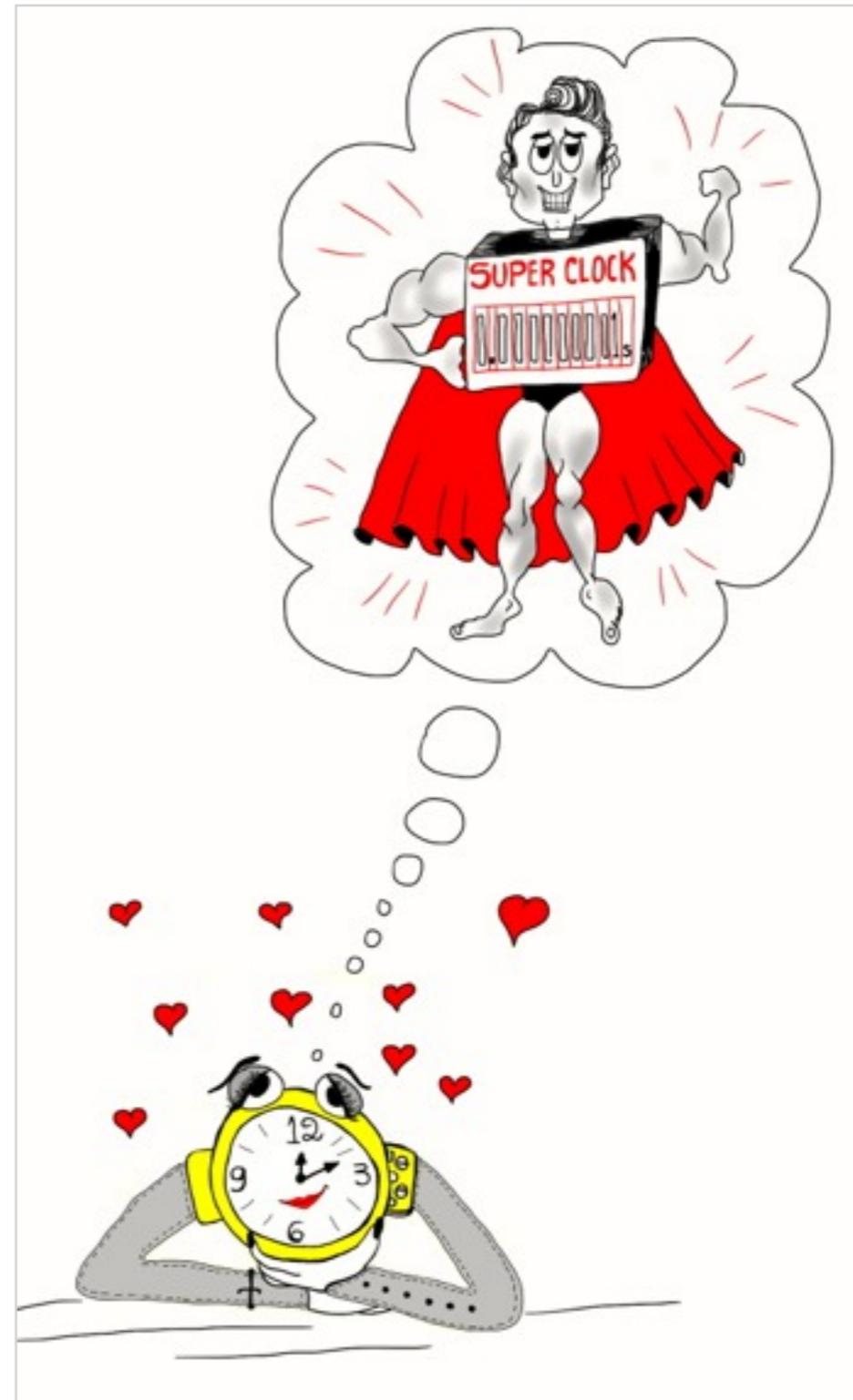
O tal relóginho que tem aí dentro do seu aparelhinho consegue medir até nanosegundos (0,000000001 segundos), sabia?

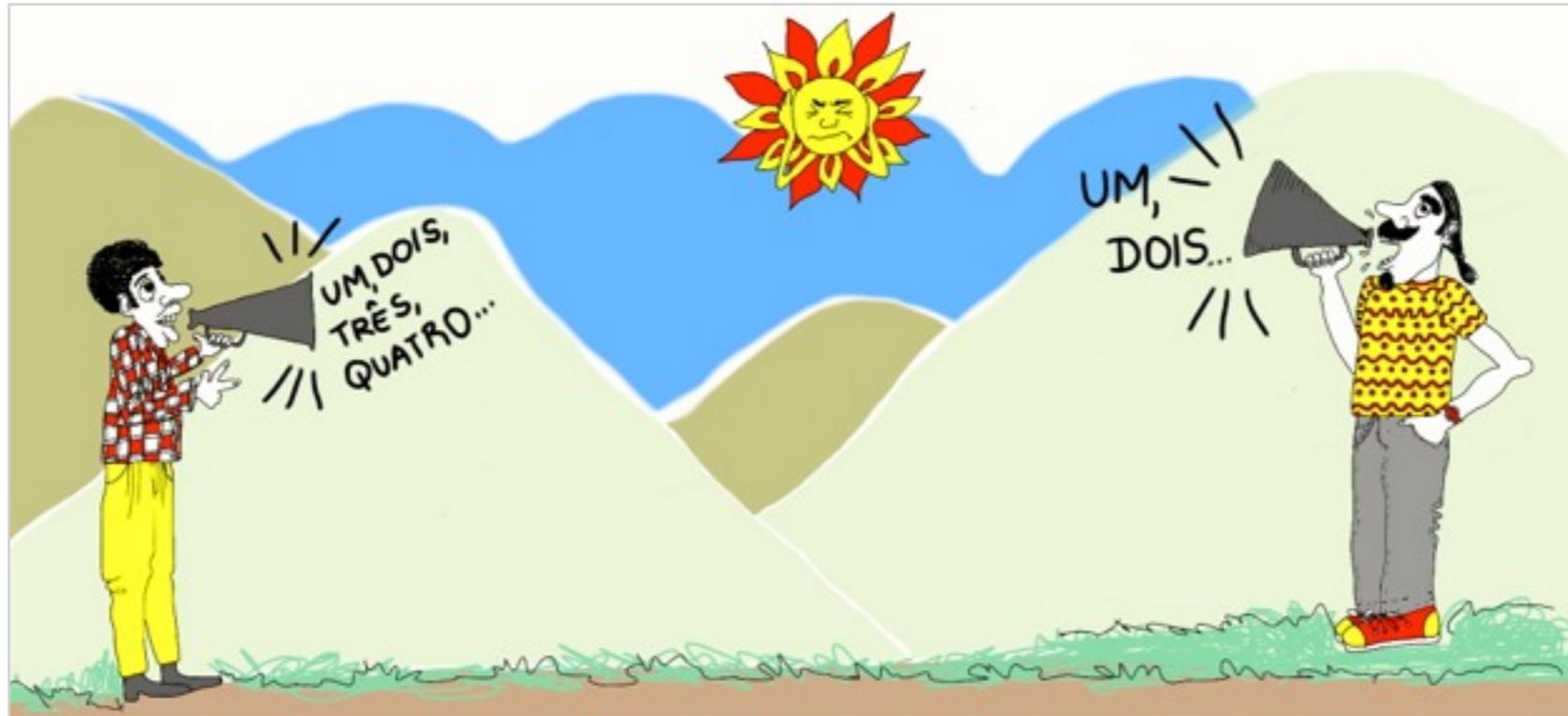
Ufa, então parece que não temos mais problemas com o relógios e tudo está resolvido.

Será?

Relembrando: precisamos medir o intervalo de tempo decorrido entre o momento em que o sinal saiu do satélite e o momento em que ele chegou no meu receptor de GPS para que a gente possa calcular a distância.

Mas como meu receptor vai saber o exato momento em que o sinal deixou o satélite?



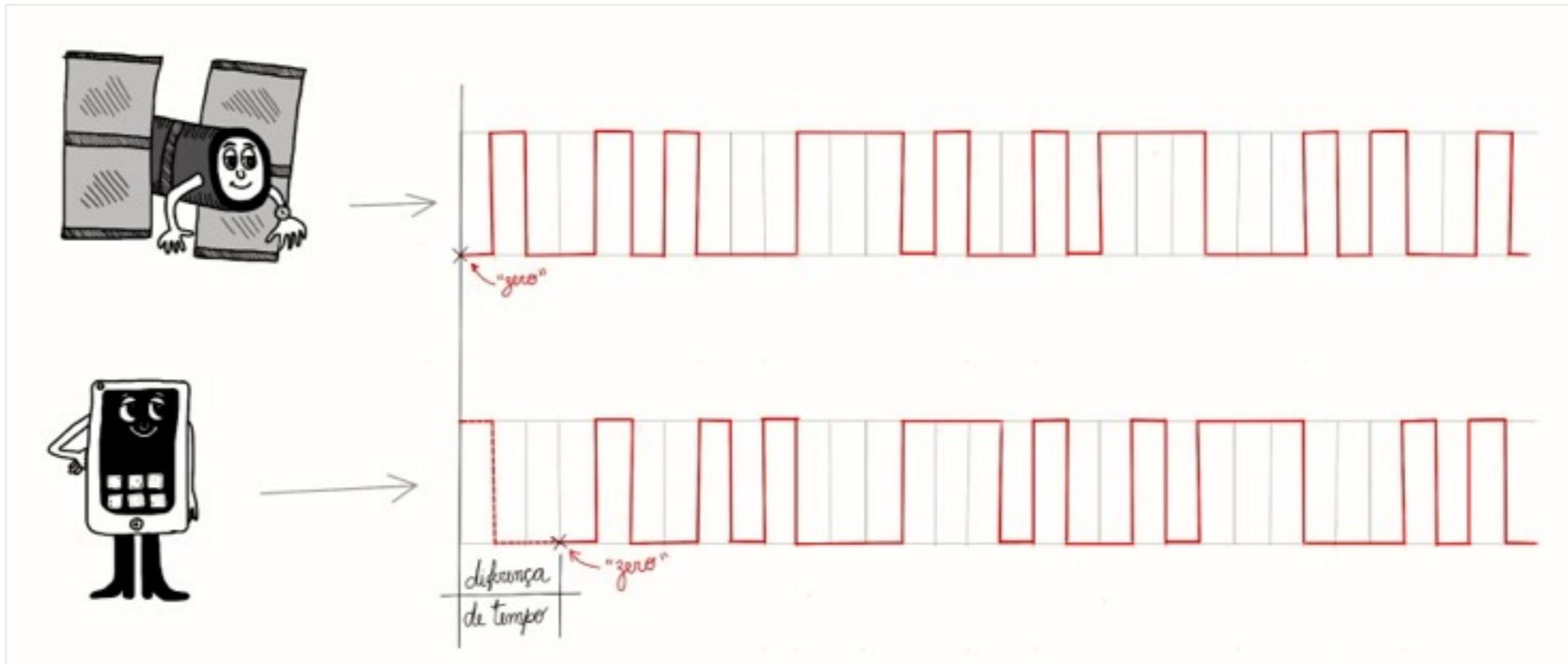


Ok, vamos começar com um exemplo simples. Vamos supor que você e seu amigo estejam em um campo aberto, distantes um do outro, cada um com um megafone (sabe como é, o tédio era grande, não tinha WiFi e nem louça para lavar em casa...).

Se vocês quiserem saber a que distância estão um do outro, a brincadeira é a seguinte. Antes de começar, vocês dois acertam os relógios e combinam: exatamente às 17 horas (por exemplo), os dois começam a contar 10 segundos em voz alta.

Quando você começar a contar, não vai ouvir a voz do seu amigo. Quando estiver lá pelo número 3 ou 4 (claro que isso depende da distância entre vocês), você ouvirá o moço dizendo “um”.

Considerando que ele fez tudo certo e começou a contar ao mesmo tempo que você, esse atraso só pode ser explicado pelo tempo que a voz dele levou para percorrer a distância entre vocês dois.



Como sabemos que o som se propaga a uma velocidade de 340 m/s, cada segundo de atraso para você ouvir a voz do seu amigo representa 340 m de distância entre vocês dois.

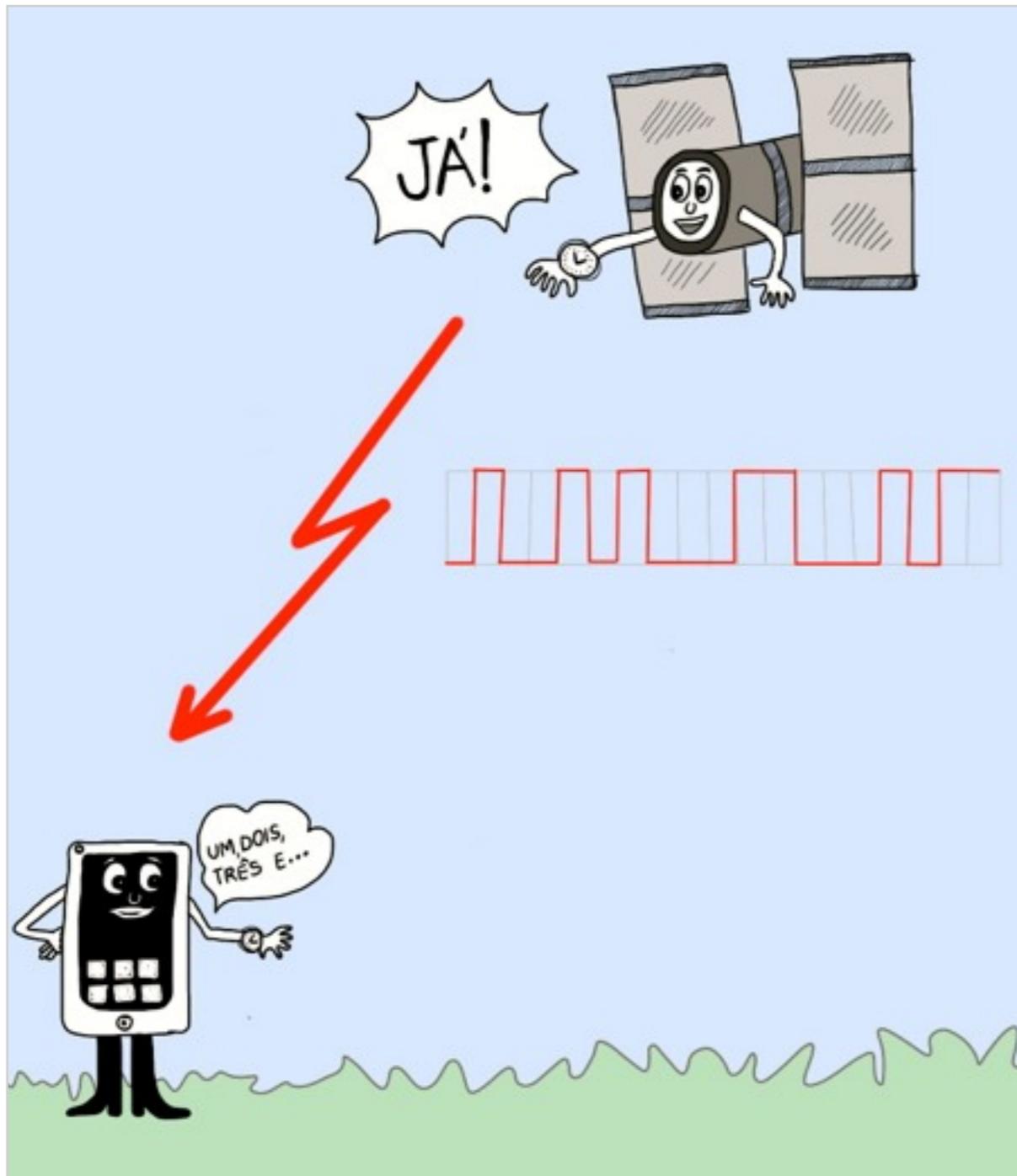
Mas é claro que a coisa só funciona se vocês dois realmente começaram a contar *ao mesmo tempo* e então chegamos a um ponto importantíssimo: o **sincronismo**.

Os relógios do GPS também são sincronizados, isto é, tanto o relógio instalado no satélite como o do receptor que você tem em mãos começam a contar ao mesmo tempo.

Só que, em vez contar números usando megafones (ia ser uma poluição sonora só, imagine), eles mandam sinais codificados.

Funciona assim: o satélite emite um sinal (como se estivesse contando até dez) e o receptor gera o mesmo sinal aqui embaixo (como se ele estivesse contando também). Quando o sinal do satélite chega aqui embaixo, o receptor procura o equivalente ao número “um” no sinal.

Quando ele acha, é só calcular o tempo de atraso.



Os sinais enviados pelos satélites são, na verdade, sequências de pulsos bastante complexas. As sequências são assim para que os pulsos não sejam confundidos com outros, induzindo erros.

À primeira vista, as sequências são tão complicadas que parecem não obedecer a nenhum princípio; quem vê pensa que elas são geradas *aleatoriamente*, ou, para usar um termo mais técnico e chique, **randomicamente**.

Mas apesar da aparente bagunça, existe sim ordem na bagunça e os sinais não são gerados de qualquer jeito, não senhor. Eles obedecem a padrões determinados bem específicos. Porque parecem aleatórios, mas na verdade, não o são, a gente diz que os sinais enviados pelo satélite e pelo receptor utilizam um código **pseudo-randômico** (se seu amigo parece bacana, mas na verdade é um mala, você pode dizer que ele é um pseudo-bacana também...). Pseudo quer dizer falso; parece, mas não é.

Tudo isso pode ser muito bonito, mas tanto você como seu amigo desocupado devem estar se perguntando: e quem garante que tanto o satélite como o receptor aqui embaixo começam a gerar a mesma sequência de sinais ao mesmo tempo e estão perfeitamente sincronizados?

Heim? Heim?

Quem é que pode garantir?



SINCRONIZANDO OS SINAIS

Como vimos na seção anterior, é necessário que tanto os satélites como os receptores de GPS gerem o mesmo sinal ao mesmo tempo. Mas vamos supor que, ao calibrar os relógios, tenha havido um erro bem pequeno de apenas 0,00015 segundos. Como a velocidade da luz é de 300.000 km/s, o erro na distância é nada menos que 45 km!! Um verdadeiro absurdo, não tem como trabalhar com um erro gigante de 0,00015 segundos.

Mas como resolver isso?

Bom, pelo menos de um lado podemos garantir a precisão: todos os satélites têm **relógios atômicos** embarcados, olha só que máximo!

A precisão dessas pequenas joias é inacreditável: só depois de contar o corresponde a 9.192.631.770 oscilações de um átomo de Césio 133 é que o relógio atômico entende que se passou um segundo. É mole?

Pois para garantir que não vai ter erro mesmo e sempre vai ter um relógio funcionando direitinho, cada satélite carrega nada menos que 4 dessas preciosidades dentro.

Esses relógios são a mais precisa referência de tempo desenvolvida até hoje e a precisão é da ordem de bilionésimos de segundos. No Brasil, por exemplo, o [Observatório Nacional](#) tem dois modelos diferentes de relógios atômicos para fornecer a hora exata para todo o país.

Bom, dá para imaginar também que, com essa precisão e complexidade toda, não dá para ficar comprando relógios atômicos em qualquer lojinha virtual na Internet. Os bichinhos são caros e exigem cuidados especiais como o controle de temperatura, por exemplo.

Como um satélite é um negócio caríssimo que precisa inclusive de foguetes para ser levado até seu local de trabalho lá na estratosfera, além de ser o resultado de anos de pesquisa e desenvolvimento, a inclusão de quatro brinquedinhos desses se justifica até com folga.

A questão é que não dá para colocar um tesouro desses em cada receptor de GPS aqui na terra (se você já acha que seu smartphone custa caro, imagina só com um relógio atômico embutido?).

Problemão, heim?

Mas os engenheiros e pesquisadores não se deixam abater por qualquer coisinha à toa. É para isso que eles têm cérebros bem treinados e, principalmente, poderosas ferramentas matemáticas!



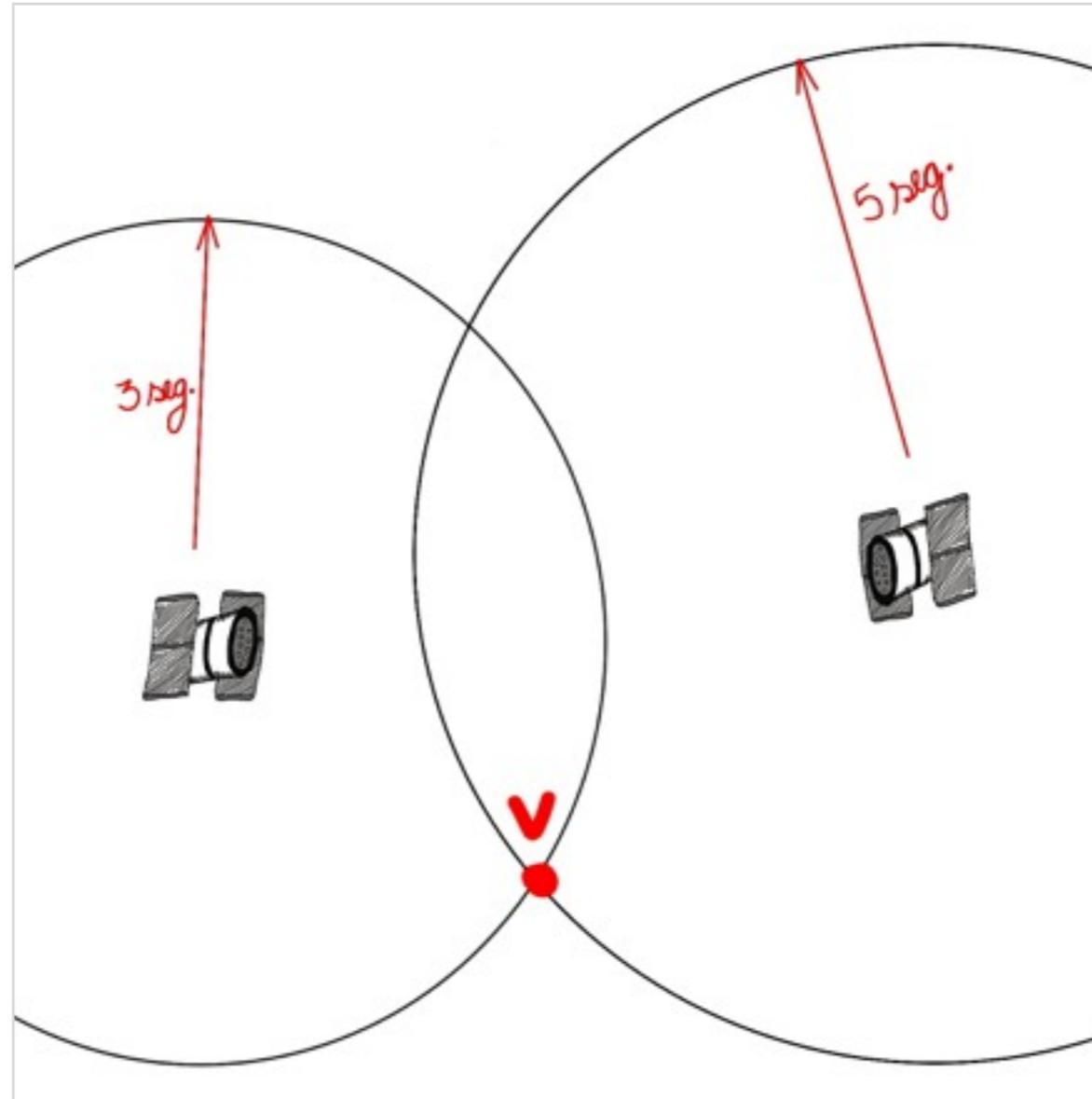
Olha só a solução que eles acharam.

A trigonometria nos diz que se nós temos 3 medidas perfeitas, podemos localizar um ponto. Mas também diz que 4 medidas imperfeitas, isso é, com alguma imprecisão, podem localizar o mesmo ponto direitinho, pois a quarta medida compensa o erro. Parece mágica, mas não é; vamos tirar a matemática da gaveta para explicar isso sem complicar.

Começemos com um exemplo usando apenas duas dimensões para facilitar o entendimento.

Supondo que você está a 3 segundos de distância de um satélite e 5 segundos de outro, poderíamos localizar a sua ilustre pessoa em um plano, confere?

Então, se você tivesse um relógio atômico e as medidas fossem exatas, acharíamos dois pontos. Um seria ignorado por ser bizarro e o outro seria onde você está de verdade (vamos chamar esse ponto de “**V**”, de verdadeiro).



Nota: Lembre-se que esse é um exemplo simplificado. Na realidade, como vimos no início desse capítulo, precisamos de 3 medidas para localizar um ponto; 2 medidas definem uma área.

Mas só que, na prática, você não tem um relógio atômico. Então vamos supor que o relógio do seu receptor esteja 1 segundo adiantado em relação aos relógios dos satélites (mas você não tem como saber isso).

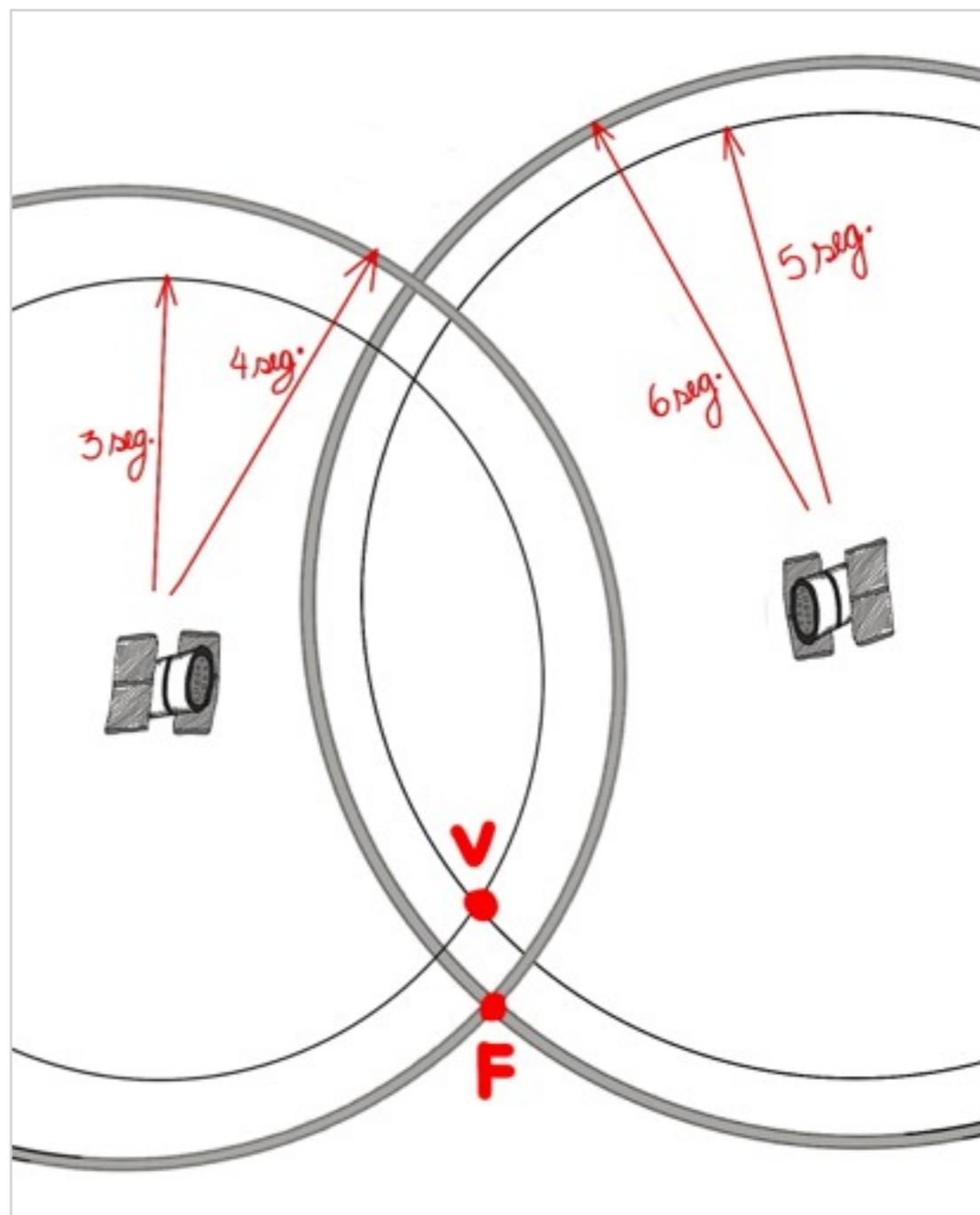
Assim, seu receptor vai dizer que você está 6 segundos de um satélite e 4 segundos do outro.

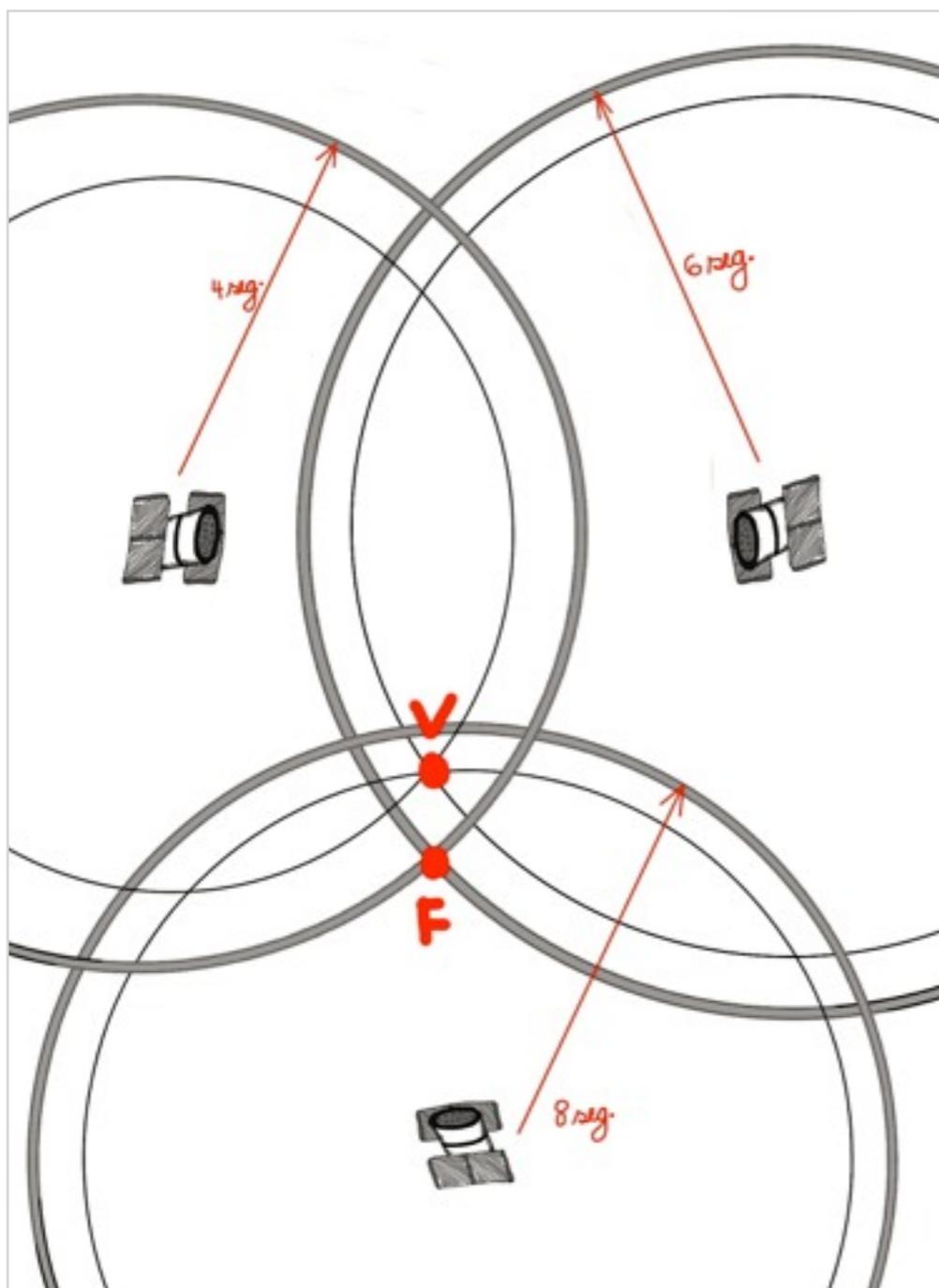
Vamos chamar o ponto certo (que ainda não sabemos onde é, pois nosso relógio está errado) de “**V**” (verdadeiro) e o ponto que o receptor nos deu e está errado, de “**F**” (Falso).

Note que sempre existem duas possibilidades tanto para o ponto **V** como para o ponto **F** (lugares onde as curvas se tocam), mas uma delas é sempre descartada pelos processadores do receptor.

Agora é que entra a trigonometria: o que acontece quando a gente coloca mais um satélite na jogada?

No nosso exemplo, ficaremos com 3 medidas.





Vejamos, as duas medidas erradas se encontram em um ponto válido (aquele que chamamos de “**F**”), mas a terceira medida passa ao largo.

Então, o ponto “**F**” nunca poderá ser aceito como verdadeiro, pois temos que achar um ponto pelo qual todas as medidas passem.

Como o receptor de GPS está programado para aceitar um ponto como sendo o correto apenas quando as 3 medidas passam por ele, logo perceberá que tem alguma coisa errada.

Bom, sabendo que o valor encontrado está errado e que as três medidas têm que passar pelo mesmo ponto, os computadores do receptor de GPS começam a fazer algumas contas.

Uma coisa que eles sabem é que o erro é igual para as 3 medidas (é o relógio dele mesmo que está fazendo as 3 leituras).

Aí os processadores começam a trabalhar duro: soma daqui, diminui dali, acrescenta acolá até ajustar todo mundo.

Mas é claro que eles não saem calculando loucamente, como se não houvesse amanhã. Existem regras de álgebra que precisam ser obedecidas, pois cada medida é uma equação matemática.

Na verdade, o que os processadores fazem é resolver um problema com 3 equações e 3 incógnitas (incógnita é como a gente chama um valor desconhecido, normalmente chamado de x, y ou z). Vale a mesma coisa para 4 equações e 4 incógnitas (vale lembrar isso porque estamos fazendo esse exercício com um satélite a menos para o desenho não ficar muito complicado de entender).

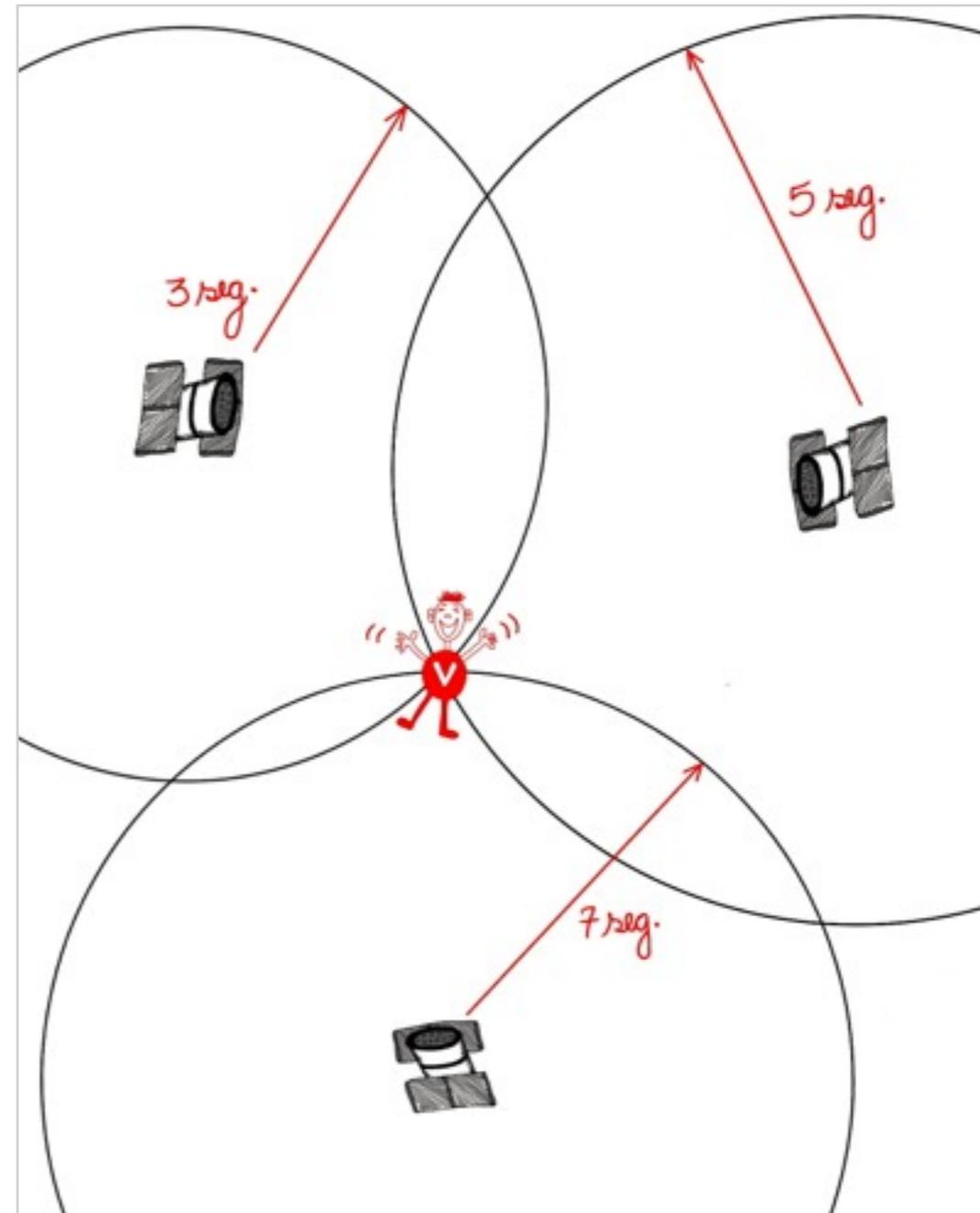
No final das contas, ele consegue descobrir o valor de cada incógnita e chega à conclusão que todas as medidas precisam ser diminuídas de um segundo.

Pronto.

O problema foi resolvido com inteligência, alguns processadores e um relógio de quartzo baratinho.

Bacana mesmo, né?

Agora você entendeu por que é que o GPS sempre usa 4 satélites para saber a localização de um ponto no espaço (que, em princípio, só precisaria de 3 coordenadas)?



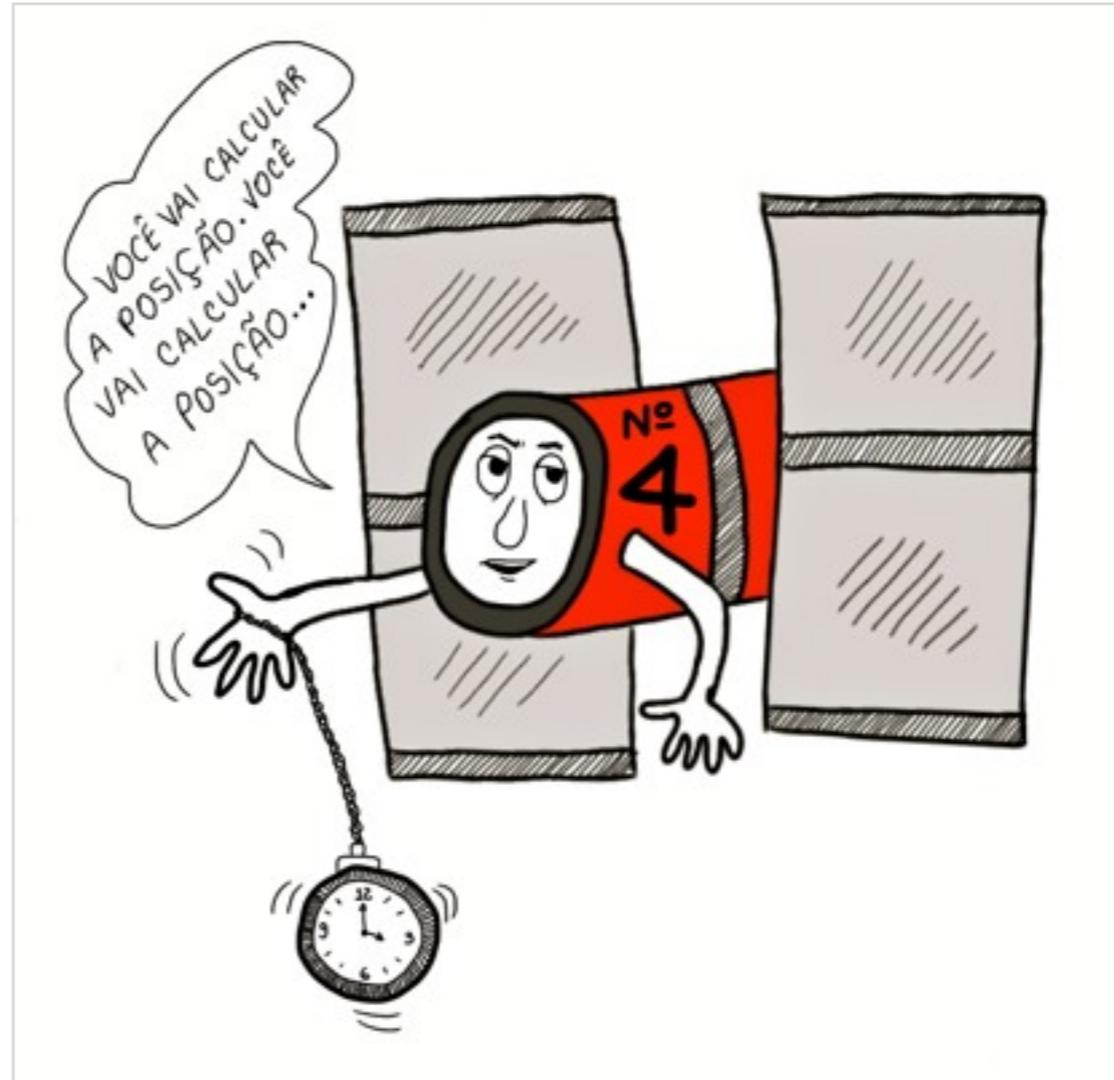
É porque o quarto satélite serve para corrigir o erro e calcular o tempo corretamente sem que a gente precise que cada receptor tenha um relógio atômico caríssimo embarcado.

Muito engenhoso mesmo, não acha?

Ah, uma nota importante: muita gente acredita que os satélites do sistema GPS são geoestacionários, isto é, têm sua órbita coladinha com a da Terra, fazendo com que ele sempre pareça estar parado (por isso o nome “estacionário”).

Isso não é verdade. Os satélites geoestacionários geralmente são usados para fins de comunicação ou como bases meteorológicas; geralmente se reportam a uma antena fixa.

No caso do GPS, o alcance seria muito reduzido com esse tipo de órbita e sem nenhuma vantagem. Por isso, os satélites têm órbitas que não são fixas em relação à terra. Por isso é que dentro dos receptores existe um algoritmo chamado “efemérides” que calcula onde deveria estar cada satélite em um dado lugar em um dado momento.





CAPÍTULO 5

A PRECISÃO E OS ERROS

Nem tudo é perfeito e há situações que o GPS não consegue resolver. Sem contar que ainda há alguns erros que continuam aparecendo, mesmo com toda a tecnologia.

Agora você vai entender como e por que isso acontece.

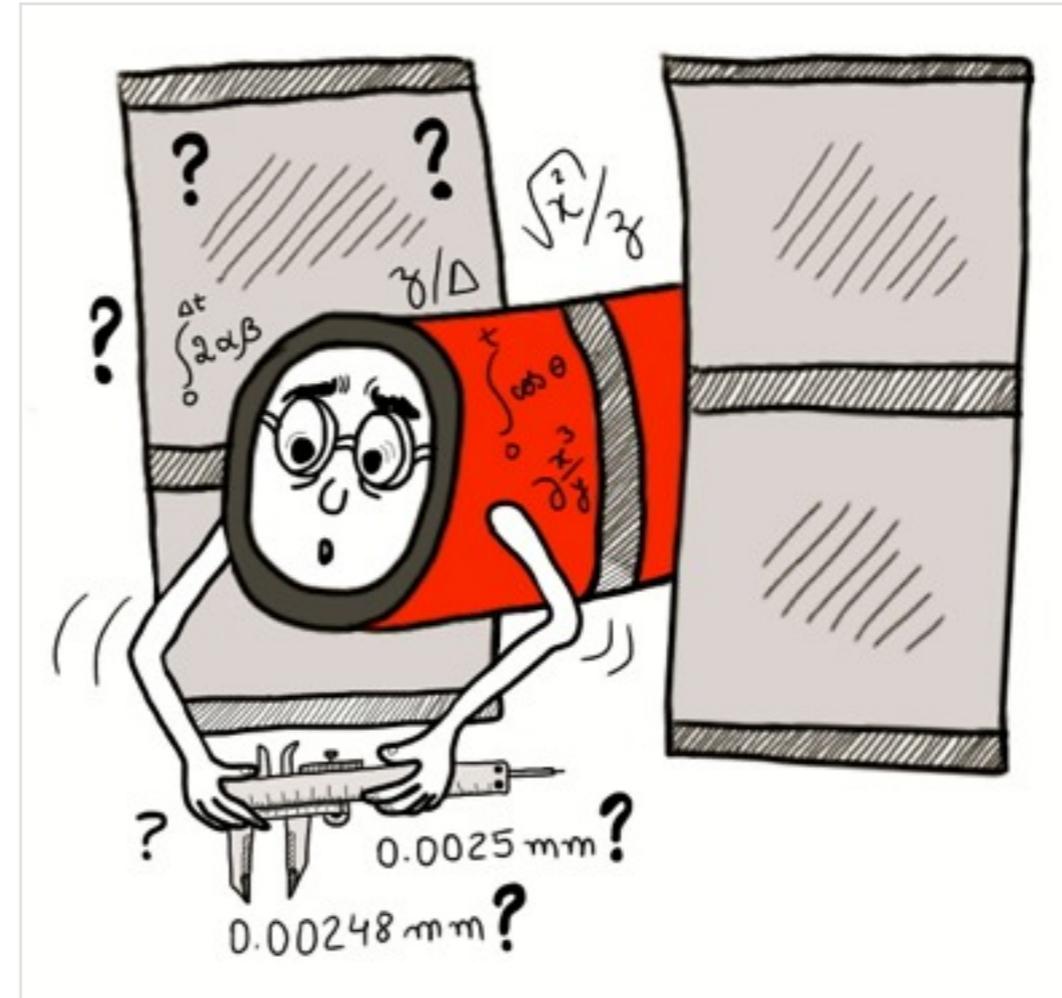
REVOLUCIONÁRIO, MAS NÃO MILAGROSO

Você já deve ter visto na televisão repórteres sobrevoando regiões selvagens extasiados com a precisão de centímetros que seu GPS de bolso fornece. Pois é, ficam extasiados à toa, porque um simples GPS de bolso, sozinho, não consegue fornecer uma precisão de centímetros, ainda mais dentro de um avião ou helicóptero.

Uma boa parte da mídia não especializada, ou mesmo um vendedor, já devem ter martelado na sua cabeça a tal precisão de centímetros (alguns se empolgam tanto que chegam a jurar que são milímetros!) do tal GPS.

Pois bem, qual é a verdade?

Bom, depois de vermos como é que o negócio funciona, vamos conhecer os principais fatores que afetam a leitura desse aparelhinho tão útil e entender porque, na maioria dos casos dos modelos de simples navegação, o erro varia entre 5 e 10 metros.



O ERRO PROPOSITAL

Quando o Departamento de Defesa dos Estados Unidos desenvolveu o GPS, em plena Guerra Fria, o objetivo inicial era, naturalmente, fornecer um sistema de navegação eficiente e preciso para aplicações militares. Mas o projeto foi tão bem sucedido que, aos poucos, foi sendo popularizado entre os civis.

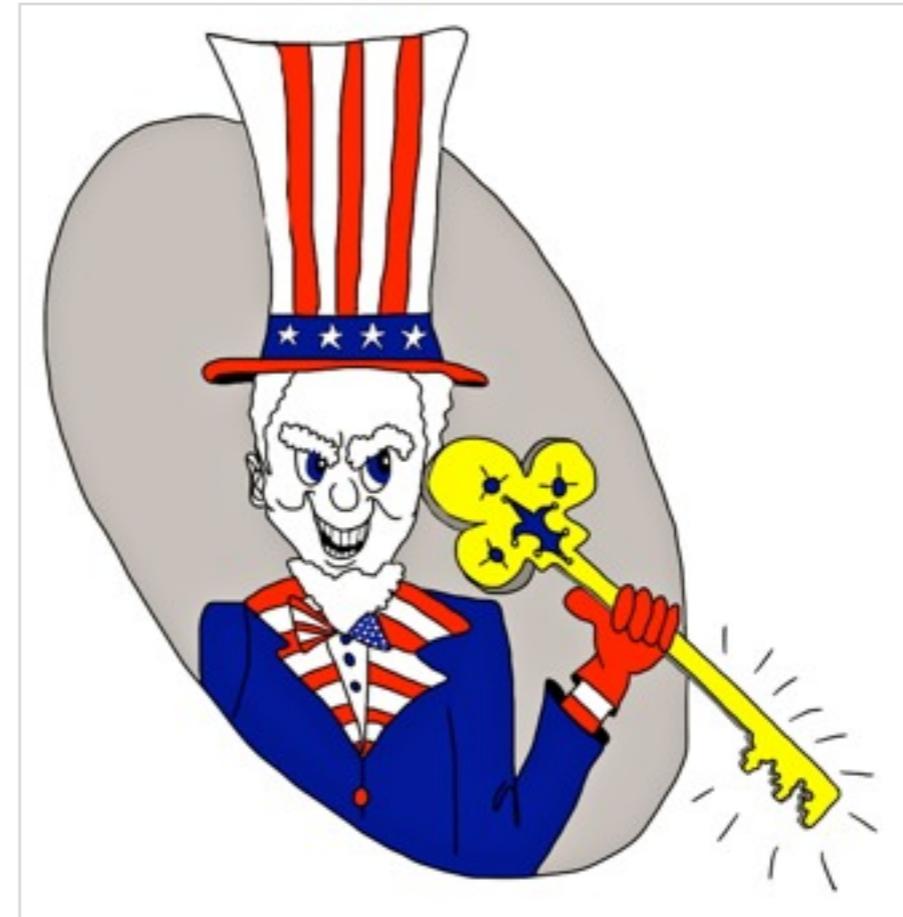
Pois é, mas para impedir que o negócio fosse utilizado por forças militares de outros países, foi inserido um erro proposital que diminuía a precisão do equipamento.

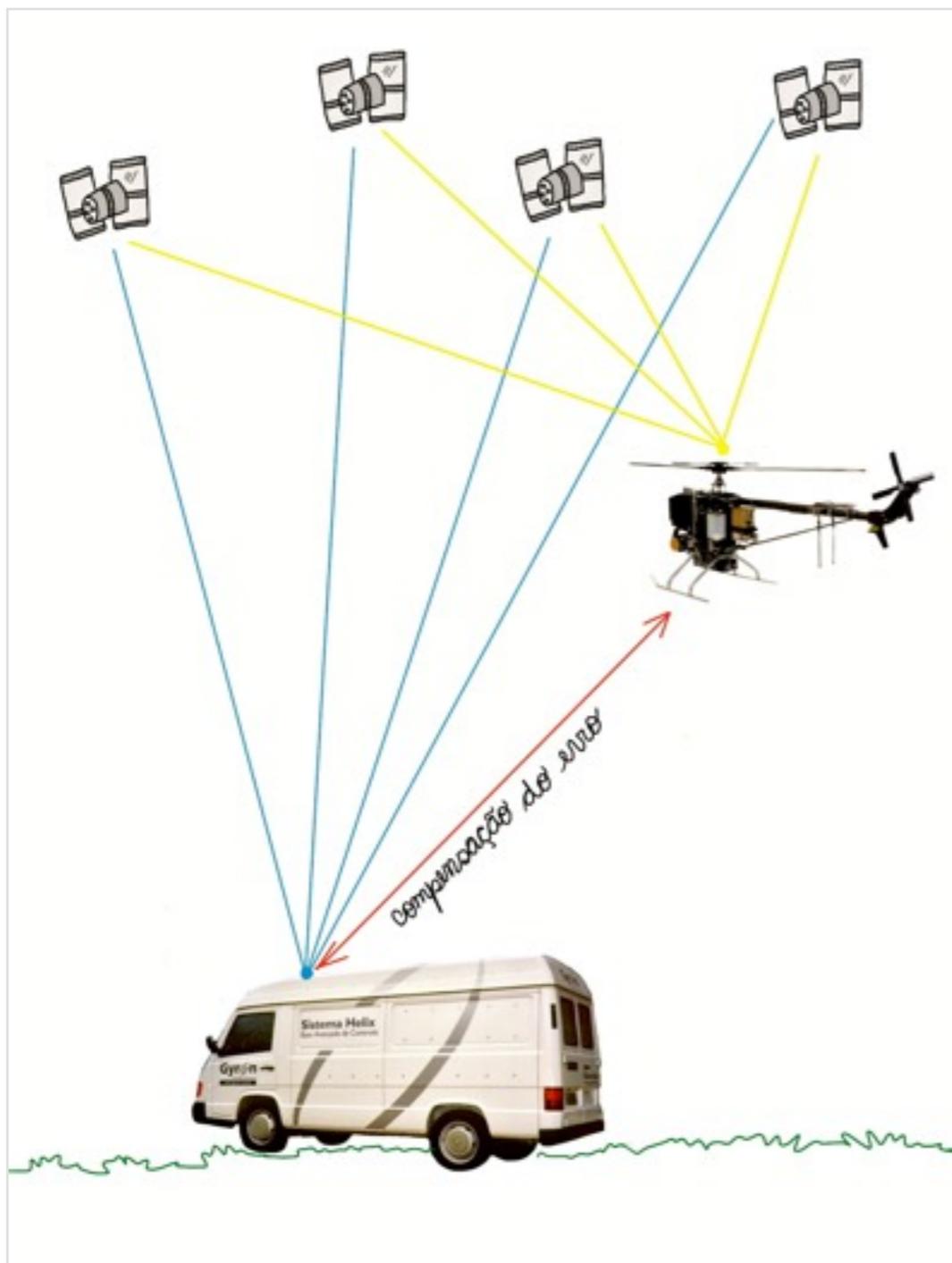
Você se lembra do **código pseudo-randômico** que falamos [aqui](#)? Era justamente através dele que os donos do brinquedo controlavam a coisa toda e inseriam o erro.

A ideia era que o qualquer um pudesse ter um receptor de GPS, mas apenas o Departamento de Defesa dos Estados Unidos tivesse a chave para eliminar o erro e conseguir uma precisão compatível com as necessidades militares.

Hoje em dia, esse ruído foi eliminado, até porque surgiram concorrentes e métodos bem sofisticados para compensar os desvios de leitura. Mas por um bom tempo (enquanto eu trabalhava com o sistema), foi necessário usar um artifício, chamado **GPS Diferencial**.

Funcionava assim: você tinha um receptor em terra e outro embarcado no equipamento cuja posição queria saber (no nosso caso, o robô aéreo).





A gente sabia exatamente quais eram as coordenadas da referência em terra; aí era só instalar o receptor de GPS no lugar e ver o que ele media; como sabíamos a posição certa, era só comparar com o valor medido para achar o erro.

Depois ficava fácil: era só pegar o valor que o receptor da aeronave estava lendo e descontar o erro para ter as coordenadas dela bem certinhas.

A questão é que para o artifício dar certo era preciso que ambos, o receptor de terra e o que estava voando, rastreassem os mesmos satélites. Se um deles usasse um conjunto diferente, já não valia mais. Além disso, as contas tinham que ser feitas bem rapidinho, pois a aeronave mudava de posição a todo momento.

Lógico que não era nem um pouco prático e, em aplicações militares ficava bem complicado de usar, mas como nosso objetivo não era esse, funcionava bem direitinho.

Para dizer a verdade, é possível inserir esse erro proposital de novo a qualquer momento. Em caso de guerra, por exemplo, basta que o Departamento de Defesa mude o código; aí os satélites não conseguem mais serem sincronizados com os receptores.

ERROS DE PROPAGAÇÃO DO SINAL

Ninguém ousa duvidar que a velocidade da luz é sempre 300.000 km/s, confere? Como os sinais de rádio andam na mesma correria, a gente sempre usa esse valor como base para fins de cálculo.

Só tem um probleminha: essa velocidade é constante apenas no vácuo. E os sinais de GPS não viajam no vácuo; eles atravessam o mundo real, que implica na presença, às vezes inconveniente, da atmosfera.

Vamos ver então os estragos que essa senhora faz no sistema.

Erros devido à ionosfera

Ah... as aulas de geografia... lembra? Lembra não? Então vamos dar uma refrescada nas ideias.

A camada mais alta da atmosfera é a ionosfera, e tem esse nome super tendência por causa justamente dos íons que frequentam o lugar (íons são aquelas

partículas com átomos desequilibrados, carregadas eletricamente).

Pois essas tais partículas, instáveis que são, acabam desviando os sinais de rádio do “bom caminho”, fazendo os moços se atrasarem para chegar à terra.

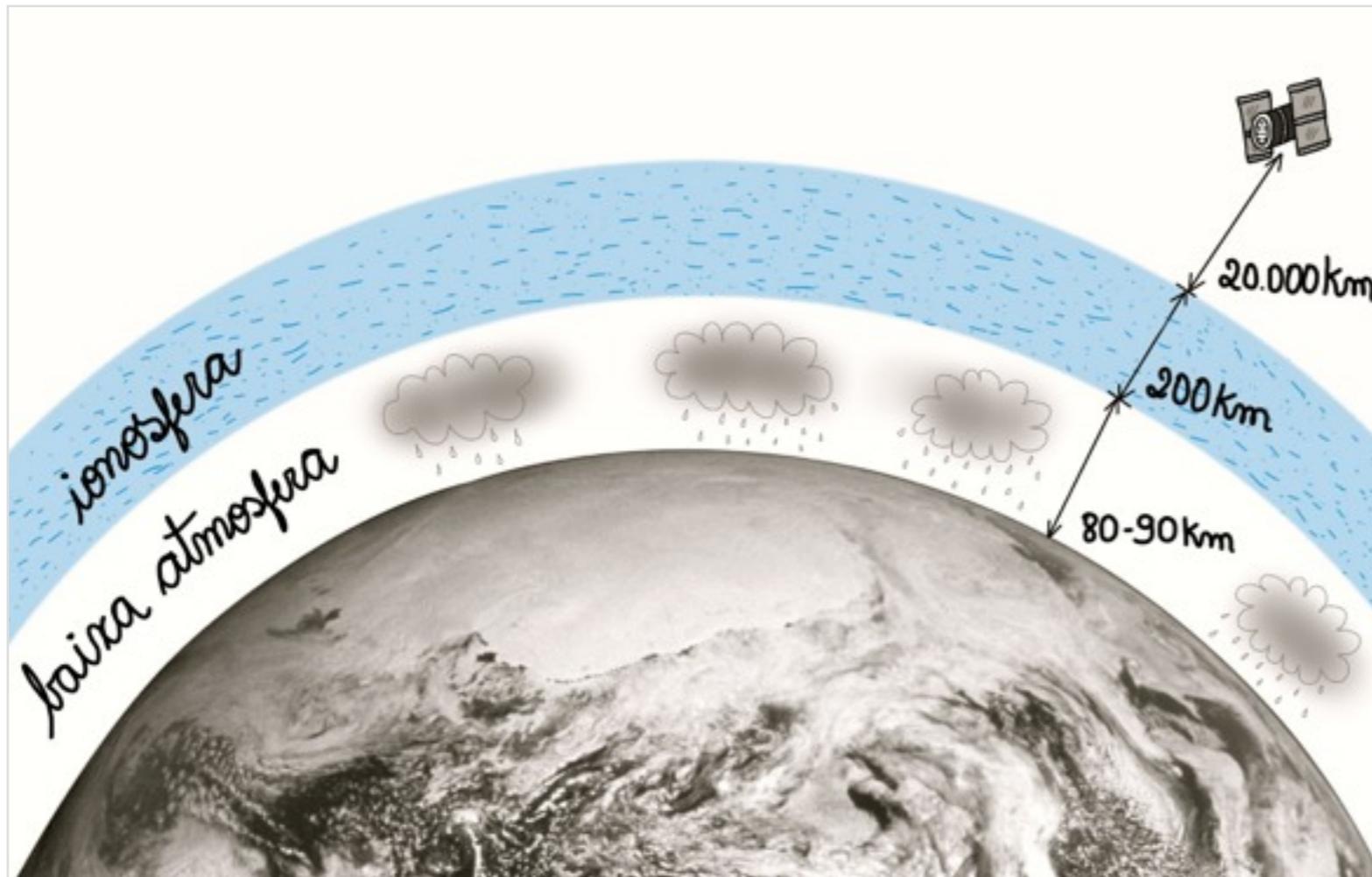
Se fossem sempre as mesmas, era só calcular esse atraso e não teria nenhum problema.

A questão é que a densidade dessas partículas não é constante e as condições ionosféricas ficam mudando o tempo todo; uma hora é sucesso aqui, outra hora a galera se reúne acolá (o mundo real é assim mesmo, fazer o quê?).



Então, apesar dessas variações não serem muito significativas para a maioria das aplicações, para outras, mais específicas, esse problema é bem importante.

Alguns receptores mais sofisticados conseguem minimizar o problema, calculando os tempos de chegada de diferentes partes do mesmo sinal. Esses modelos são chamados “*ionospheric free solution*” e obviamente são mais caros (precisam de mais capacidade de processamento e protocolos especiais, entre outras coisas). Eles usam uma das frequências com as quais o GPS trabalha para enviar as correções devidos aos erros da ionosfera.



Erros da baixa atmosfera

Na parte da atmosfera onde acontecem os fenômenos meteorológicos, chamada troposfera, a situação é mais grave. É que a umidade relativa do ar também afeta os sinais de rádio.

Se o ar está seco ou se está chovendo baldes, isso afeta diretamente os sinais enviados pelos satélites.

Só que para esses casos, infelizmente ainda não se encontrou um meio de resolver o problema.

Ainda bem que a ordem de grandeza do erro não é tão significativa, então fica assim mesmo e a incorreção é assumida como parte do negócio.

VISIBILIDADE DOS SATÉLITES

A inspiração para o GPS veio em 1957, com o lançamento do satélite russo **Sputnik**. Eram tempos de guerra fria e os americanos não queriam ficar para trás; tanto que em 1960 eles já contavam com o satélite **TRANSIT** para ajudar submarinos e navios a lançar mísseis.

O Departamento de Defesa dos Estados Unidos começou os primeiros movimentos para construir o sistema GPS em 1973 e o sistema, chamado de **Navstar GPS** (*Navigation Signal Timing and Ranging Global Positioning System*), começou a funcionar em dezembro de 1993 (em 1995 estava com sua capacidade plena).

O projeto original contava com 24 satélites ativos e mais 4 de reserva, mas desde dezembro de 2012, são 32 satélites ativos (a redundância é para aumentar a precisão).

As órbitas estão a 20.200 km de distância da Terra e a cada 12 horas os satélites completam uma rotação.

Com essas características é possível rastrear em média 6 satélites de uma vez em qualquer lugar do planeta, mas não é incomum o receptor conseguir “enxergar” 8 ou 9 satélites simultaneamente. Como vimos antes, isso é muito mais do que suficiente para definir a posição de qualquer objeto, não é?

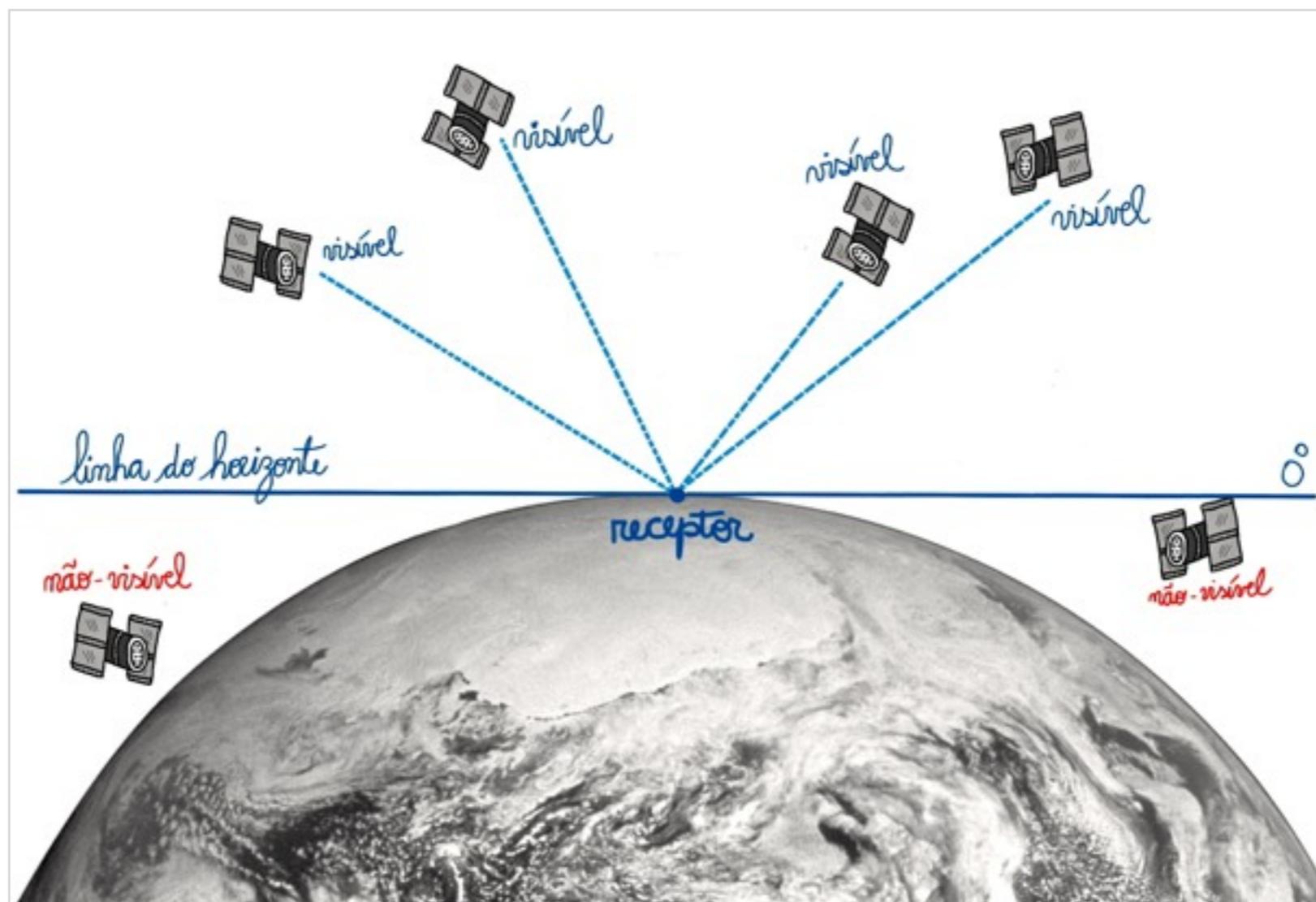
A questão é que algumas aplicações, como no caso das militares, precisam realmente de todos esses satélites ao mesmo tempo para garantir que a posição reportada é a mais exata que se possa ter.

Ok, mas como é que os receptores acham os satélites no céu?

Bom, o jeito mais simples é procurando sinais de rádio às cegas até encontrar alguma coisa. Em alguns modelos mais sofisticados, você pode facilitar a vida do aparelhinho fornecendo a hora e as coordenadas aproximadas de onde você está, para agilizar o processo de busca. Como ele tem o mapa da constelação de satélites embutido no seu banco de dados, procura os satélites que deveriam estar visíveis. A tabela com as posições de todos os satélites se chama **Efeméride**.

Por visíveis entenda-se: satélites com elevação (lembra o que é elevação? Olha [aqui](#)) maior que 0° . Os modelos mais simples não conseguem rastrear elevações muito baixas e só permitem que você reconheça como visíveis os satélites acima de um determinado ângulo.

Pois é, mas além da elevação muito baixa, é possível que o receptor também não consiga “enxergar” os satélites por conta de outros dois problemas principais: a *geometria* e as *áreas de sombra*.



PROBLEMAS DE GEOMETRIA

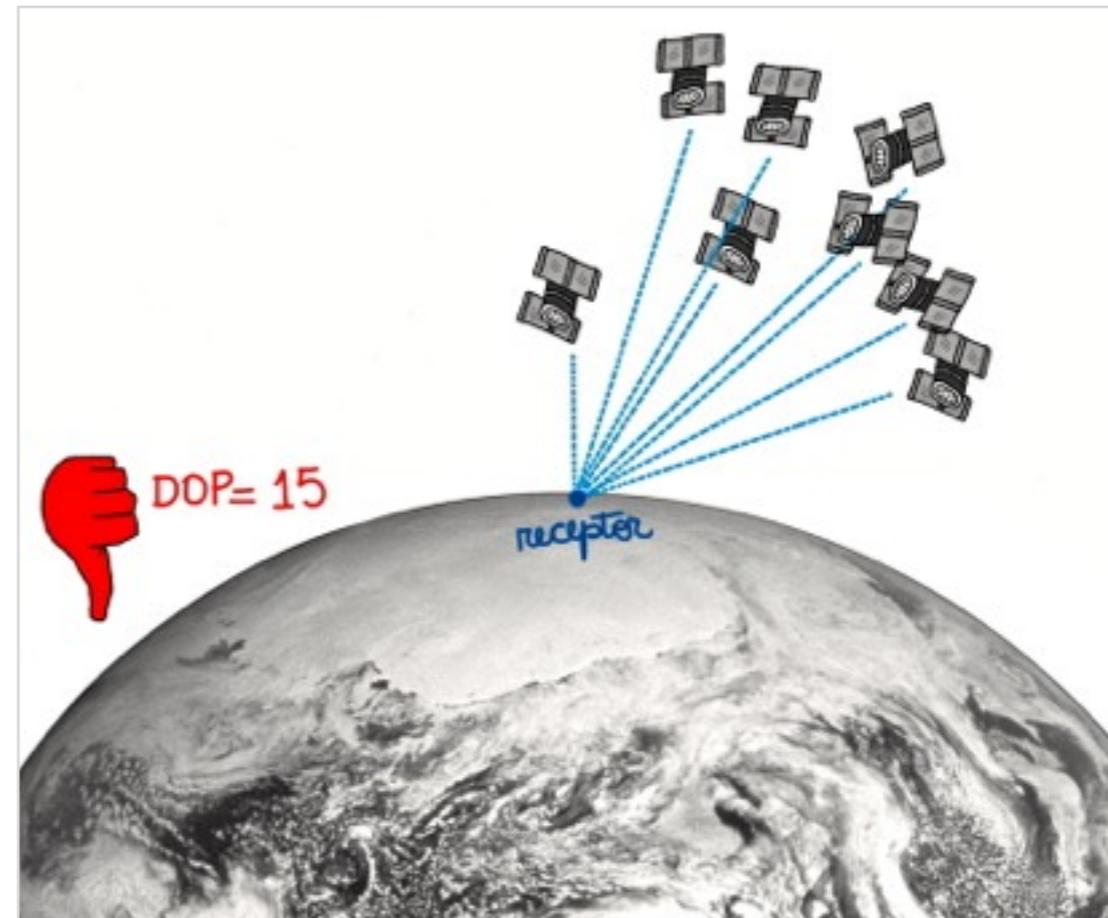
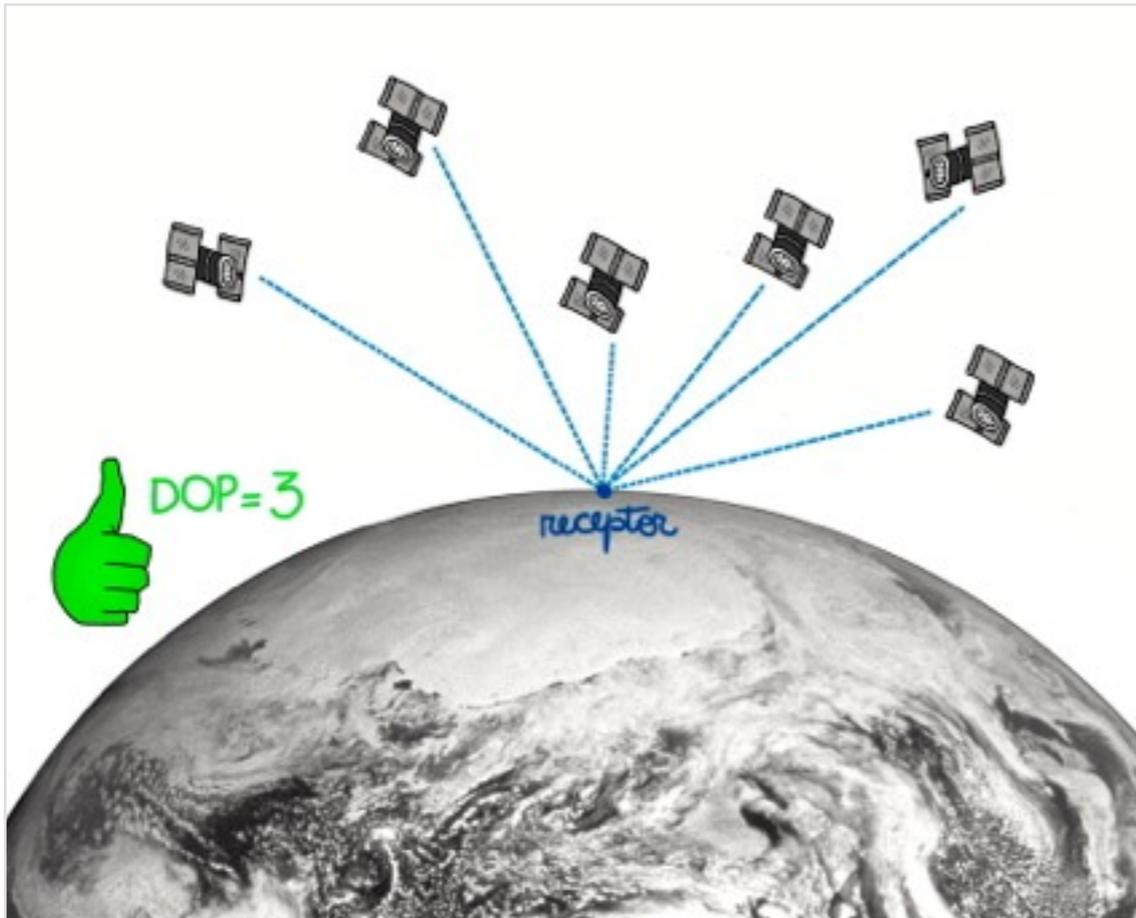
Talvez você não tenha notado ainda, mas a matemática, e em especial a geometria, tem papel fundamental para os cálculos que o receptor faz (e você sempre pensou que essas coisas foram inventadas só para infernizar a vida dos estudantes, né?).

Então, a qualidade da medição que o seu receptor de GPS está fazendo tem relação direta com a configuração dos satélites que ele está utilizando e a maneira como eles estão geometricamente distribuídos.

O parâmetro que avalia isso tem um nome imponente: **DOP** (*Dilution Of Precision*) e dá uma nota para a distribuição dos satélites acima do horizonte. A nota varia de 1 a 20, mas não se iluda: quanto mais alta a nota, pior a configuração.

Dá para dizer que até o número 5 a configuração é boa ou razoável; se a nota for 20 ou próxima disso, recomenda-se descartar as medições, pois o erro pode chegar a 300 m.

Quanto mais bem distribuídos no espaço, melhor o resultado. Se os satélites forem pegos juntinhos numa reuniãozinha entre amigos, por exemplo, certeza que não vai dar coisa boa.





REGIÕES DE SOMBRA

Os satélites se comunicam com os receptores em terra usando sinais de microondas (a frequência é 1.575,42 MHz). Esses sinais são versáteis, mas têm pouco poder de penetração.

Você pode estar achando que os sinais do GPS podem cozinhar alguma coisa por perto, igual ao seu forno de microondas em casa, mas não se preocupe. Além da intensidade dos sinais ser muito menor e menos concentrada, a frequência é diferente (os fornos usam uma frequência bem mais alta, de 2.450,00 MHz).

Por causa disso, o sinal enviado pelos satélites pode ser interrompido por concreto, madeira, metal e materiais com alto teor de água (como troncos de árvores). Já o vidro e o plástico, se não tiverem espessuras muito grossas, não incomodam.

Agora está claro porque o melhor lugar para instalar o receptor de GPS no seu carro é bem na frente do painel, de preferência perto do vidro do pára-brisas. Faz sentido, não acha?

Então, apesar dos satélites estarem teoricamente visíveis (com elevação acima de 0°), o sinal pode ser bloqueado antes de chegar ao receptor. Por isso é que quanto mais satélites visíveis houver, melhor; se um está bloqueado por um prédio alto, dá para usar outro que não esteja.

Pelo mesmo motivo, se você estiver com um receptor dentro do carro, vai ficar sem nenhuma informação quando estiver passando por dentro de um túnel, por exemplo. Da mesma maneira, se você estiver no meio de uma cidade cheia de arranha-céus, a coisa vai ficar bem complicada para o coitado do seu receptor. Os sinais vão ter que rebolar muito entre os prédios para chegar no seu carro ou smartphone.



CAPÍTULO 6

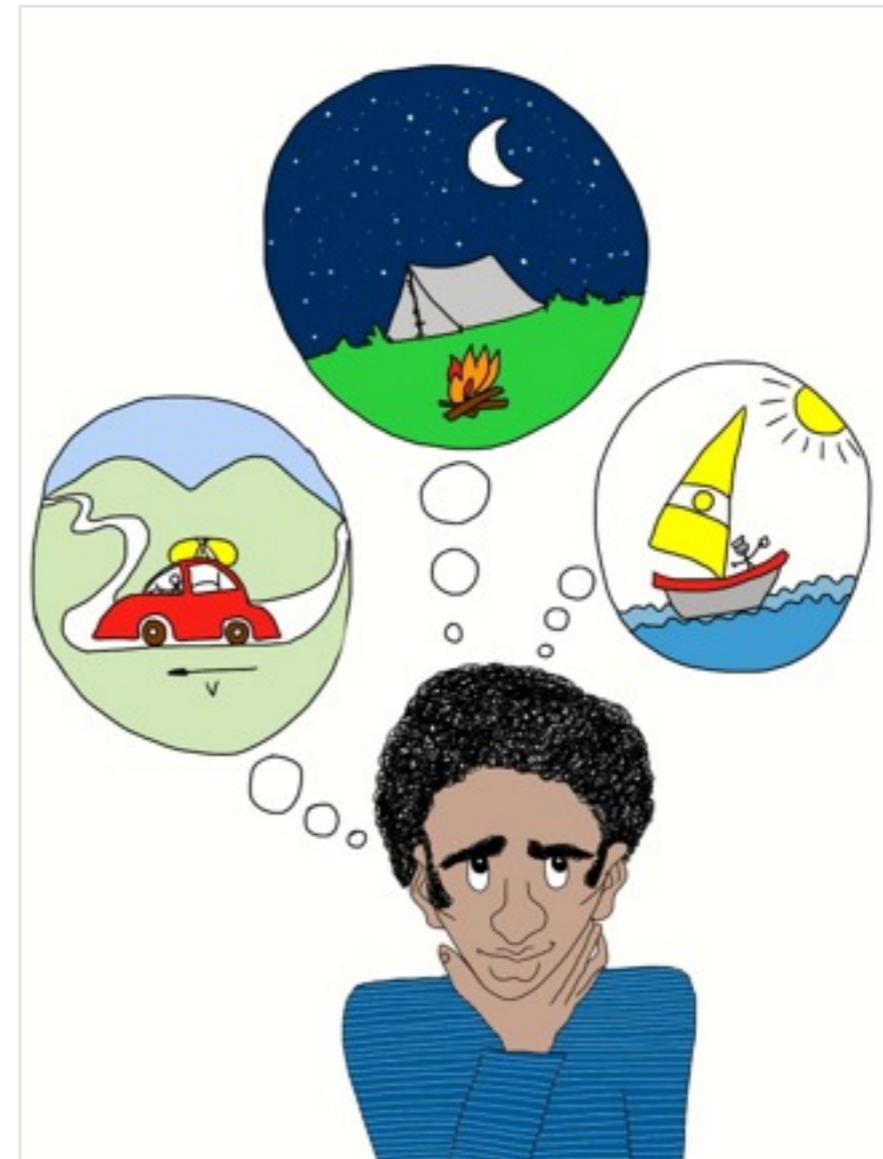
O GPS NA VIDA REAL

Aqui vamos ver os tipos de aparelho disponíveis, dicas para escolher o mais adequado para você, quais as informações fornecidas e como anda a concorrência em se tratando de sistemas de posicionamento.

COMO ESCOLHER SEU RECEPTOR DE GPS

Basicamente, a escolha do seu receptor vai depender do uso que você vai dar para ele. Sempre vale levar em consideração alguns pontos importantes.

- A precisão do aparelho (5 ou 10 metros de erro são admissíveis ou você precisa de mais precisão?).
- Quais mapas e de que tipo estão disponíveis?
- Ele resiste à chuva, umidade, altas temperaturas caso você planeje usá-lo em condições adversas?
- Quanto tempo dura a bateria? Ela é recarregável?
- Ele estará ou não embutido em algum outro equipamento (smartphone, tablet, notebook, relógios, máquinas fotográficas, computador tipo desktop, etc)?



Assim como existem muitos tipos diferentes desses aparelhos, existem também muitas maneiras de classificá-los.

A primeira grande classificação é entre os receptores de **uso civil** e os de **uso militar**. Os de uso militar têm aplicação no posicionamento de armas e foguetes (para a tal da “guerra cirúrgica”, cujo diferencial é atacar somente alvos militares, o que nem sempre se vê na prática), além de missões espaciais.

Já no uso civil, pela amplitude e diversidade de aplicações, também há várias maneiras de organizar os receptores, mas vamos classificá-los primeiro por precisão.

TIPOS DE RECEPTORES QUANTO À PRECISÃO

Nesse caso, podemos contar com 3 tipos:

Receptores geodésicos: esses conseguem captar mais canais diferentes do satélite e conseguem fazer vários cálculos complexos internamente, por isso conseguem compensar quase completamente os erros causados pela ionosfera. A precisão deles chega a milímetros, lembrando sempre que quanto maior a precisão, mais caro custa o equipamento. A pessoa/empresa realmente tem que necessitar muito desse tipo de detalhamento para justificar o investimento.

Geralmente, esses modelos são utilizados para mapeamentos geológicos e ambientais (movimento das placas tectônicas, por exemplo) e experimentos científicos.

Nesses casos, geralmente os dados de posição são colhidos e processados depois, com mais tempo. Para a medição de terrenos (que não ficam se mexendo o tempo todo, como carros), esse pós-processamento não é problema, pois a resposta certa não precisa ser dada com tanta rapidez.

Receptores topográficos: esses conseguem compensar um pouco os erros da ionosfera por conta da leitura de mais um canal de informações. A precisão pode chegar a centímetros. Novamente, lembre-se que essa sofisticação tem um preço e é bem salgadinho se comparado com os aparelhos convencionais. Geralmente, seu uso é justificado na construção civil, agrimensura, determinação de áreas de proteção ambiental, obras viárias e outras do tipo.

Receptores de navegação: são os mais conhecidos e acessíveis, porém, com precisão menor (erro entre 5 e 10 metros). Para a maioria das aplicações de navegação (você tentando achar um endereço, uma estrada ou uma trilha), essa imprecisão pode ser facilmente contornável. Por seu preço baixo e facilidade de uso, esse é o tipo mais popular.

Estou considerando aqui que você tinha muito pouco conhecimento sobre GPS antes de ler esse livro e sua curiosidade foi despertada principalmente por causa dos receptores de navegação. Se você precisa de precisões maiores para uso profissional, com certeza deverá buscar bibliografia mais especializada para tomar a decisão de escolha do modelo, ok?

Então vamos nos concentrar mais nos modelos simples de navegação e suas diferenças.

TIPOS DE RECEPTORES GPS NAVEGADORES QUANTO À PORTABILIDADE

Receptores de mão: Também chamados de *GPS Outdoor*, são aqueles que a gente carrega na mão, como o próprio nome diz, ou encaixa num suporte especial para guidão de moto ou bicicleta.

Eles têm uma tela menor e geralmente funcionam à pilha. Os mapas disponíveis são mais simples e é bastante usado para quem faz trilhas a pé, de bicicleta ou de moto e gosta de marcar os pontos por onde passou (os chamados *Waypoints*).

Muitos modelos são à prova d'água e antes de selecionar um modelo, convém verificar se ele tem mapas disponíveis dos lugares onde você pretende visitar e se aceita os programas mais usados nesse tipo de aplicação (é só procurar nos sites de trilheiros).

Receptores automotivos: Esses modelos geralmente são instalados em carros (como parte interna do painel ou externamente, ligado por um cabo).

Eles costumam ter displays maiores, mais coloridos e alguns contam com programas bem sofisticados. O uso mais comum é para a definição de rotas (você digita o endereço para onde quer ir e ele mostra o melhor caminho, muitas vezes com informações de voz).

Para isso, o equipamento leva em consideração o mapa digital instalado que precisa conter informações completas, como a mão das ruas e a numeração.

Receptores náuticos: A maior diferença entre ele e os outros é justamente a capacidade de trabalhar com cartas náuticas (além disso, boa parte dos modelos é flutuável e à prova d'água por motivos óbvios).

Eles custam mais caro que os receptores automotivos porque o software que lê as cartas náuticas é mais sofisticado e precisam levar em consideração também a previsão do tempo.

Receptores integrados: São os que já vêm embutidos nos telefones, tablets, máquinas fotográficas e gadgets em geral. Para a maioria das aplicações de navegação eles são perfeitamente adequados e as informações e funções disponíveis depende muito dos aplicativos que você vai utilizar.

SOBRE OS MAPAS

Lembra quando a gente falou [aqui](#) que o planeta Terra não é assim tão redondinho e que o GPS precisa fazer aproximações matemáticas para calcular a altitude? Pois é, isso tem outras consequências também.

Quando os cartógrafos constroem os mapas, eles precisam levar em consideração essas distorções, que acabam afetando também os referenciais de latitude e longitude na representação dos lugares. Para isso, eles escolhem um ponto que serve como referência.

Por exemplo: um mapa detalhado do Japão não pode usar a mesma referência que um mapa detalhado de Pirapora do Norte, no interior do Brasil, pois as distorções serão muito grandes.

Essa referência mais próxima do lugar que está sendo descrito no mapa se chama **datum** e define, em cartografia, o modelo matemático que representa a superfície da Terra ao nível do mar que os cartógrafos usaram para fazer um mapa e definirem todas as suas proporções.

Como são vários *datum* usados ao mesmo tempo, dependendo do mapa e do lugar, na legenda sempre está indicado em algum cantinho qual o *datum* utilizado. Os mapas brasileiros geralmente usam o Datum SAD-69 (*South American Datum* de 1969), mas ainda existem mapas mais antigos usando o datum Córrego Alegre.

O *Google Earth* e o próprio GPS, por exemplo, usam o WGS-84. A partir de 2015 o Brasil passará a usar o SIRGAS2000 (mais parecido com o WGS-84).

Ok, mas para que serve tudo isso? Na maior parte do tempo, não afeta sua vida em nada, mas quando você for passar as coordenadas de algum lugar, precisa colocar o *datum* junto. Sem essa informação, a diferença de referência entre um mapa e outro pode chegar a até 200 metros.

Então, se alguma coisa não bater muito bem nas suas medições, pode ser que o mapa esteja usando um datum diferente do seu receptor de GPS (geralmente vezes ele consegue fazer a conversão sozinho, quando informado, mas convém conferir).

Por causa disso, convém sempre conferir o datum antes de xingar seu amigo que passou as coordenadas daquele lugar bacana para visitar.

Atenção: muitos modelos de receptores de GPS não vêm com mapas instalados; aí você tem que adquiri-los e instalá-los depois. Informe-se sobre isso antes de comprar o seu.

Existem mapas bem simples, como os de papel, que servem apenas como referência geral (de cidades mapeadas), e aqueles roteáveis, com todas as nomes das ruas e os sentidos permitidos no trânsito, obras em andamento e desvios (de cidades navegáveis).

Geralmente, os mapas mais caros são mais completos e detalhados. Você também pode precisar comprar outros mapas se for viajar, por exemplo. E sempre confira o *datum* do mapa que está carregando (quanto mais recente e atualizado, melhor).

INFORMAÇÕES QUE O GPS CONSEGUE GUARDAR

Nem todos os modelos dispõem de todas as funções descritas a seguir, mas é importante você saber quais são elas, para que servem e se são importantes para você na hora de selecionar o modelo ideal (como dito antes, vai depender muito do uso que você vai fazer do seu brinquedinho).

Waypoint: É o registro de um ponto específico escolhido por você, muito utilizado em máquinas fotográficas (aplicativos como o Instagram também usam esse recurso).

Não tem caminho, não tem estrada, não tem mapa e nem nada. É só o registro de um ponto mesmo, com as coordenadas de latitude, longitude e altitude. Pode parecer pouco, mas se você estiver perdido, vai saber pelo menos em que direção está o tal ponto que você registrou e quer encontrar (o GPS vai mostrar só uma linha reta, mas já é alguma coisa).

Você pode usar quando estiver fazendo uma trilha e encontrar uma cachoeira bacana, por exemplo. Ou se quiser enterrar um baú com um tesouro...

Route (rota): É uma coleção de *Waypoints*, como naquele joguinho de ligar os pontos. O GPS só vai registrar os pontos que você pedir para ele

guardar. Então, ele não vai levar em consideração se tem rua, se tem mão, se você está atravessando um rio em cima de um barco, nada disso; só vai ligando os pontinhos e reconstruindo o caminho que você fez.

A qualidade do caminho vai depender de quantos pontinhos você registrou (o número de pontos que ele pode guardar depende da capacidade de memória do equipamento).

Lembra da história do Joãozinho e Maria, que espalharam pedacinhos de pão no caminho para conseguirem achar a trilha de volta quando andavam pela floresta? Só que o pedacinhos, no caso, são os *waypoints* e não tem nenhum passarinho para comê-los (a não ser que acabe a pilha do seu receptor!).

Assim fica fácil de se aventurar por trilhas; não dá mais para se perder, né?

Track (Trilha): Essa é uma versão mais sofisticada do *route*. Dessa vez, em vez de registrar pontos e ligá-los depois, o GPS vai registrando todo o caminho que você fez.

É mais ou menos a versão virtual da história do Teseu no labirinto; para conseguir voltar, ele foi desenrolando o novelo de sua amada, Ariadne. Para conseguir sair do labirinto, bastou ele seguir o fio (no caso, o *track*).

Aí você fica pensando: mas que bobagem me dar ao trabalho de registrar *waypoints* se o GPS pode desenhar todo o caminho, com curvas e tudo!

Pois é, a questão é que todas as vezes que você errou, teve que fazer um balão, andou em círculos ou teve que fazer alguma “barbeiragem” ficaram ocupando lugar na memória do aparelho sem utilidade nenhuma. Se você não precisa de tanta exatidão, não precisa ficar desperdiçando bytes; além disso, o *track* não registra pontos especiais, só o caminho mesmo. Ele não registra que ali tem uma cachoeira maravilhosa e mais à frente tem um lugar ótimo para acampar.

Melhor combinar o uso dos recursos para conseguir o melhor resultado.

Mais umas coisinhas úteis: além da posição atual e da rota, o GPS pode registrar a hora exata, a velocidade na qual você está se deslocando e a velocidade média da viagem toda (ele reconhece o tempo que você está

parado e desconta). Muito útil em viagens longas para avaliar seu desempenho e planejar as próximas.

Alguns também informam a hora em que o sol vai nascer naquele dia e a hora em que vai se por, baseado nas coordenadas.

Só lembrando uma coisa importantíssima: o GPS não é uma bússola, ele não registra para onde o seu veículo está apontando quando parado. Alguns aparelhos têm uma bússola eletrônica embutida. Se essa informação for importante para você, certifique-se que o aparelho que você escolheu pode fornecê-la.

COMO ANDA A CONCORRÊNCIA

É claro que não dá para o mundo inteiro ficar pendurado na constelação de satélites do Departamento de Defesa dos Estados Unidos. Vai que acontece uma guerra ou o presidente acorda de mau-humor; todo mundo fica sem saber onde está. Não dá.

Então, outros países também tem seus projetos equivalentes com as mesmas funções. Além do GPS, podemos contar também com o **GLONASS**, sistema russo que foi desenvolvido mais ou menos na mesma época do GPS (ainda bem que a guerra fria já acabou, né?).

O sistema GLONASS (**G**lobal'naya **N**avigatsionnaya **S**putnikovaya **S**istema), *Sistema de Navegação Global por Satélites* em russo, entrou em plena operação em 1995, mas com o colapso da união soviética e a falta de investimentos, acabou sofrendo perdas. Em 2011 o sistema foi restaurado e está totalmente operacional com uma constelação de 24 satélites funcionando (mais 3 de reserva).

A maioria dos receptores disponíveis no mercado (incluindo os integrados em smartphones, tablets, etc) já consegue usar os satélites de ambos os sistemas.

A China tem um sistema regional funcionando chamado **Beidou** que cobre o próprio país com 15 satélites (que luxo, heim?), mas está em trabalhos de expansão para transformá-lo num sistema global, com 30 satélites orbitais (iguais aos do GPS) e mais 5 geoestacionários (ficam sempre em cima de algum ponto fixo da terra).

Em 2020, quando eles esperam que tudo fique pronto, o nome vai mudar para **Compass**. Esse nome é bem engraçado, se a gente considerar que *Compass* significa bússola, em inglês. E, como vimos, o GPS pode ser qualquer coisa, menos uma bússola...

A União Europeia também está construindo seu próprio sistema, chamado **Galileo**, projetado para ser totalmente compatível com o GPS. A ideia é combinar os dois sistemas para conseguir uma precisão maior. O início da operação estava previsto para 2012, depois foi adiado para 2014 e agora está em 2020. Aguardemos.

Além desses ainda existem alguns sistemas regionais de posicionamento por satélite, como o da China: o francês **DORIS**, o indiano **IRNSS** e o japonês **QZSS**.

Por falta de satélites é que a gente não vai se perder..

CONCLUSÕES

Bom, chegamos ao fim do nosso encontro e espero que você tenha gostado. Como disse no início, agora você não é propriamente um expert em GPS, mas pelo menos sabe dos princípios básicos e tem mais informações para escolher o seu.

Nas próximas páginas, listo as principais fontes de informação que usei para escrever esse livro. Algumas são antigas, mas continuam valendo muito, pois falam dos fundamentos. Outras são mais recentes, que consultei mais para fim de atualização das informações sobre as condições atuais do sistema.

Infelizmente a maioria da bibliografia está em inglês, não só porque é a língua universal da ciência e tecnologia, mas também por causa dos inventores do sistema, que são americanos. Tentei ao máximo buscar referências confiáveis em português, mas realmente não são muitas.

O Brasil ainda investe muito pouco na área tecnológica (como na educação em geral, infelizmente), então não temos nenhum satélite de posicionamento ou sequer projetos que contemplem sistemas similares.

De qualquer maneira, penso que consegui reunir as fontes mais importantes para quem deseja se aprofundar mais no assunto.

Confesso que me encanto mais pelo princípio de funcionamento do que pelo aparelho propriamente dito, tanto que só uso mesmo o modelo que vem embutido no meu iPhone; já quebra muito o galho para quem adora se perder em cidades desconhecidas.

Mas a quantidade de aplicações possíveis para essa maravilha tecnológica é ilimitada; quem sabe agora você tem alguma ideia original que ninguém pensou ainda?

Será?

Bom, boa sorte na jornada e espero contar com sua companhia nos próximos livros!

PARA SABER MAIS

LEITURAS RECOMENDADAS EM INGLÊS

Livros

EL-RABBANY, Ahmed. Introduction to GPS: the Global Positioning System. 2a Ed. Norwood: Artech House, Inc. 2006.

KAPLAN, Elliott D.; HERGARTY, Christopher. Understanding GPS: principles and applications. 2a Ed. Norwood: Artech House, Inc. 2006.

MCNAMARA, Joel. GPS for dummies. 2a Ed. Indianapolis: Wiley Publishing, Inc. 2008.

HOFMANN-WELLENHOF, Bernhard; LICHTENEGGER, Herbert; COLLINS, John. GPS: Theory and Practice. 3a Ed. Viena: Springer-Verlag, 1994.

BOCK, Yehuda e Leppard, Norman (Editors). Global Positioning System: An overview. New York: Springer-Verlag. 1990.

Hurn, Jeff. Differential GPS explained. Trimble Navigation.1989.

Revistas

GPS World [www.gpsworld.com]

GPS Magazine [www.gpsmagazine.com]

Inside GNSS [www.insidegnss.com]

Professional Surveyor Magazine [www.profsurv.com]

Coordinates [www.mycoordinates.org]

Sites/blogs diversos

www.gpslead.com

www.gpseducationresource.com

www.gpstracklog.com

www.gpsmg.com

www.gpstracklog.com

www.geospatialdiscussion.com

Sites governamentais

www.gps.gov

www.glonass-center.ru/en

www.gsa.europa.eu

www.navcen.uscg.gov

www.esa.int

www.sirent.inlis.gov.sg

<http://www.navipedia.net>

<http://www.ngs.noaa.gov>

MATERIAL DISPONÍVEL EM PORTUGUÊS

Apostilas

OLIVEIRA, J. C. **Conceitos básicos sobre posicionamento por satélites artificiais (curso de uso escolar de sensoriamento remoto no estudo do meio ambiente)**. INPE. 2011. Disponível em: <www.dsr.inpe.br/vcsr/files/Apresentacao_GPS.pdf>. Acesso em janeiro 2013.

ALBUQUERQUE, P. C. G.; SANTOS, C. C. **GPS para iniciantes**. Mini curso XII SBSR. Goiânia, 16-21 abril. São José dos Campos: INPE. 2005. Disponível em: <<http://geosenso.com/arquivos/GPS%20para%20iniciantes%20-%20INPE.pdf>>. Acesso em janeiro

Revistas

Mundo Geo [www.mundogeo.com]

FossGIS Brasil [www.fossgisbrasil.com.br]

Sites/blogs diversos

www.aeroespacial.org.br

www.gpsinfo.com.br

www.blogdogps.com.br

Sites governamentais

www.aeb.gov.br

www.inpe.br/tec/rme/gnss/index.php

Livro

GURGEL, André. **Meu primeiro GPS: livro-guia para iniciantes e entusiastas**. São Paulo: Editora Via Natura. 2006.

CRÉDITOS DAS IMAGENS

Astrolábio [p. 13]: Astrolabe planisférique

Mère et tympan: Turquie ottomane, 1098 H / 1686-1687

Araignée: maghreb, vers 1850

Laiton à décor gravé et incisé | D. 10,2cm

Paris, musée de l'Institut du monde arabe, AI 86-45

Legs Destombes | Foto: Pom²

Fonte: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Astrolabe_planisférique.jpg>

Sextante [p.13]: Spiegelsextant um 1810, Fa. Breithaupt

Kassel, Deutschland

Foto: Benutzer:Hafenbar

<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spiegelsextant_1810.jpg>

Mapa de Prolomeu [p.17]: Cosmographia.

Autor: Ptolemy | Publisher: Lienhart Holle

Date: 16 July 1482.

Foto: Norman B. Leventhal Map Center at the BPL

<http://maps.bpl.org>

Link: <<http://www.flickr.com/photos/normanbleventhalmapcenter/2709976847/in/photostream/>>

Sol da meia noite [p.19]: Foto tirada nas coordenadas

69° 14' 30.24" N, 17° 58' 5.92" E por Petr Brož. Fonte: [http://](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Midnight_sun_in_Finnsnes.jpg)

commons.wikimedia.org/wiki/File:Midnight_sun_in_Finnsnes.jpg

Capa: ilustração sobre fotografia HighTechDad *copyright* 2012 (*Creative Commons*)G