

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

SAMUEL DE OLIVEIRA CARVALHO

PROJETO DE DIPLOMAÇÃO

SISTEMA DE MONITORAMENTO DE VEÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO

Porto Alegre

2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

SISTEMA DE MONITORAMENTO DE VEÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO

Projeto de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para Graduação em Engenharia Elétrica.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Carlos Eduardo Pereira

Porto Alegre

2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

SAMUEL DE OLIVEIRA CARVALHO

SISTEMA DE MONITORAMENTO DE VEÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO

Este projeto foi julgado adequado para fazer jus aos créditos da Disciplina de “Projeto de Diplomação”, do Departamento de Engenharia Elétrica e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: _____

Prof. Dr. Carlos Eduardo Pereira, UFRGS
Doutor pela Universidade de Stuttgart – Stuttgart, Alemanha.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Carlos Eduardo Pereira
Doutor pela Universidade de Stuttgart – Stuttgart, Alemanha.

Prof. Dr. Ivan Müller
Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, Brasil.

Prof. Dr. Luís Fernando Alves Pereira
Doutor pelo Instituto Tecnológico da Aeronáutica – São José dos Campos, Brasil.

Porto Alegre, julho de 2013.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Paulo e Sonia, pelo amor, dedicação e apoio em todos os momentos da minha vida, e ao meu irmão, Rafael, pela amizade e companheirismo inigualáveis.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, por terem sempre incentivado meus estudos e propiciado toda a estrutura necessária à minha formação. Agradeço também às broncas e aos conselhos dados... Sempre sábios!

Ao meu irmão, pelas longas e divertidas conversas, e por sempre saber o que dizer para me fazer rir.

Aos meus colegas e amigos, pela motivação, apoio e companheirismo em todos os momentos.

À UFRGS e aos professores, pela excelência do ensino, e em especial ao meu orientador, Professor Carlos Eduardo Pereira, pelos conselhos dados ao longo de todo este trabalho e ao Professor Ivan Müller, por ter cedido o kit sobre o qual este trabalho foi realizado.

RESUMO

Este trabalho descreve o processo de desenvolvimento de um sistema de monitoramento em tempo real de veículos de transporte público. Utilizando técnicas já existentes de localização (GPS) e comunicação (GSM/GPRS), desenvolveu-se um sistema onde o usuário pode realizar consultas de rotas e intervalos de tempo que os veículos levarão para chegar a um determinado ponto.

Palavras-chaves: Engenharia Elétrica. Localização. GPS. Interatividade.

ABSTRACT

This job describes the development process of a real time monitoring system of public transport vehicles. Using existing technologies of localization (GPS) and communication (GSM/GPRS), it was developed a system where the user can perform searches of routes and time intervals that the vehicles will take to arrive at some given point.

Keywords: Electrical Engineering. Localization. GPS. Interactivity.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. SISTEMAS DE NAVEGAÇÃO POR SATÉLITE	17
2.1 HISTÓRICO	17
2.2 CONCEITOS BÁSICOS	18
2.2.1 Segmento Espacial	22
2.2.2 Segmento de Controle	26
2.2.3 Segmento de Usuário	26
2.2.4 Dados NMEA.....	31
2.3 COORDENADAS GEOGRÁFICAS	35
2.3.1 Fórmula de Haversine	39
3. SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO	41
3.1 ACESSO MÚLTIPLO.....	44
3.1.1 Frequency Division Multiple Access (FDMA)	44
3.1.2 Time Division Multiple Access (TDMA)	45
3.1.3 Code Division Multiple Access (CDMA)	46
3.2 ALOCAÇÃO DE FREQUÊNCIAS NO ESPECTRO	47
3.3 ONDA PORTADORA.....	48
3.4 MODULAÇÃO	48
3.4.1 Tipos de Modulação.....	49
3.5 ARQUITETURA BÁSICA DO GSM (2G)	54
3.6 ARQUITETURA BÁSICA DO GPRS (2.5G)	57
3.7 ESTABELECIMENTO DA CONEXÃO GPRS	59
4. HARDWARE	59
5. SOFTWARE	63
5.1 SOFTWARE DOS MÓDULOS GSM E GPS	64
5.2 SOFTWARE DA INTERFACE	66
5.2.1 Funcionamento.....	67
5.2.2 Desenvolvimento.....	68
5.3 BANCO DE DADOS	69
6. IMPLEMENTAÇÃO, TESTES E ANÁLISES.....	71

7. CONCLUSÕES	75
REFERÊNCIAS.....	77

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Funcionamento do Sistema de Monitoramento.....	14
Figura 2 - Posição do receptor é a intersecção dos dois círculos.....	19
Figura 3 - A posição é determinada no ponto onde as três esferas se encontram.	20
Figura 4 - Os três segmentos do GPS.....	21
Figura 5 - Satélites GPS orbitam em 6 diferentes planos orbitais.....	22
Figura 6 - Rastreamento de 24 horas do alcance efetivo de um satélite GPS.	23
Figura 7 - Código PRN.	24
Figura 8 - Diagrama de blocos simplificado.....	25
Figura 9 - Estrutura do sinal GPS.	25
Figura 10 - Quatro sinais precisam ser recebidos para determinar a posição.....	27
Figura 11 - Esquema utilizado para determinação da posição do usuário.	28
Figura 12 - Estimando a posição.....	30
Figura 13 - Representação do sistema de coordenadas WGS84.....	34
Figura 14 - Representação usual do sistema de coordenadas WGS84.	34
Figura 15 - Representações de latitude e longitude no globo terrestre.	36
Figura 16 - Representação exagerada do geoide terrestre.....	37
Figura 17 - Triângulo esférico.	40
Figura 18 - Canal de comunicação no sistema móvel celular.....	42
Figura 19 - Enlaces direto e reverso.	43
Figura 20 - Tecnologia FDMA.....	44
Figura 21 - Tecnologia TDMA.	45
Figura 22 - Tecnologia CDMA.	46
Figura 23 - Alocação de frequências regulamentada pela Anatel.....	47
Figura 24 - Modulação ASK.....	50
Figura 25 - Modulação FSK.	51
Figura 26 - Modulação PSK.	52
Figura 27 - Modulação MSK.....	54
Figura 28 - Arquitetura simplificada de uma rede 2G.	55
Figura 29 - Arquitetura simplificada de uma rede 2.5G.	58

Figura 30 - Kit de desenvolvimento EVK-G26H.	60
Figura 31 - Diagrama de blocos do kit EVK-G26H.	62
Figura 32 - Fluxograma do funcionamento do script de controle dos módulos GSM e GPS.....	64
Figura 33 - Layout da interface web desenvolvida.....	67
Figura 34 - Modelo do banco de dados.....	69
Figura 35 - Arquivo com as sentenças NMEA.....	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Modelo de Taylor para linearização de equações.....	29
Quadro 2 - Descrição do código \$GPRMC.	33
Quadro 3 - Principais características do GSM.	55
Quadro 4 - Chaves do kit EVK-G26H.....	61
Quadro 5 - LEDs do kit EVK-G26H.....	61
Quadro 6 - Procedimento de ligação da placa.	62
Quadro 7 - Configurações para a comunicação AT do módulo GSM	63
Quadro 8 - Comandos AT utilizados.	66
Quadro 9 - Tempos de cada processo.	73
Quadro 10 - Comparações entre as distâncias medidas e calculadas.	74

1. INTRODUÇÃO

Enquanto os provedores de serviços móveis e fabricantes de GPS batalham para encontrar novos serviços para oferecer aos seus clientes, a convergência entre as tecnologias GPS e GSM já deu seus frutos. Ao equipar terminais de posicionamento global com um canal de comunicação sem fio, um nível completamente novo de aplicações surgiu.

Estas tecnologias convergidas possibilitam que aparelhos, veículos e máquinas tenham suas localizações determinadas e transmitam esta informação para qualquer lugar no mundo.

O monitoramento de frotas é um bom exemplo de como as tecnologias GPS/GSM convergidas podem ser úteis. Em Taipei, capital de Taiwan, existe um sistema de monitoramento dos ônibus que mantém as posições de mais de 4000 ônibus em 300 rotas. Este sistema fornece informações como posição do ônibus e hora de chegada, em tempo real aos passageiros, tudo via Internet. Serviços adicionais como relatórios de acidentes e câmeras de segurança podem reportar os detalhes exatos sobre onde e quando um incidente ocorreu, quem estava envolvido, e o chamamento automático de assistência.

O monitoramento de veículos de transporte público já é uma realidade em algumas cidades brasileiras, como São Paulo, Curitiba, Belo Horizonte e Vitória. No entanto, este serviço de monitoramento normalmente fica restrito à própria concessionária do serviço de transporte público ou então não atende todas as linhas da cidade. A ideia deste Projeto de Diplomação é desenvolver um sistema que possa divulgar informações úteis aos usuários de transporte público, como posição do veículo, bem como o tempo que este levará para chegar a um determinado ponto.

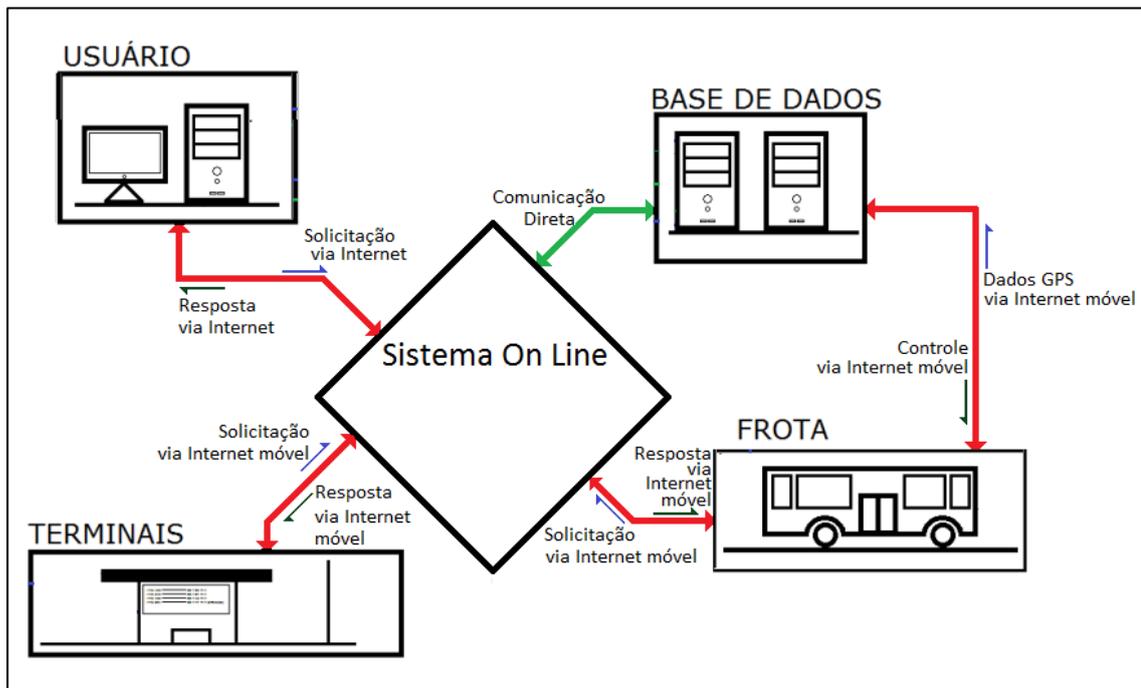
Um sistema que consiga monitorar a posição de todos os ônibus em circulação em uma cidade é bastante útil, tanto para o usuário do transporte público quanto para os empresários donos das frotas.

O usuário se beneficia no sentido de que grande parte das vezes este espera seu transporte por um tempo excessivamente longo. Com o sistema aqui proposto, o usuário pode ver com antecedência onde está o ônibus e ter uma estimativa de quanto tempo irá levar para chegar ao ponto desejado.

Já o empresário saberá onde se encontram todos os ônibus de sua frota, em qualquer ponto da cidade, possibilitando assim um maior controle sobre os veículos (eventuais excessos de velocidade dos motoristas, paradas prolongadas, cumprimento do cronograma/itinerário, etc.).

O sistema desenvolvido, e que está descrito neste relatório segue o diagrama representado na Figura 1.

Figura 1 - Funcionamento do Sistema de Monitoramento.



FONTE: AUTOR

Analisando a Figura 1 verifica-se que o sistema proposto (representado pelo losango) gerencia 4 subsistemas (representados pelos retângulos): “Usuário”, “Frota”, “Base de Dados” e “Terminais”.

O subsistema “Frota” é composto pelos ônibus (ou quaisquer outros veículos) a serem monitorados. Eles enviam periodicamente os dados dos receptores GPS ali instalados diretamente para o subsistema “Base de Dados”, via Internet móvel, juntamente com um identificador do ônibus (cada ônibus possui um). O subsistema “Base de Dados” recebe estas informações e as armazena num banco de dados. Lá estas informações vão sendo armazenadas para futuras consultas e cálculos.

O subsistema “Frota” também recebe periodicamente informações de sua posição dentro de seu próprio itinerário.

O subsistema “Usuário” interage com o sistema através de solicitações de posição do próximo ônibus da linha desejada que irá passar próximo de um determinado ponto definido também pelo usuário. Recebe como resposta também uma estimativa de tempo para que aconteça aquele evento. As pesquisas são feitas no subsistema “Base de Dados”, sempre gerenciadas pelo sistema principal.

Por último, o subsistema “Terminais”. Ele é constituído pelos terminais em si, ou seja, onde os ônibus fazem suas paradas. Cada terminal recebe um identificador, e estes são enviados periodicamente para o sistema, recendo em troca informações do cronograma dos ônibus que ali param.

A obtenção dos dados da posição dos ônibus é feita por GPS. A interface de comunicação “Sistema” ↔ “Frota” foi feita utilizando Internet móvel, bem como a interface “Sistema” ↔ “Terminais”. A interface “Sistema Principal” ↔ “Usuário” foi feita via Internet. A interface “Sistema Principal” ↔ “Base de Dados” acontece de maneira direta, pois ambos ficam armazenados em um servidor remoto.

O trabalho está dividido da seguinte maneira: Nos capítulos 2 e 3, são descritos os funcionamentos tanto do sistema de navegação por satélite (GPS) quanto do sistema de telecomunicações (GSM/GPRS) que serão utilizados no projeto.

Nos capítulos 4 e 5, é apresentado o kit utilizado para a elaboração do protótipo, bem como o desenvolvimento dos softwares que irão controlar o sistema. O capítulo 6 aborda a elaboração, implementação e testes do projeto. O capítulo 7 encerra o trabalho com a conclusão, seguido das referências utilizadas.

2. SISTEMAS DE NAVEGAÇÃO POR SATÉLITE

O GPS (*Global Positioning System*) é um sistema de navegação por satélite que fornece informação tanto de posição quanto de tempo, em qualquer condição climática, em qualquer lugar da superfície terrestre que não esteja obstruída a visibilidade de pelo menos 4 satélites do sistema GPS. O sistema possibilita usos civis, comerciais e militares. É mantido pelo governo dos Estados Unidos da América, sendo acessível a qualquer pessoa que disponha de um receptor GPS.

2.1 HISTÓRICO

Em 1956, o físico alemão-estadunidense Friedwardt Winterberg propôs um teste para a relatividade geral (para a desaleceração do tempo em um forte campo gravitacional) utilizando relógios atômicos dentro de satélites artificiais. Outras inspirações para o GPS vieram quando a União Soviética lançou o primeiro satélite artificial Sputnik, em 1957. Dois físicos estadunidenses, William Guier e George Weiffenbach, no *John Hopkins's Applied Physics Laboratory*, decidiram monitorar as transmissões de radio do Sputnik. Em uma questão de horas eles perceberam que, em virtude do efeito Doppler, eles poderiam marcar onde o satélite estava na órbita terrestre. Pouco tempo depois, os dois cientistas foram solicitados por militares para resolver o problema inverso, ou seja, localizar um receptor na superfície terrestre, dada a localização de um satélite.

O projeto GPS foi desenvolvido em 1973 com o intuito de superar limitações dos sistemas de navegação existentes na época. Baseia-se, em parte, em sistemas terrestres de navegação por rádio, como o LORAN (*Long Range Navigation*), desenvolvido na década de 1940, e utilizado na Segunda Guerra Mundial. Foi originalmente concebido para funcionar com 24 satélites, tendo o primeiro satélite sido lançado em 1989. Tornou-se completamente funcional em 1994, com o lançamento do 24º satélite. Credita-se ao estadunidense Roger L. Easton a invenção do sistema.

Inicialmente, o sinal de melhor qualidade era reservado para uso militar apenas. O sinal destinado aos civis era intencionalmente degradado. Esta medida teve fim em 1º de

maio de 2000. Com o desligamento da degradação, a incerteza do GPS para o uso civil caiu para 20 m (antes era de 100 m).

O sistema GPS pertence e é operado pelo governo dos Estados Unidos da América. O administrador é o Departamento de Defesa.

Além do GPS, existem outros sistemas semelhantes em funcionamento ou em desenvolvimento. O sistema russo GLONASS (*Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*) foi desenvolvido contemporaneamente com o GPS, porém sofreu com falta de cobertura do globo terrestre em meados de 2000. Há também um sistema planejado da União Europeia, chamado Galileo, um chinês, chamado Compass, e um indiano, chamado IRNSS (*Indian Regional Satellite System*).

2.2 CONCEITOS BÁSICOS

Um receptor GPS calcula sua posição cronometrando precisamente os sinais enviados pelos satélites GPS que estão em órbita, a aproximadamente 22.200 km da superfície terrestre. Cada satélite transmite continuamente mensagens que incluem:

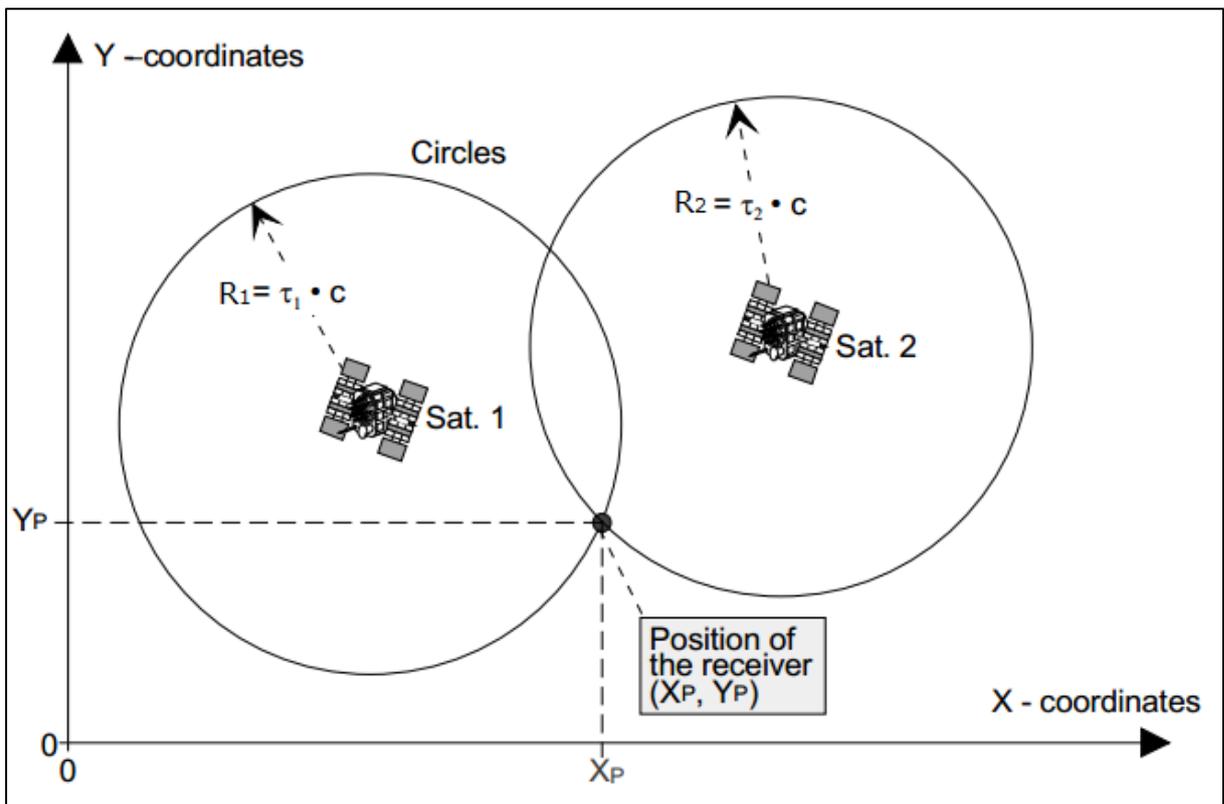
- A hora que a mensagem foi transmitida.
- A posição do satélite no momento em que a mensagem foi transmitida.

O receptor utiliza a mensagem que recebe para determinar o tempo de viagem de cada mensagem e calcula a distância para cada satélite utilizando a velocidade da luz. Cada uma destas distâncias e posições dos satélites define uma esfera.

Para melhor entender, eis um exemplo: suponha que o receptor encontra-se em uma vasta área, bastante plana, com total visibilidade para o céu. Sobre este lugar estão orbitando dois satélites GPS, transmitindo seus horários e posições. Utilizando o tempo de viagem das mensagens, pode-se desenhar dois círculos, de raios R_1 e R_2 em volta dos satélites.

Cada raio corresponde à distância calculada do satélite. Todas as possíveis posições relativas aos satélites estão localizadas nestes círculos. Excluindo-se, obviamente, as posições acima dos satélites, a localização do receptor será exatamente o ponto onde os dois círculos se interceptam, conforme mostra a Figura 2. Sendo assim, pode-se concluir que 2 satélites são suficientes para determinar a posição em um eixo x-y.

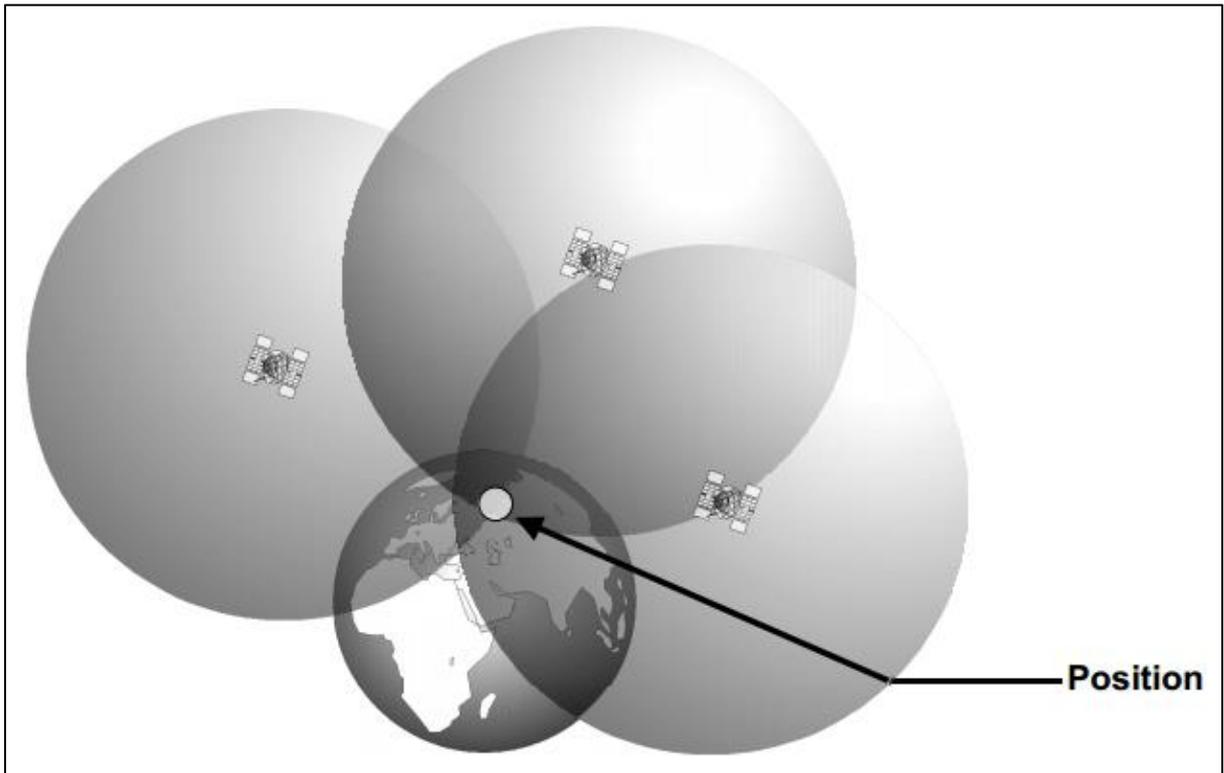
Figura 2 - Posição do receptor é a intersecção dos dois círculos.



FONTE: [9]

No mundo real, a posição deve ser determinada em um espaço tridimensional. Assim como a diferença entre um plano e um espaço é uma dimensão extra, um terceiro satélite se faz necessário para determinar a real posição. Se a distância para os três satélites é conhecida, todas as possíveis posições estão localizadas na superfície das três esferas cujos raios coincidem com a distância calculada. A posição será o ponto onde as três esferas se interceptam, conforme mostra a Figura 3.

Figura 3 - A posição é determinada no ponto onde as três esferas se encontram.



FONTE: [9]

Estas conclusões são aplicáveis apenas se os relógios de cada um dos satélites em questão e o relógio do receptor estiverem sincronizados. Pequenas incorreções, como 1 μ s fora de sincronia, podem gerar erros de 300 m, o que torna a localização imprecisa.

Assume-se que os relógios dos satélites estejam todos sincronizados, logo, a fonte de erro costuma ser creditada ao relógio do receptor. Para corrigir este erro, utiliza-se um quarto satélite.

Com quatro satélites, determina-se 4 variáveis: latitude, longitude, altitude e erro de tempo. Esta quarta variável é utilizada nas equações de determinação da posição como correção do tempo do receptor.

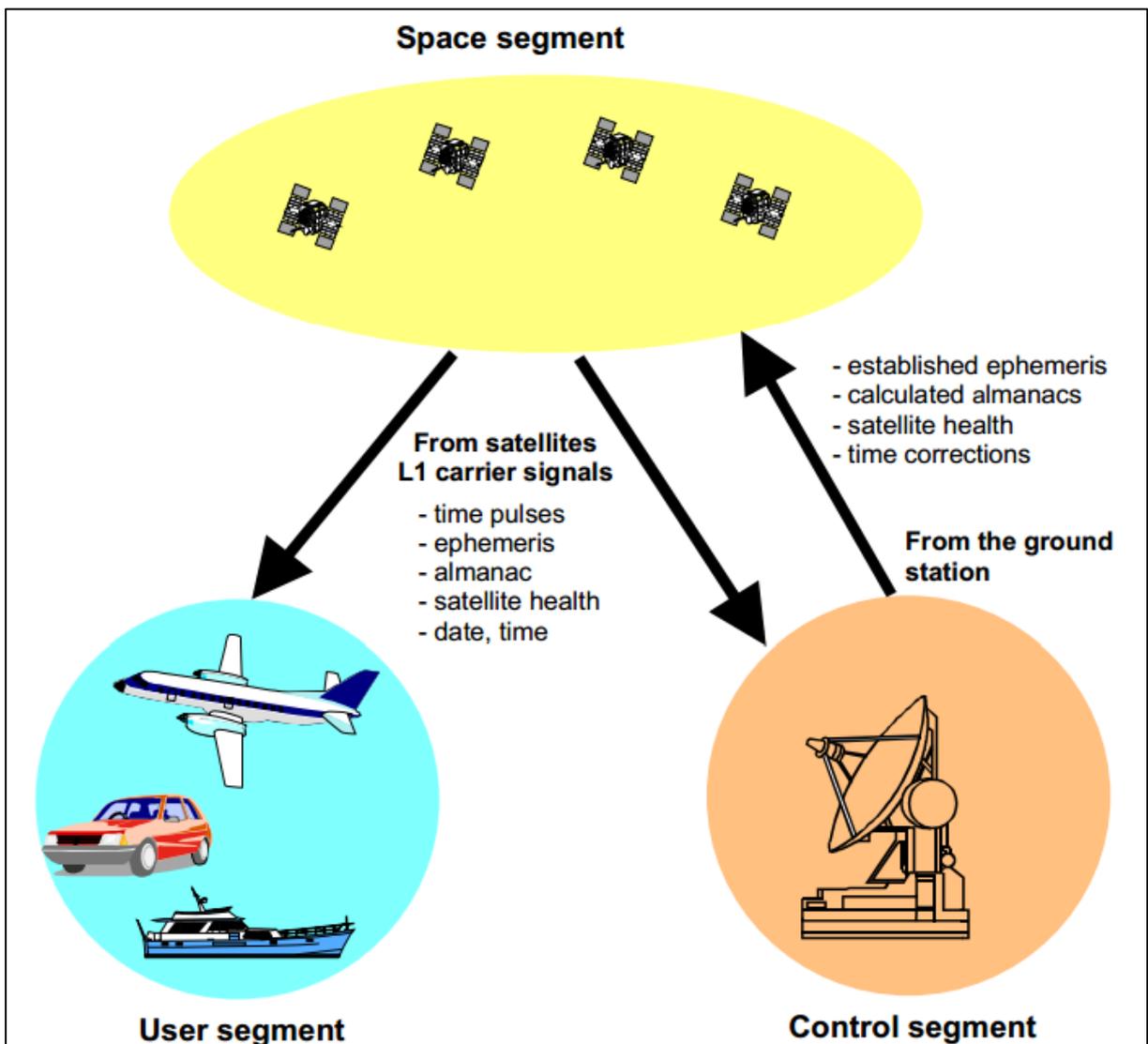
O sistema GPS foi concebido de forma que em qualquer ponto do planeta, a qualquer hora do dia, pelo menos 4 satélites estejam visíveis ao receptor. Assim, caso haja erros no

relógio do receptor, e por consequência no tempo resultante, a posição poderá ser determinada sem erros absurdos.

O sistema GPS é composto por três segmentos funcionais, conforme ilustra a Figura 4 e a listagem abaixo:

- Segmento Espacial (todos os satélites operantes);
- Segmento de Controle (estações terrestres de controle e monitoramento do sistema);
- Usuário (civis e militares).

Figura 4 - Os três segmentos do GPS.



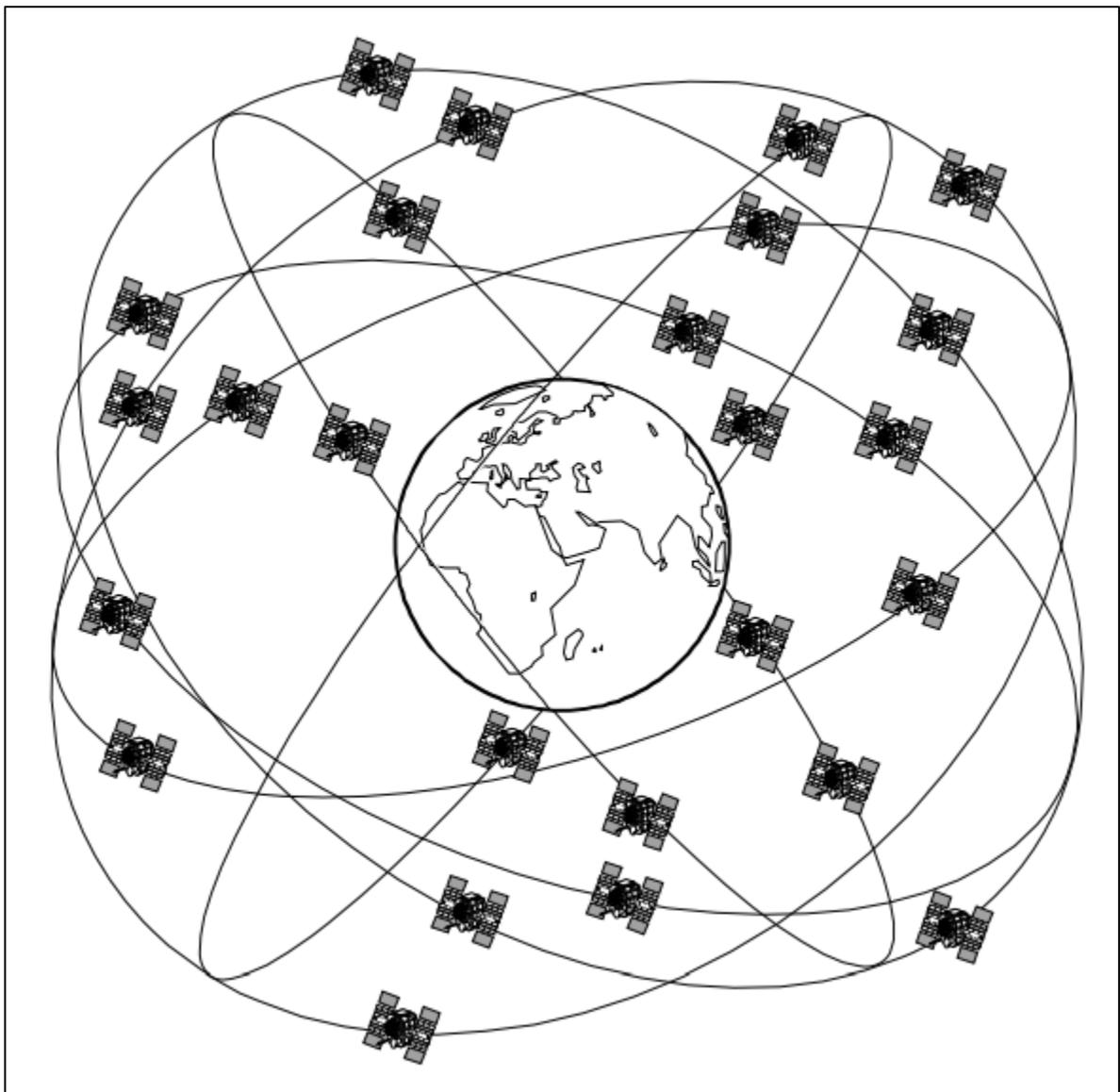
FONTE: [9]

Há uma comunicação unidirecional entre os segmentos espacial e de usuário. As estações terrestres possuem comunicação bidirecional com os satélites.

2.2.1 Segmento Espacial

O segmento espacial é constituído por 32 satélites operacionais que orbitam a Terra em 6 diferentes planos orbitais, inclinados a 55° em relação ao Equador. Completam suas órbitas em aproximadamente 12 horas (11h 58 min para ser preciso). A Figura 5 ilustra a disposição dos satélites em órbita.

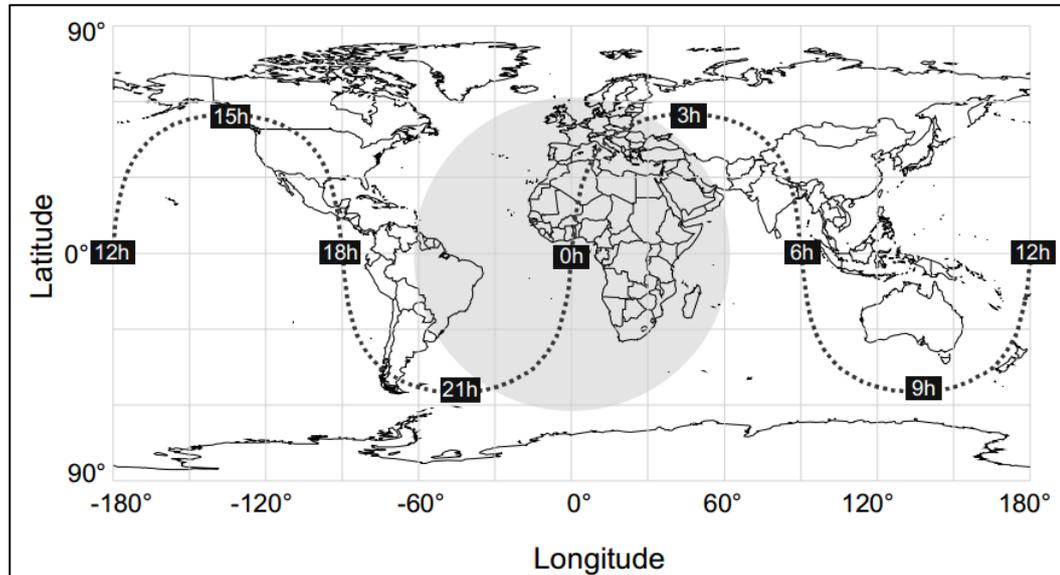
Figura 5 - Satélites GPS orbitam em 6 diferentes planos orbitais.



FONTE: [9]

Os sinais dos satélites podem ser recebidos em qualquer lugar que esteja dentro de seu alcance efetivo. A Figura 6 ilustra o alcance efetivo de um único satélite, localizado exatamente sobre a interseção do Equador com o Meridiano de Greenwich.

Figura 6 - Rastreamento de 24 horas do alcance efetivo de um satélite GPS.



FONTE: [9]

Todos os satélites utilizam a bordo relógios atômicos para manter seus sinais sincronizados. Sinais estes que são transmitidos sobre a mesma frequência (1575,42 MHz). A menor potência de sinal que é recebida na Terra é de aproximadamente -158 dBW a -160 dBW. A maior potência, de acordo com as especificações, é de aproximadamente -153 dBW.

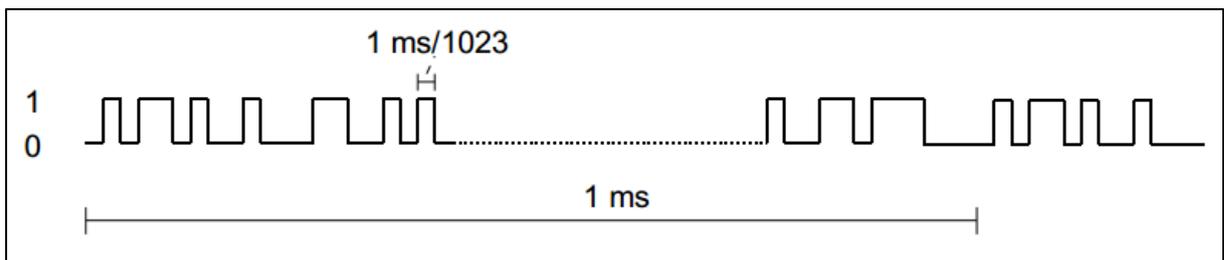
Os seguintes sinais (chamados também de mensagens de navegação) são transmitidos pelos satélites a uma taxa de 50 *bits* por segundo:

- Hora do satélite e sinais de sincronização;
- Dados orbitais precisos (*ephemeris*);
- Informação de correção de tempo para determinar a hora exata do satélite;
- Dados orbitais aproximados para todos os satélites (*almanac*);
- Sinais de correção para calcular o tempo de viagem do sinal;
- Dados na ionosfera;
- Informação do estado do satélite.

O tempo requerido para transmitir todas estas informações é de aproximadamente 12,5 minutos. Utilizando a mensagem de navegação, o receptor pode determinar a hora de transmissão de cada sinal dos satélites e a exata posição do satélite no momento da transmissão.

Cada satélite GPS transmite uma assinatura única. Esta assinatura consiste em um código PRN (*Pseudo Random Noise*) de 1023 “zeros e uns”, com uma duração de 1 ms e é continuamente repetido. A Figura 7 ilustra um código PRN com um período de 1 ms.

Figura 7 - Código PRN.



FONTE: [9]

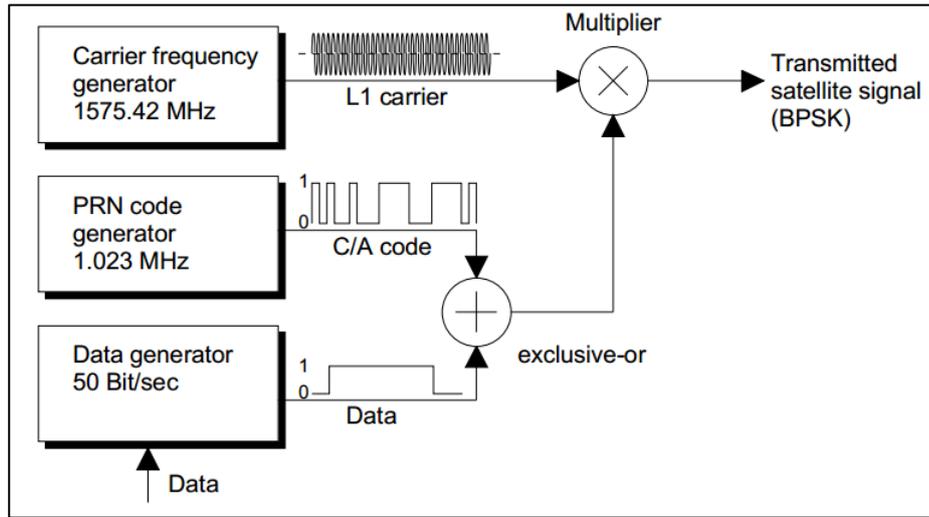
Este código de assinatura serve a dois propósitos para o receptor:

- Identificação: a assinatura única identifica o satélite do qual o sinal foi transmitido;
- Medição do tempo de viagem do sinal.

A bordo de cada satélite estão 4 relógios atômicos altamente precisos. A frequência de ressonância destes relógios gera os seguintes pulsos de tempo e frequências para as operações mostradas na Figura 8 e listadas abaixo:

- Pulso de 50 Hz;
- O código C/A (*Coarse Acquisition Code* - um código PRN transmitido a 1023 MHz), que modula os dados utilizando uma operação OU-EXCLUSIVO (XOR), espalhando os dados em uma banda de 2 MHz.
- A frequência da portadora civil L1 (1575,42 MHz).

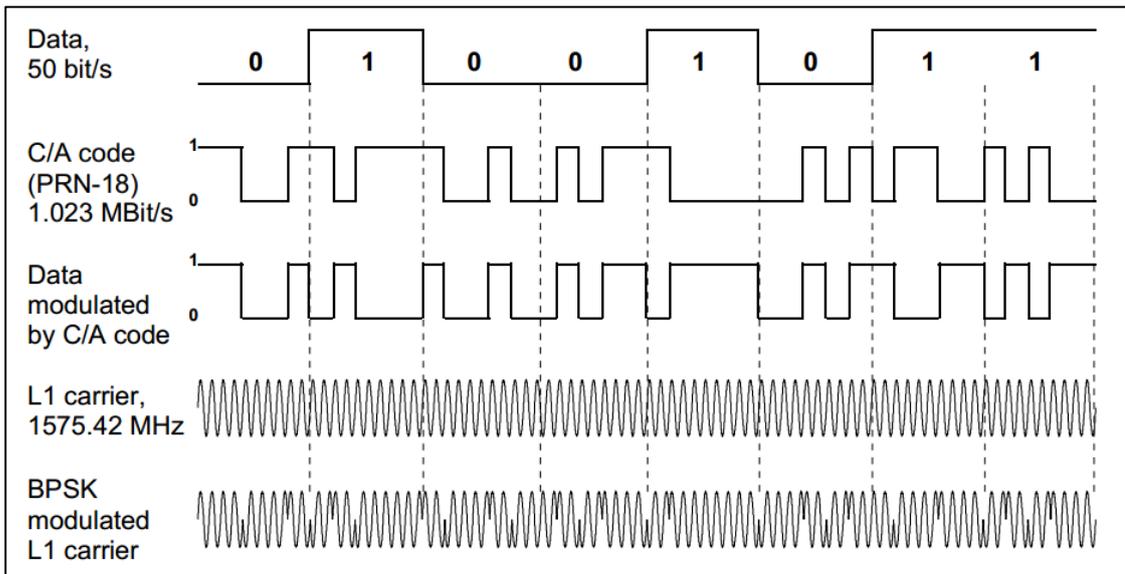
Figura 8 - Diagrama de blocos simplificado.



FONTE: [9]

Os dados modulados pelo código C/A modulam por sua vez a portadora L1 utilizando modulação BPSK (*Binary Phase Shift Keying*). Com cada mudança nos dados modulados, há uma mudança de 180° na fase da portadora L1. A Figura 9 ilustra a transformação dos sinais.

Figura 9 - Estrutura do sinal GPS.



FONTE: [9]

2.2.2 Segmento de Controle

O segmento de controle do sistema GPS consiste em uma estação de controle mestre, localizada no estado do Colorado (EUA), cinco estações de monitoramento (cada uma equipada com relógios atômicos, distribuídas ao redor do globo, próximas ao Equador), e três estações de controle, que transmitem informação aos satélites.

As tarefas mais importantes do segmento de controle são:

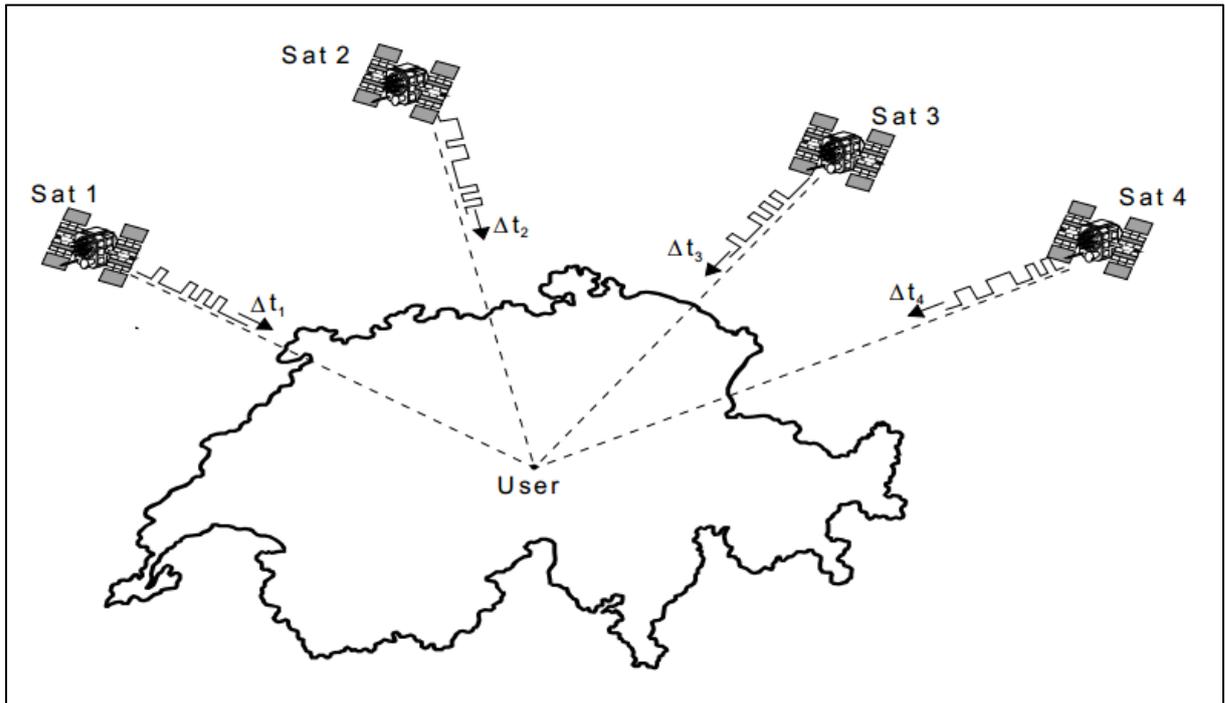
- Observar o movimento dos satélites e computar os dados de órbita (*ephemeris*);
- Monitorar os relógios dos satélites e prever seus comportamentos;
- Sincronizar os relógios dos satélites;
- Afinar a *ephemeris* recebida dos satélites;
- Afinar o *almanac* recebido dos satélites;
- Afinar demais informações, como estado dos satélites, erros de relógios, etc.

2.2.3 Segmento de Usuário

Os sinais de rádio transmitidos pelos satélites GPS levam aproximadamente 67 ms para alcançar um receptor na Terra. Como os sinais viajam a uma velocidade constante (a velocidade da luz), seus tempos de viagem determinam a distância aproximada entre os satélites e o usuário.

Para que um receptor GPS determine sua posição, ele deve receber sinais de tempo de quatro diferentes satélites, para que possa calcular os tempos de viagem $\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3$ e Δt_4 , conforme ilustra a Figura 10.

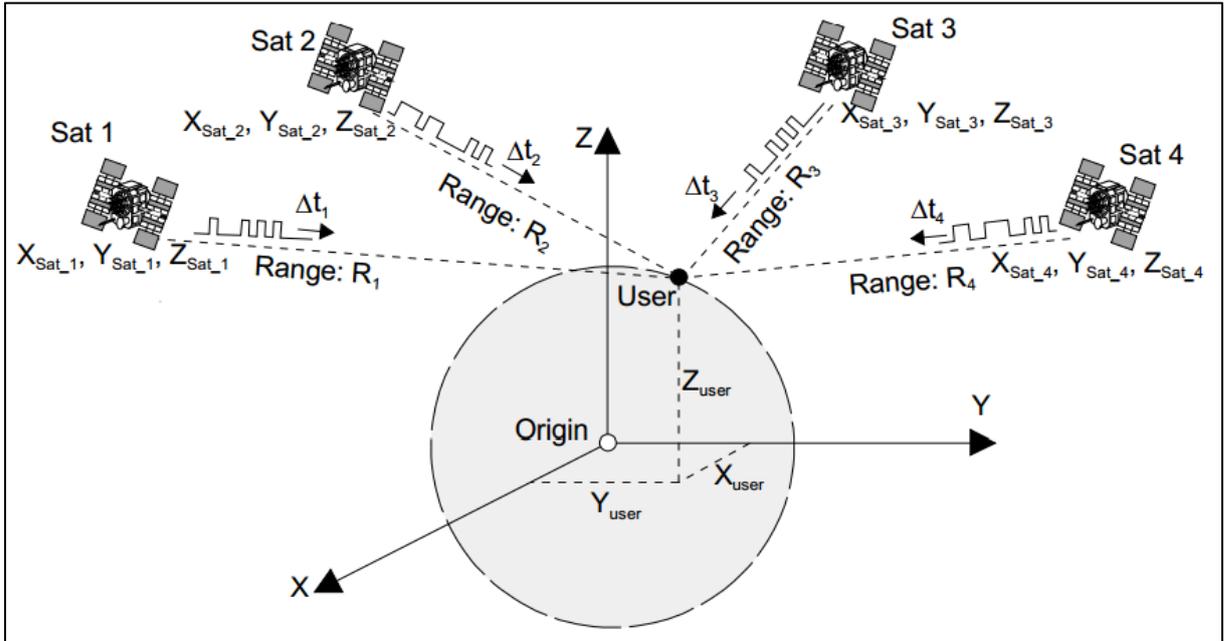
Figura 10 - Quatro sinais precisam ser recebidos para determinar a posição.



FONTE: [9]

Os cálculos são feitos em um eixo cartesiano tridimensional, com uma origem geocêntrica, conforme ilustra a Figura 11. A posição relativa do usuário a cada um dos satélites (chamadas de *Ranges*) R_1 , R_2 , R_3 e R_4 podem ser determinadas com a ajuda dos sinais de tempo Δt_1 , Δt_2 , Δt_3 e Δt_4 . Como as localizações dos satélites (X_{sat} , Y_{sat} e Z_{sat}) são conhecidas, a posição do usuário pode ser calculada.

Figura 11 - Esquema utilizado para determinação da posição do usuário.



FONTE: [9]

Devido aos relógios atômicos a bordo dos satélites, a hora em que o sinal é transmitido é conhecida e bastante precisa. Todos os relógios dos satélites são sincronizados entre si e com o UTC (*Universal Time Coordinated*). O relógio do receptor, porém, não é sincronizado com o UTC, estando então atrasado ou adiantado por Δt_0 , sendo este um valor positivo quando está adiantado, e negativo quando está atrasado. Este valor causa erros na medida do tempo de viagem do sinal e na distância R . Como resultado, uma distância incorreta é medida, sendo conhecida como *pseudorange*, ou PSR.

Matematicamente tem-se que o tempo medido pelo receptor é dado por:

$$\Delta t_{medido} = \Delta t + \Delta t_0 \quad (1)$$

A PSR é então definida como sendo:

$$PSR = \Delta t_{medido} \cdot c = (\Delta t + \Delta t_0) \cdot c \quad (2a)$$

$$PSR = R + \Delta t_0 \cdot c \quad (2b)$$

Onde:

R : verdadeira distância (ou verdadeiro *range*) do satélite até o usuário.

c : velocidade da luz.

Δt : tempo de viagem do sinal até o usuário.

Δt_0 : diferença entre o relógio do usuário e o do satélite.

PSR : *pseudorange*.

A distância R do satélite até o usuário pode ser calculada da seguinte maneira:

$$R = \sqrt{(X_{sat} - X_{user})^2 + (Y_{sat} - Y_{user})^2 + (Z_{sat} - Z_{user})^2} \quad (3)$$

Inserindo (3) em (2b), tem-se (4):

$$PSR = \sqrt{(X_{sat} - X_{user})^2 + (Y_{sat} - Y_{user})^2 + (Z_{sat} - Z_{user})^2} + \Delta t_0 \cdot c \quad (4)$$

Tem-se, portanto, uma equação com 4 incógnitas ($X_{user}, Y_{user}, Z_{user}, \Delta t_0$), sendo necessárias então 4 equações linearmente independente para a solução do problema.

Sendo quatro satélites, tem-se as quatro equações. Tomando $i = 1,2,3,4$:

$$PSR_i = \sqrt{(X_{sat_i} - X_{user})^2 + (Y_{sat_i} - Y_{user})^2 + (Z_{sat_i} - Z_{user})^2} + \Delta t_0 \cdot c \quad (5)$$

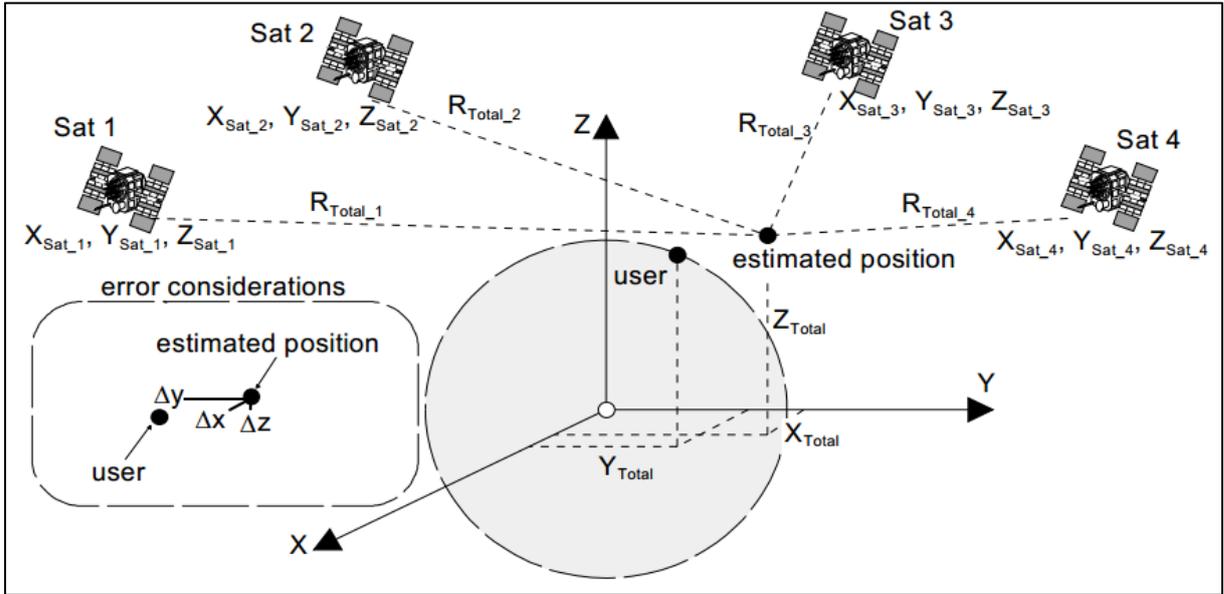
Porém (4) é uma equação não-linear. Utilizando Séries de Taylor, lineariza-se (4), utilizando apenas o modelo simplificado, conforme mostra o Quadro 1:

Quadro 1 – Modelo de Taylor para linearização de equações.

Modelo de Taylor	$f(x) = f(x_0) + \frac{f'(x_0)}{1!} \cdot \Delta x + \frac{f''(x_0)}{2!} \cdot \Delta x + \frac{f'''(x_0)}{3!} \cdot \Delta x + \dots$	(6a)
Modelo simplificado	$f(x) = f(x_0) + \frac{f'(x_0)}{1!} \cdot \Delta x$	(6b)

Onde $\Delta x = x - x_0$. Para executar a linearização, é necessário estimar um valor para x_0 próximo a x . Isto significa que em vez de calcular X_{user}, Y_{user} e Z_{user} diretamente, é calculado uma posição estimada, dada por X_{total}, Y_{total} e Z_{total} , conforme mostra a Figura 12.

Figura 12 - Estimando a posição.



FONTE: [9]

A posição estimada inclui um erro produzido pelas variáveis desconhecidas Δx , Δy e Δz . Pode-se dizer que as variáveis que realmente interessam, X_{user} , Y_{user} e Z_{user} , são definidas por:

$$X_{user} = X_{total} + \Delta x \quad (7a)$$

$$Y_{user} = Y_{total} + \Delta y \quad (7b)$$

$$Z_{user} = Z_{total} + \Delta z \quad (7c)$$

A distância R_{total} dos quatro satélites à posição estimada pode ser calculada então tomando a Equação (3) e adaptando-a, conforme mostra a Equação (8):

$$R_{total_i} = \sqrt{(X_{sat_i} - X_{total})^2 + (Y_{sat_i} - Y_{total})^2 + (Z_{sat_i} - Z_{total})^2} \quad (8)$$

A Equação (8), combinada com as equações (5) e (6b) produz a Equação (9):

$$PSR_i = R_{total_i} + \frac{\partial(R_{total_i})}{\partial x} \cdot \Delta x + \frac{\partial(R_{total_i})}{\partial y} \cdot \Delta y + \frac{\partial(R_{total_i})}{\partial z} \cdot \Delta z + c \cdot \Delta t_0 \quad (9)$$

Aplicando o diferencial parcial na Equação (9), obtém-se a Equação (10):

$$PSR_i = R_{total_i} + \frac{X_{total} - X_{sat_i}}{R_{total_i}} \cdot \Delta x + \frac{Y_{total} - Y_{sat_i}}{R_{total_i}} \cdot \Delta y + \frac{Z_{total} - Z_{sat_i}}{R_{total_i}} \cdot \Delta z + c \cdot \Delta t_0 \quad (10)$$

Aplicando os índices $i = 1,2,3,4$ à Equação (10), chega-se às quatro equações para resolver (em parte) o problema inicial das quatro variáveis $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ e Δt_0 . Montando então o sistema linear da Equação (11):

$$\begin{bmatrix} PSR_1 - R_{total_1} \\ PSR_2 - R_{total_4} \\ PSR_3 - R_{total_4} \\ PSR_4 - R_{total_4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{X_{total} - X_{sat_1}}{R_{total_1}} & \frac{Y_{total} - Y_{sat_1}}{R_{total_1}} & \frac{Z_{total} - Z_{sat_1}}{R_{total_1}} & c \\ \frac{X_{total} - X_{sat_2}}{R_{total_2}} & \frac{Y_{total} - Y_{sat_2}}{R_{total_2}} & \frac{Z_{total} - Z_{sat_2}}{R_{total_2}} & c \\ \frac{X_{total} - X_{sat_3}}{R_{total_3}} & \frac{Y_{total} - Y_{sat_3}}{R_{total_3}} & \frac{Z_{total} - Z_{sat_3}}{R_{total_3}} & c \\ \frac{X_{total} - X_{sat_4}}{R_{total_4}} & \frac{Y_{total} - Y_{sat_4}}{R_{total_4}} & \frac{Z_{total} - Z_{sat_4}}{R_{total_4}} & c \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \\ \Delta t_0 \end{bmatrix} \quad (11a)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \\ \Delta t_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{X_{total} - X_{sat_1}}{R_{total_1}} & \frac{Y_{total} - Y_{sat_1}}{R_{total_1}} & \frac{Z_{total} - Z_{sat_1}}{R_{total_1}} & c \\ \frac{X_{total} - X_{sat_2}}{R_{total_2}} & \frac{Y_{total} - Y_{sat_2}}{R_{total_2}} & \frac{Z_{total} - Z_{sat_2}}{R_{total_2}} & c \\ \frac{X_{total} - X_{sat_3}}{R_{total_3}} & \frac{Y_{total} - Y_{sat_3}}{R_{total_3}} & \frac{Z_{total} - Z_{sat_3}}{R_{total_3}} & c \\ \frac{X_{total} - X_{sat_4}}{R_{total_4}} & \frac{Y_{total} - Y_{sat_4}}{R_{total_4}} & \frac{Z_{total} - Z_{sat_4}}{R_{total_4}} & c \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} PSR_1 - R_{total_1} \\ PSR_2 - R_{total_4} \\ PSR_3 - R_{total_4} \\ PSR_4 - R_{total_4} \end{bmatrix} \quad (11b)$$

A solução encontrada em (11b) para Δx , Δy e Δz pode agora ser utilizada para resolver, iterativamente, as equações (7a), (7b) e (7c), ou seja, os valores encontrados para Δx , Δy e Δz na primeira iteração são utilizados para encontrar novos valores para X_{total} , Y_{total} e Z_{total} . Estes novos valores são reinseridos no sistema dado por (11b), gerando por sua vez novos valores para Δx , Δy e Δz . Este processo se repete sucessivas vezes, até que os valores de Δx , Δy e Δz estejam tão pequenos quanto se queira. O número de iterações necessárias está diretamente relacionado com o chute inicial dado.

2.2.4 Dados NMEA

O NMEA 0183 é uma especificação elétrica e de dados combinados para comunicação entre dispositivos eletrônicos tais como sonares, pilotos automáticos, receptores GPS e diversos outros tipos de instrumentos. Foi definido, e é controlado pela NMEA (*National Marines Electronics Association*).

Características das sentenças transmitidas pelo padrão NMEA 0183:

- Cada sentença é iniciada por um cifrão (\$).
- Os cinco caracteres seguintes identificam o “locutor” (dois caracteres) e o tipo da mensagem (três caracteres).
- Todos os campos de dados que seguem são separados por vírgulas (,).
- Onde os dados não estão disponíveis, o campo correspondente permanece em branco.
- O primeiro caractere que segue imediatamente o último campo de dados é um asterisco (*), porém apenas é incluído se um código de verificação (*checksum*) é fornecido. Este código é representado por um número de dois dígitos hexadecimais. Ele é formado por uma operação OU-EXCLUSIVO bit a bit de todos os caracteres ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*) envolvidos entre o \$ e o *. É opcional para alguns tipos de mensagem e obrigatório para outros.
- A combinação <CR><LF> encerra a mensagem.

No caso das sentenças para GPS, os caracteres do “locutor” são as letras *GP*. Dentre as sentenças existentes, o tipo que será utilizado no sistema aqui desenvolvido é o RMC, devido ao fato desta sentença carregar todas as informações necessárias para a aplicação, não sendo necessário o uso de nenhuma outra. No Quadro 2 é mostrado o detalhamento da sentença RMC (*Recommended Minimum - C*).

*<CR> significa “Carriage Return”, expressão que significa a volta do cursor para o início da linha. <LF> significa “Line Feed”, expressão que significa uma nova linha.

Quadro 2 - Descrição do código \$GPRMC.

\$GPRMC,123519,A,4807.038,N,01131.000,E,022.4,084.4,230394,003.1,W*6A	
RMC	Recommended Minimum-C Sentence.
123519	Hora da atualização (UTC).
A	Status da atualização. (A=válida, V=inválida).
4807.038,N	Latitude 48° 7.038' NORTE.
01131.000,E	Longitude 11° 31' LESTE.
022.4	Velocidade, em nós.
230394	Data, no formato DDMMAAAA.
003.1,W	Variação Magnética.
*6A	Código de verificação.

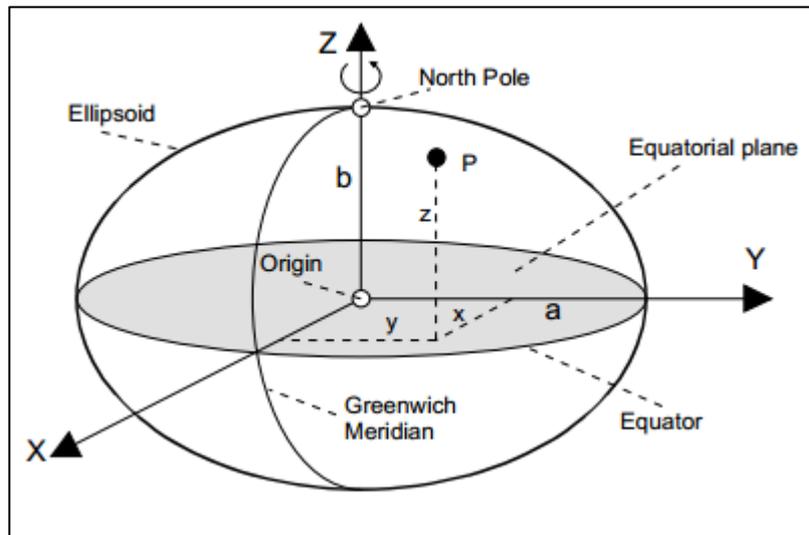
FONTE: [4]

O UTC foi desenvolvido com o intuito de prover uma escala de tempo baseada no tempo atômico e adaptada ao horário atual da Terra. Antigamente era conhecido como *Greenwich Mean Time (GMT)* ou *Zulu-Time*.

O tempo atômico é a medida de um segundo. Foi estabelecido em 1967 que 1 segundo é igual ao inverso da frequência de ressonância entre níveis selecionados de energia do Césio 133, ou seja, 1 segundo = $1/9.192.631.770$.

Os detalhes mostrados e os cálculos feitos por um receptor GPS envolvem, primariamente, o sistema de referência WGS84 (*World Geodetic System 1984*). O sistema de coordenadas WGS84 é geocentricamente posicionado com respeito ao centro da Terra. É um sistema cartesiano tridimensional, com sua origem definida no centro de massa de um elipsoide (forma geométrica que se aproxima do formato da Terra), conforme mostra a Figura 13.

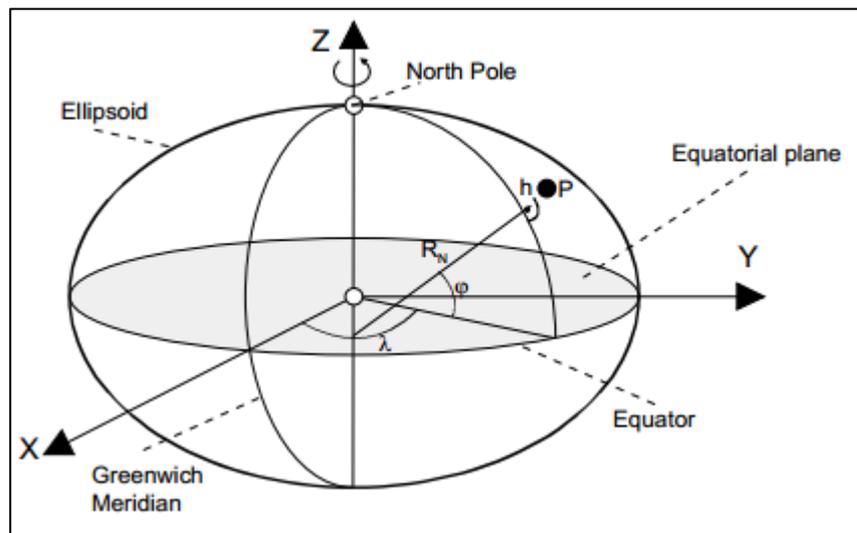
Figura 13 - Representação do sistema de coordenadas WGS84.



FONTE: [9]

As coordenadas elipsoides (φ, λ, h) , em vez das cartesianas (x, y, z) são mais usadas. A coordenada φ representa a latitude, a coordenada λ representa a longitude e a coordenada h representa a altura elipsoidal, conforme mostra a Figura 14.

Figura 14 - Representação usual do sistema de coordenadas WGS84.



FONTE: [9]

2.3 COORDENADAS GEOGRÁFICAS

Um sistema de coordenadas geográficas é um sistema que possibilita especificar qualquer ponto na superfície terrestre (considerando esta uma esfera plana) através de um conjunto de letras e números. As coordenadas mais comumente utilizadas são latitude e longitude.

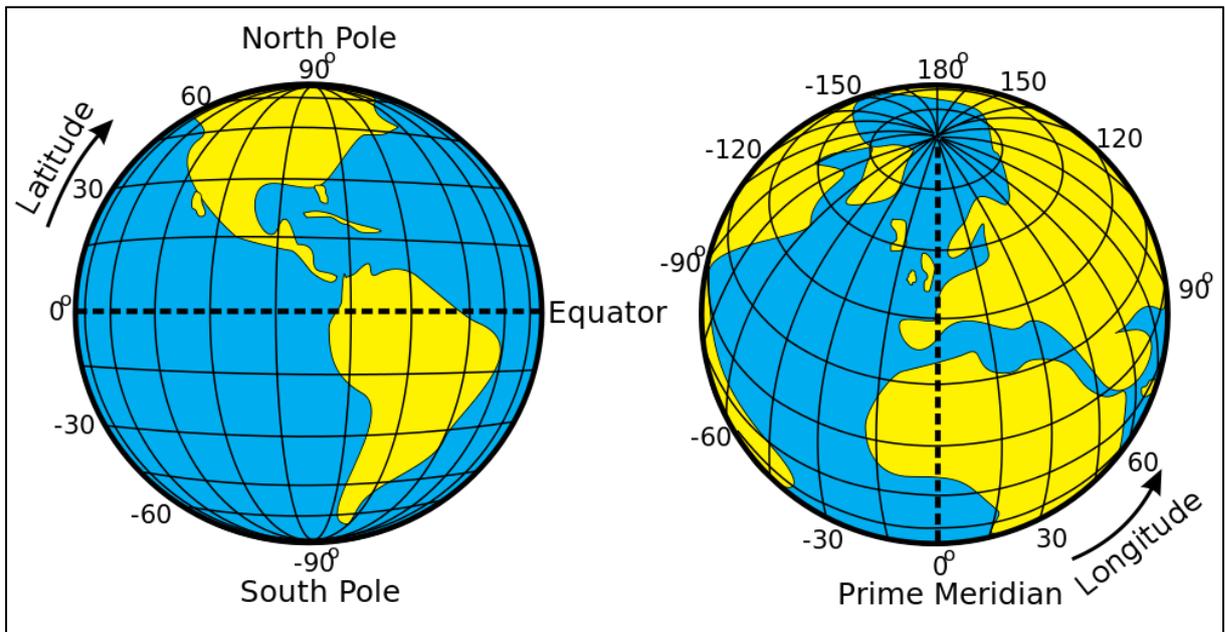
A latitude, ou φ , de um ponto na superfície terrestre é o ângulo entre o plano equatorial e uma linha que passa por este ponto e é normal à superfície de um elipsoide de referência (que aproxima a superfície da Terra). Esta linha passa alguns quilômetros acima do centro da Terra, exceto nos polos, onde esta passa pelo centro da Terra. Pontos com a mesma latitude formam uma linha ao redor do globo terrestre, e estas linhas são chamadas de paralelos, por serem paralelas à linha do Equador e entre si. O polo norte possui latitude 90° N (ou simplesmente 90°), o polo sul possui latitude 90° S (ou simplesmente -90°). A linha do Equador possui latitude 0° , dividindo o globo terrestre nos hemisférios Norte e Sul.

A longitude, ou λ , de um ponto na superfície terrestre possui um significado semelhante, porém no eixo vertical. Os pontos com a mesma longitude formam linhas chamadas meridianos. O meridiano adotado como referência passa pelo *Royal Observatory, Greenwich*, localizado em Londres. Ele representa a longitude 0° (é comumente chamado de meridiano de Greenwich). Os meridianos extremos são 180° L (ou simplesmente -180°) e 180° O (ou simplesmente 180°). O ponto de cruzamento entre a linha do Equador e o meridiano de Greenwich está localizado no golfo da Guiné, a aproximadamente 625 km de Tema, em Gana.

A combinação destas duas componentes especificam a posição de qualquer lugar no planeta, porém não considera altura nem profundidade.

A Figura 15 ilustra no globo terrestre as latitudes e longitudes conforme explicadas anteriormente.

Figura 15 - Representações de latitude e longitude no globo terrestre.



FONTE: [16]

Em 1884, os Estados Unidos sediaram a Conferência Internacional do Meridiano, e 25 nações compareceram, das quais 22 concordaram em adotar o meridiano de Greenwich como a linha de referência zero. A República Dominicana foi contra, enquanto Brasil e França se abstiveram.

A Terra, no entanto, não é uma esfera. Possui um formato irregular, que apenas aproxima-se do formato de uma esfera. Na realidade, ela possui um achatamento na linha do Equador, fazendo com que o raio seja aproximadamente 0,3 % maior nesta região do que o obtido pelos polos. O eixo vertical aproximadamente coincide com o eixo de rotação. Os fabricantes de mapas escolhem o elipsoide que melhor se adapta à região que irão mapear. Eles então escolhem o melhor sistema de coordenadas esféricas para este elipsoide. No Reino Unido, existem três sistemas de latitude, longitude e altitude em uso.

O sistema usado pelos GPS (WGS84) difere, no meridiano de Greenwich, do OSGB36 (utilizado comumente em mapas) em aproximadamente 112 m. O sistema militar ED50, utilizado pela OTAN, difere do WGS84 de 120 a 180 m.

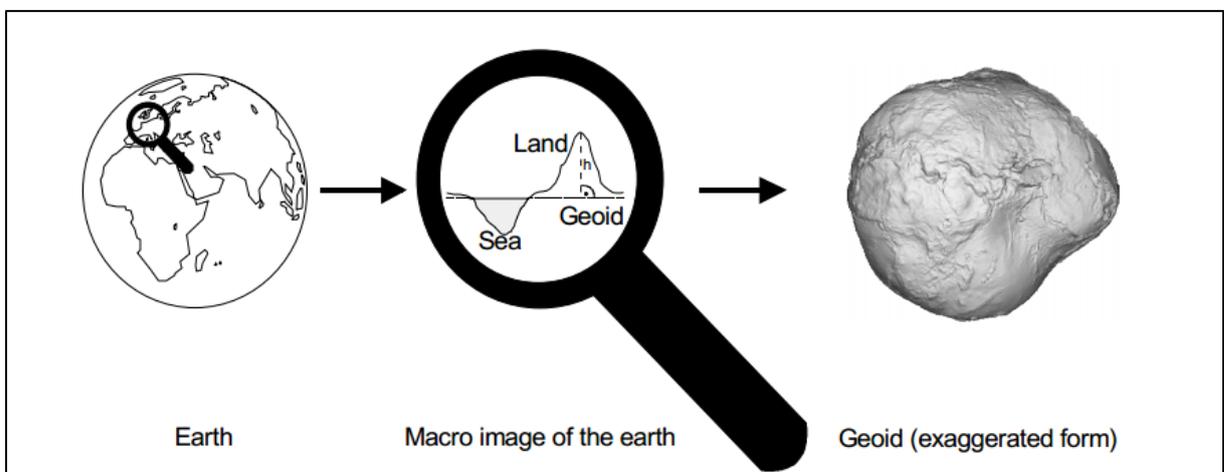
Um problema significativo para ser resolvido utilizando sistemas de localização via satélite é o fato de que há um número significativo de sistemas de coordenadas ao redor do mundo. Como resultado disto, a posição medida e calculada nem sempre corresponde com a suposta posição.

Embora os primeiros navegadores pensassem que a Terra fosse uma superfície plana, desde Colombo sabe-se que isto está longe de ser verdade. Mas obter o verdadeiro formato da Terra ainda é uma tarefa desafiadora nos dias de hoje.

A Terra possui uma série de camadas de energias potenciais gravitacionais. A altitude é obtida utilizando ângulos retos com a superfície, em direção ao centro da Terra, porém variações locais tornam estas camadas irregulares. A escolha de qual camada utilizar para determinar a altitude é arbitrária.

A altitude referência que se escolheu é aquela que mais se aproxima à média de altitude dos oceanos (o chamado “nível do mar”). Isto é o que se chama de geóide. O geóide representa o verdadeiro formato da Terra, definido como superfície como o nível do mar é igual a zero. A Figura 16 ilustra (exageradamente) uma aproximação da superfície da Terra.

Figura 16 - Representação exagerada do geóide terrestre.



FONTE: [9]

A Terra também não é estática. Há pontos em movimento relativo um ao outro devido à movimentação das placas continentais, além do movimento causado pela Lua e pelas marés. O movimento continental pode ser de até 10 cm em um ano, ou até de 10 m em um século. Sistemas meteorológicos de alta-pressão podem causar até 5 mm de afundamento. Estas mudanças podem parecer insignificantes em sistemas de representação da superfície da Terra locais, porém para o WGS84 é estatisticamente significativa.

No WGS84, no nível do mar ao Equador, um segundo latitudinal mede 30,175 m, um minuto latitudinal mede 1.843 m, e um grau latitudinal mede 110,6 km. Os meridianos se encontram nos polos, com a largura de um segundo naturalmente decrescendo conforme a latitude aumenta. No Equador, no nível do mar, um segundo longitudinal mede 30,92 m, um minuto longitudinal é 1855 m e um grau longitudinal é 111,3 km. A 30° de latitude, um segundo longitudinal mede 26,76 m, e a 60° de latitude mede 15,42 m.

No esferoide do WGS84, o comprimento em metros de latitude, na latitude φ , é aproximadamente igual à seguinte Equação 12:

$$\text{LAT}_{\text{metros}} = 111132,94 - 559,822 \cos 2\varphi + 1,175 \cos 4\varphi \quad (12)$$

Utilizando estes coeficientes, obtém-se uma precisão de centímetros. Para maiores precisões pode-se utilizar coeficientes com mais casas decimais.

Para estimar o comprimento de um grau longitudinal na latitude φ , pode-se assumir uma Terra esférica e utilizar a seguinte Equação 13:

$$\text{LNG}_{\text{metros}} = \frac{\pi}{180} M_r \cos \varphi \quad (13)$$

Onde o M_r representa o raio médio terrestre (6.367.449 m). Como a Terra não é esférica, este resultado pode ficar em vários décimos percentuais. Uma melhor aproximação de um grau longitudinal na latitude φ é a seguinte:

$$\text{LNG}_{\text{metros}} = \frac{\pi}{180} \alpha \cos \beta \quad (14)$$

Onde o raio equatorial, representado por α , é igual a 6.378.137 m e $\beta = \frac{b}{a} \cos \varphi$, para o sistema WGS84, vale 0,99664719. A constante β é chamada de latitude reduzida, ou latitude paramétrica. Se descartarmos arredondamentos de β , esta é a exata distância longitudinal sobre um paralelo.

2.3.1 Fórmula de Haversine

A fórmula de Haversine é uma importante equação usada em navegação, fornecendo distâncias entre dois pontos de uma esfera a partir de suas latitudes e longitudes. É um caso especial de uma fórmula mais geral de trigonometria esférica, a lei dos Haversines, relacionando os lados a ângulos de uma esfera “triangular”.

Estes nomes se devem ao fato de que são escritos nos termos da função de Haversine, dado pela Equação 15:

$$\text{havrsin}(\theta) = \sin^2 \frac{\theta}{2} \quad (15)$$

Sejam então dois pontos de uma esfera de raio R , com latitudes φ_1 e φ_2 , longitudes λ_1 e λ_2 , separação de latitudes $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ e separação de longitude $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$, onde tanto latitude e longitude são dados em radianos.

A distância d entre os dois pontos da esfera é relacionada às suas localizações pela seguinte fórmula:

$$\text{havrsin}\left(\frac{d}{R}\right) = \text{havrsin}(\Delta\varphi) + \cos(\varphi_1) \cos(\varphi_2) \text{havrsin}(\Delta\lambda) \quad (16)$$

Substituindo a função haversin $\left(\frac{d}{R}\right)$ pela letra h , é possível obter a distância d tanto pela simples aplicação da função haversin inversa, quanto pelo uso da função arcsin, quanto pelo uso da função arctan, conforme mostra a Equação 17:

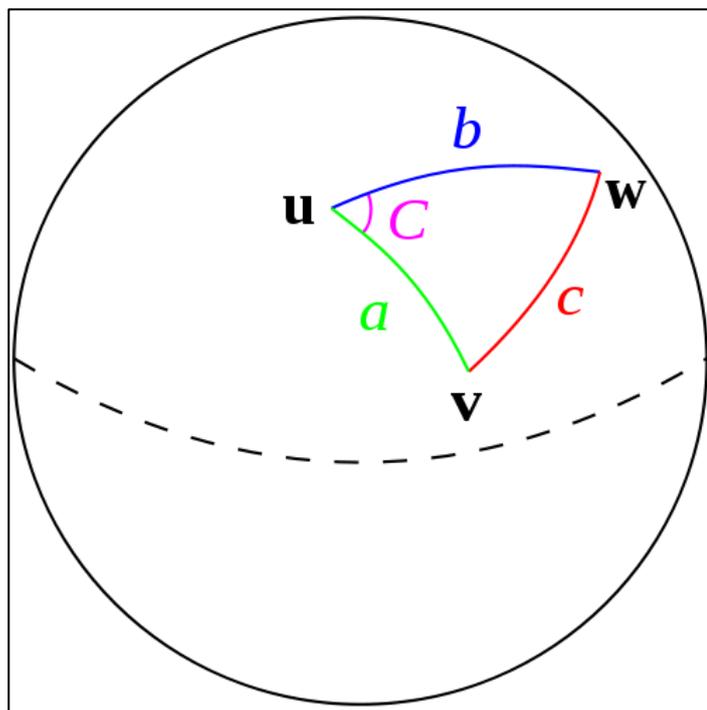
$$d = R \text{havrsin}^{-1}(h) = 2R \arcsin(\sqrt{h}) \quad (17)$$

Pela utilização desta equação, quando h aproxima-se de 1 quando os pontos são antipodais, ou seja, o lado oposto da esfera.

Uma fórmula similar pode ser obtida com a utilização de cossenos (algumas vezes chamada de lei esférica dos cossenos) em vez de haversines, porém sofre com problemas de precisão para pequenas distâncias.

A fórmula de Haversine deriva da lei dos Haversines. Dada uma esfera, um “triângulo” em sua superfície é definido pelo maior círculo conectando os três pontos do triângulo na esfera: \mathbf{u} , \mathbf{v} e \mathbf{w} , conforme ilustra a Figura 17.

Figura 17 - Triângulo esférico.



FONTE: [17]

Se o comprimento destes três lados forem a (de \mathbf{u} até \mathbf{v}), b (de \mathbf{u} até \mathbf{w}) e c (de \mathbf{v} até \mathbf{w}), e o ângulo do canto oposto a c é C , então a lei dos Haversines estabelece que:

$$\text{hav}(\sin(c)) = \text{hav}(\sin(a - b)) + \sin(a) \sin(b) \text{hav}(\sin(C)) \quad (18)$$

Como é uma esfera unitária, os comprimentos a , b e c são simplesmente iguais aos ângulos (em radianos) correspondentes aos seus lados (lado a = ângulo A , lado b = ângulo B , lado c = ângulo C). Para uma esfera não unitária, cada um destes comprimentos de arco é igual ao seu ângulo central multiplicado pelo raio da esfera.

Para obter a fórmula de Haversine, considera-se que o ponto \mathbf{u} é o polo norte, enquanto que \mathbf{v} e \mathbf{w} são os dois outros pontos cuja separação d se quer determinar. Neste caso especial, a e b valem $\frac{\pi}{2} - \varphi_{1,2}$, respectivamente, C é a separação de longitude $\Delta\lambda$, e c é o d/R desejado. Como $\sin(\frac{\pi}{2} - \varphi) = \cos(\varphi)$, a fórmula de Haversine é então determinada conforme mostra a Equação 16.

3. SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO

Os sistemas de comunicação sem fio utilizam as frequências como meio de transporte da informação. Basicamente, esses sistemas são formados pelos seguintes componentes:

- *Transmissor*: Transmite os sinais gerados pelo celular até o receptor.
- *Receptor*: Recebe e interpreta os sinais gerados pelo transmissor.
- *Antena*: Converte os sinais elétricos gerados pelo transmissor em ondas de rádio e recebe as ondas de rádio para a posterior conversão em sinais elétricos para o receptor.

Os sistemas de comunicação sem fio trocam informações de acordo com o modo de transmissão utilizado. Os modos de transmissão mais usados são: *Simplex*, *Semiduplex* e *Full Duplex*.

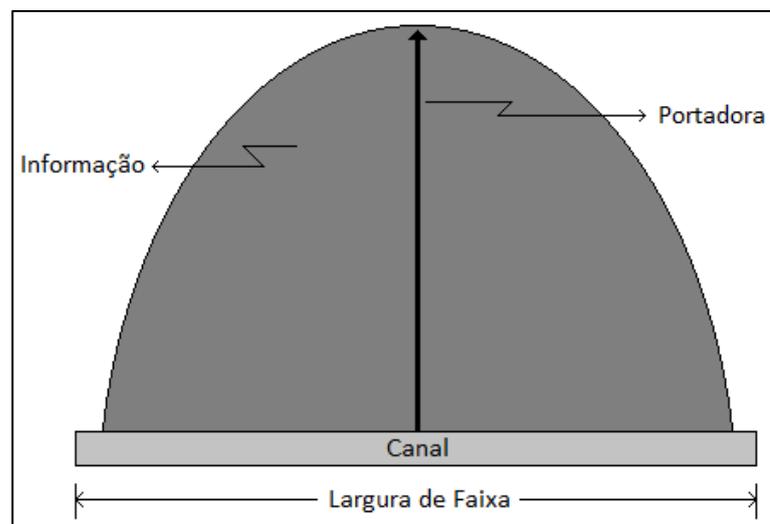
O modo *Simplex* opera com uma única frequência e somente a Estação Rádio Base (antena) pode transmiti-la. A unidade móvel somente recebe. Exemplos deste tipo de aplicação são as emissoras de rádio AM e FM e de TV.

O modo *Semiduplex* opera com uma única frequência, suportando uma comunicação bidirecional, porém com a transmissão de informação em um sentido de cada vez. Exemplos deste tipo de aplicação são os rádios *walkie-talkie* e os rádios de polícia.

O modo *Full Duplex* opera com uma frequência para a transmissão e outra para a recepção, e a comunicação ocorre nos dois sentidos, simultaneamente. Os sistemas de telefonia móvel celular utilizam este modo.

No sistema móvel celular, cada canal de comunicação (*Tx – transmissão* e *Rx – Recepção*) é formado por uma portadora de RF e uma largura de faixa. A portadora de RF representa a frequência (f) alocada ao canal, enquanto a largura de faixa representa o espaço necessário para a transmissão da informação, conforme ilustra a Figura 18.

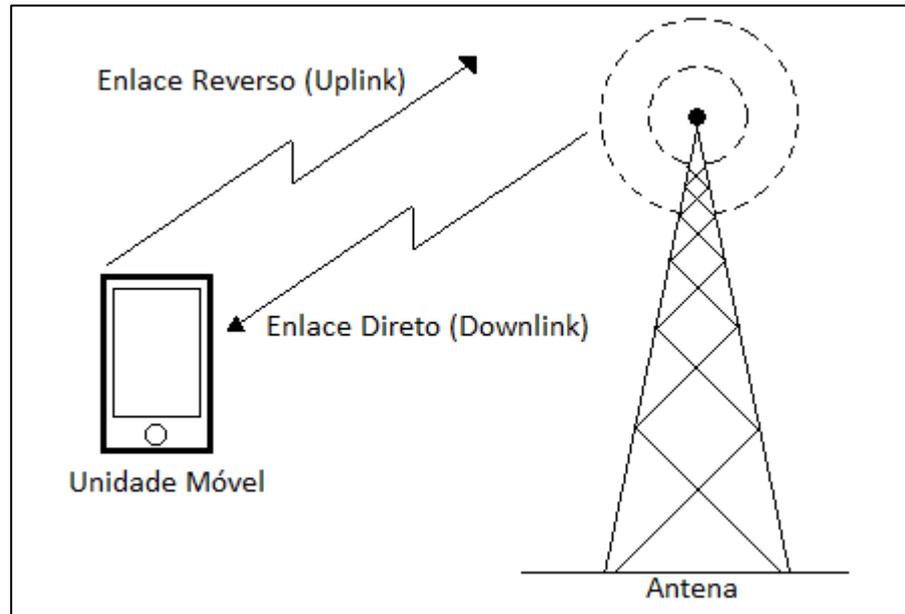
Figura 18 - Canal de comunicação no sistema móvel celular.



FONTE: AUTOR

Esses dois canais de comunicação do modo duplex são implementados pelos enlaces direto (*downlink*) e enlace reverso (*uplink*), conforme mostra a Figura 19.

Figura 19 - Enlaces direto e reverso.



FONTE: AUTOR

3.1 ACESSO MÚLTIPLO

O acesso múltiplo é a capacidade de uma dada tecnologia processar várias chamadas simultâneas em uma mesma faixa de frequência.

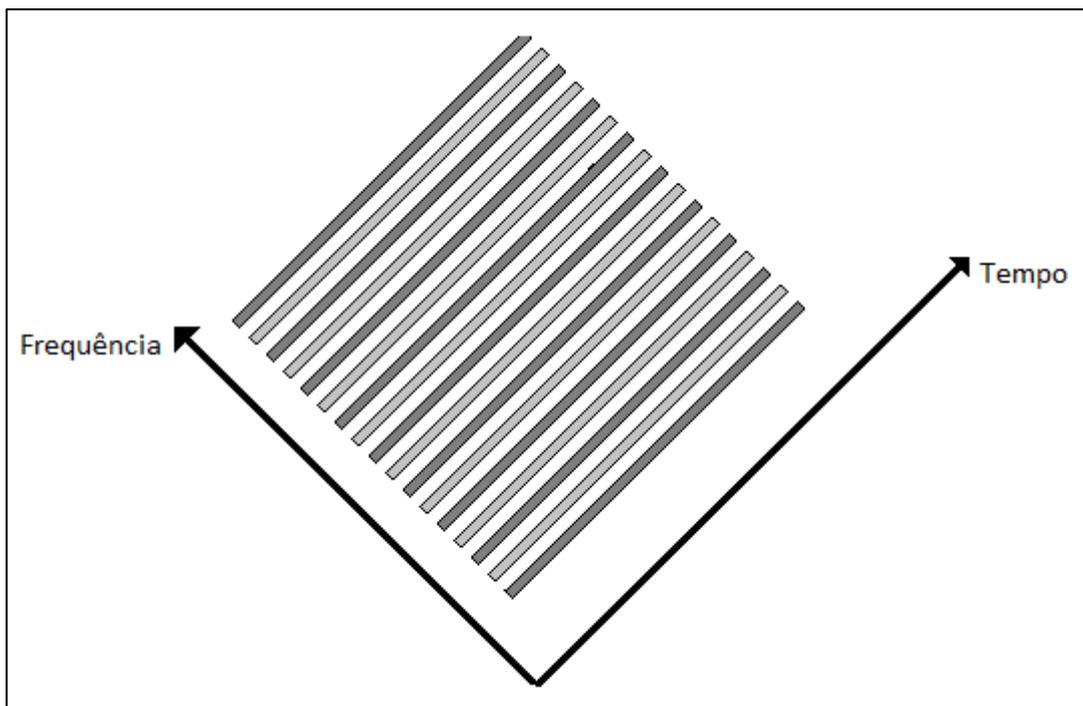
Nos sistemas celulares, vários assinantes compartilham a mesma faixa de frequência originando e recebendo chamadas.

Basicamente existem 3 tecnologias de acesso múltiplo para telefonia: FDMA, TDMA e CDMA.

3.1.1 Frequency Division Multiple Access (FDMA)

A tecnologia de acesso múltiplo por divisão de frequência é a mais antiga existente. Nessa tecnologia a largura de banda disponível é dividida em canais, ou frequências, não sobrepostas. O assinante, ao efetuar uma chamada, ganhava um canal inteiro para si durante todo o tempo da chamada. A Figura 20 ilustra a tecnologia FDMA.

Figura 20 - Tecnologia FDMA.



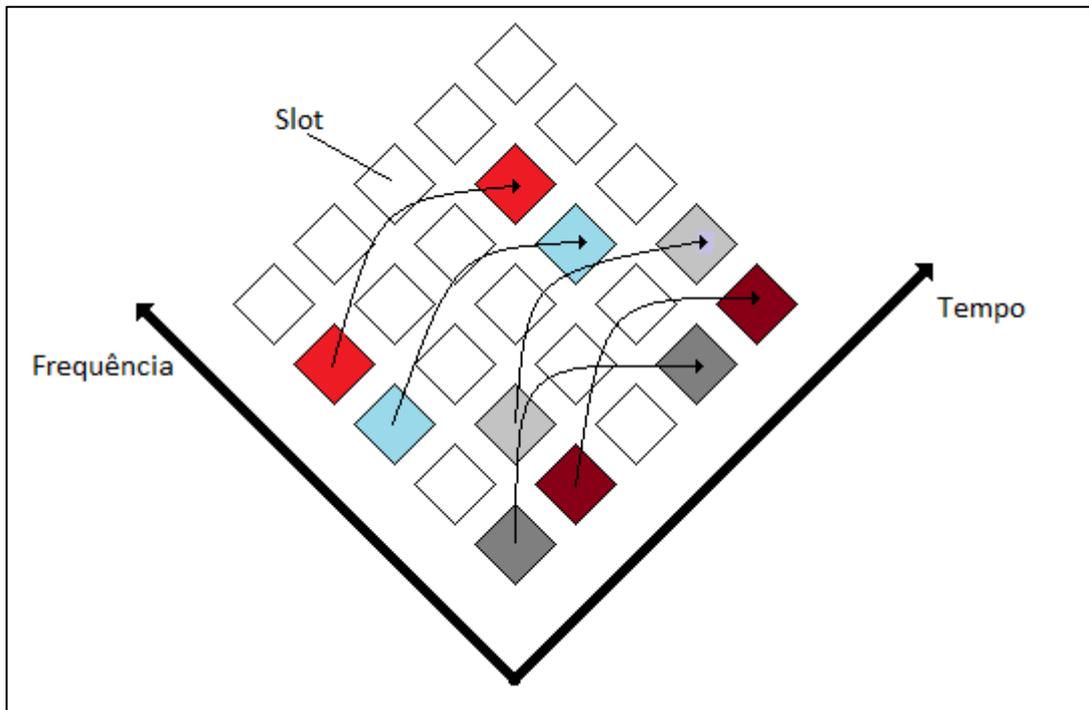
FONTE: AUTOR

3.1.2 Time Division Multiple Access (TDMA)

Nessa tecnologia várias conversações são transmitidas simultaneamente no mesmo canal de RF, entretanto, cada conversação é transmitida em intervalos de tempo distintos, ou seja, as unidades móveis se revezam no tempo, tanto na recepção quanto na transmissão, sob a mesma frequência compartilhada.

Na tecnologia TDMA, cada usuário dispõe de uma faixa de frequência apenas durante um certo período de tempo denominado *slot*, que lhe é ciclicamente disponibilizado. A Figura 21 ilustra a tecnologia TDMA.

Figura 21 - Tecnologia TDMA.



FONTE: AUTOR

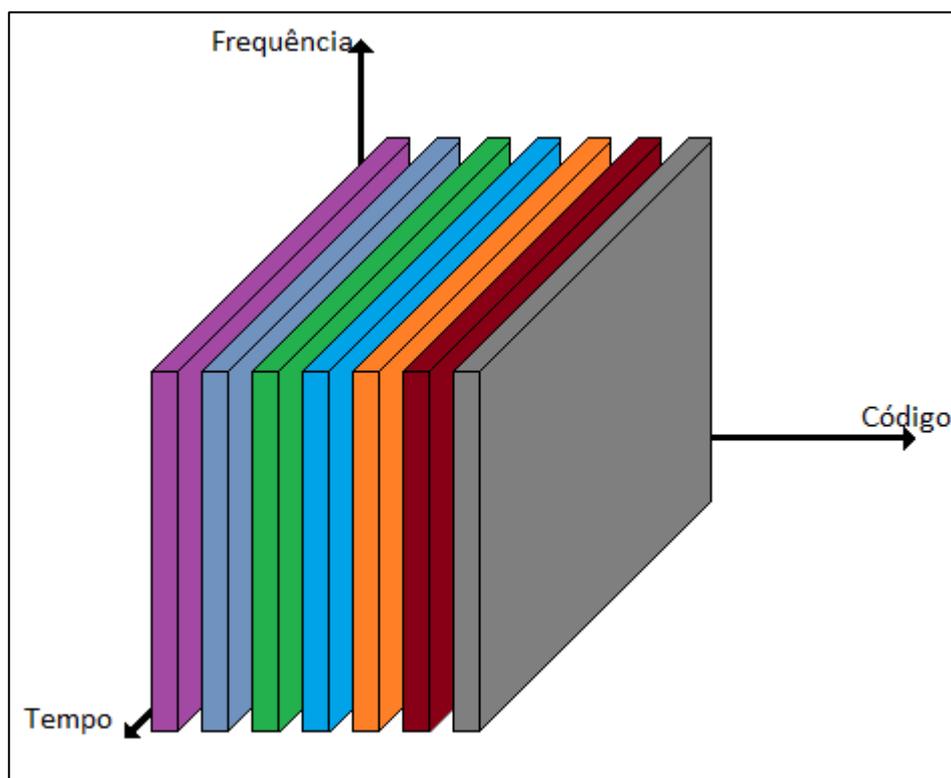
3.1.3 Code Division Multiple Access (CDMA)

A tecnologia de acesso múltiplo por divisão de código é a mais avançada, sendo utilizado nos sistemas celulares de terceira geração (3G).

Consiste na transmissão de sinais de modo que todos os usuários utilizem a mesma faixa de frequências durante todo o intervalo de tempo.

Na tecnologia CDMA, várias conversações são transmitidas simultaneamente no mesmo canal de RF e no mesmo intervalo de tempo, entretanto, cada conversação recebe um código de identificação que a diferencia das demais, conforme a Figura 22.

Figura 22 - Tecnologia CDMA.



FONTE: AUTOR.

Para entender melhor a tecnologia CDMA, pode-se usar a seguinte analogia: em uma sala há vários pares de pessoas conversando. Cada par deseja conversar entre si e não tem interesse nas conversas alheias. Se cada par só conhece e usa um único idioma, e todos os

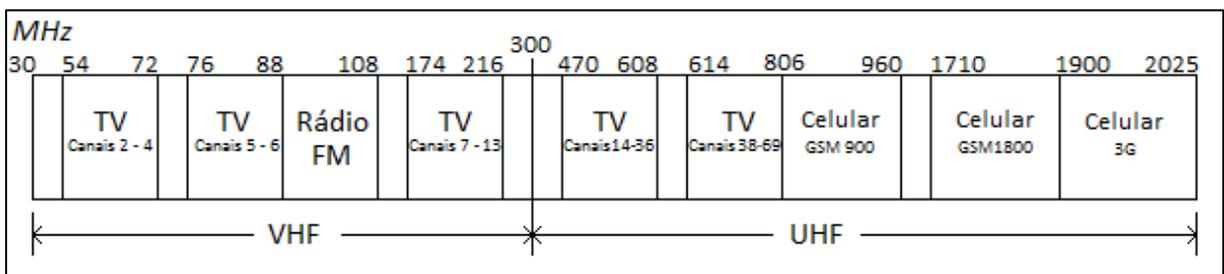
idiomas são diferentes, então cada um pode usar o ar da sala como meio de transporte para a voz, experimentando pouca interferência das outras vozes.

O ar da sala pode ser comparado com uma portadora de banda larga, e os idiomas são os códigos únicos e diferentes para cada conversação. Pode-se continuar a adicionar pares de pessoas conversando até o ponto onde a quantidade de ruído de fundo comece a atrapalhar o reconhecimento das conversações.

3.2 ALOCAÇÃO DE FREQUÊNCIAS NO ESPECTRO

Em sistemas de comunicação que usam a atmosfera como meio de transmissão, condições de interferência e propagação dependem fortemente de transmissão. Teoricamente, qualquer tipo de modulação pode ser usada em qualquer frequência de transmissão. Sendo assim, para evitar o mau uso do espectro de frequências, normas governamentais, regulamentadas no Brasil pela Anatel, especificam o tipo de modulação, largura de banda e que tipo de informação pode ser transmitido em determinadas frequências. A Figura 23 mostra (fora de escala) a alocação de frequências regulamentada pela Anatel:

Figura 23 - Alocação de frequências regulamentada pela Anatel.



FONTE: AUTOR.

3.3 ONDA PORTADORA

Para facilitar a transmissão do sinal pela interface aérea e adequar as frequências aos sistemas de comunicação, utiliza-se a chamada onda portadora, que é um sinal senoidal com três variáveis: amplitude, frequência e fase. Por definição, esse sinal existe ao longo de todo o tempo, ou seja, com o tempo variando de $-\infty$ a $+\infty$. A equação de uma onda portadora é dada pela seguinte expressão:

$$E(t) = A \text{ sen}(2\pi f_c t + \phi) \quad (19)$$

Sendo:

$E(t)$: valor instantâneo da onda.

A : amplitude máxima da onda.

f_c : frequência da portadora, em Hz.

ϕ : fase da onda portadora.

Em canais de comunicação sem fio, o sinal é propagado por uma antena que funciona como irradiador. Os parâmetros da antena, como seu tamanho, são determinados de acordo com a frequência transmitida.

As três características observadas podem variar em função do sinal modulante e do tipo de modulação utilizado.

3.4 MODULAÇÃO

A maioria dos sinais não pode ser enviada diretamente pelos canais de transmissão. Consequentemente, uma onda portadora, cujas propriedades são mais convenientes aos meios de transmissão, é utilizada para levar a informação.

Modulação é a alteração sistemática de uma onda portadora de acordo com o sinal modulante, e pode incluir também uma codificação. O modulante é o próprio sinal que se deseja transmitir, mas devido a suas características de baixa frequência, deve ser superposto

a uma onda portadora de frequência mais alta, de tal forma que possa propagar-se pelos meios físicos de transmissão.

3.4.1 Tipos de Modulação

Em grande parte, o êxito de um sistema de comunicação depende da modulação, portanto, a escolha do tipo de modulação é uma decisão fundamental.

Muitas e diferentes técnicas de modulação são utilizadas para satisfazer as especificações de um sistema de comunicação. Independente do tipo de modulação utilizado, o processo de modulação deve ser reversível, de modo que a mensagem possa ser recuperada no receptor pela operação complementar da demodulação.

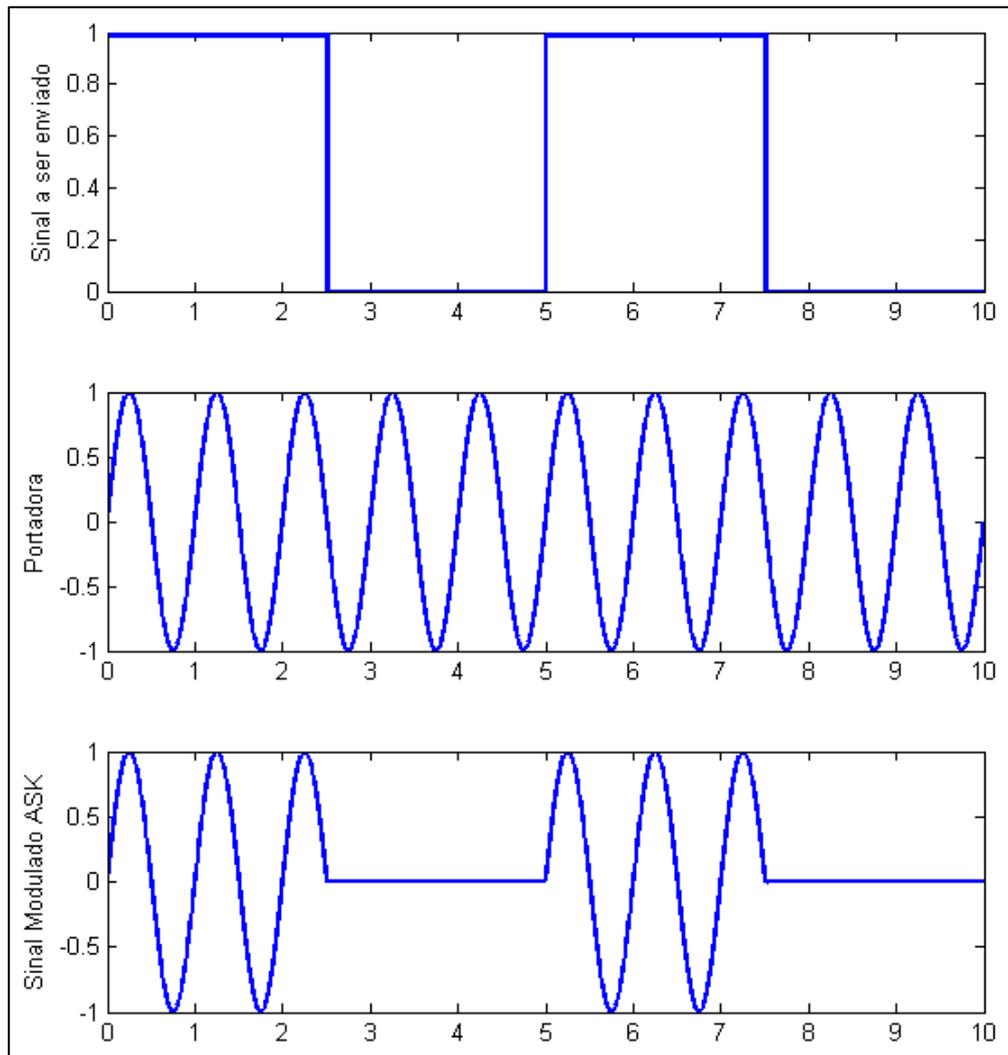
Existem dois tipos básicos de modulação: Modulação Analógica e Modulação Digital.

- **Modulação Analógica:** Nessa modulação, a onda portadora é uma onda senoidal, e o sinal modulante é contínuo. As técnicas mais utilizadas são a *modulação em amplitude (AM)*, *modulação em frequência (FM)* e *modulação em fase (PM)*.

- **Modulação Digital:** É utilizada em casos cujo interesse é transmitir uma forma de onda, ou mensagem, que é discreta, representado um código (binário, por exemplo). As técnicas mais utilizadas são a *modulação por desvio de amplitude (ASK)*, *modulação por desvio de frequência (FSK)*, *modulação por desvio de fase (PSK)*.

A modulação ASK é a técnica de modulação mais simples entre as utilizadas para modular sinais digitais. É a alteração da onda portadora em função do sinal digital a ser transmitido. A amplitude da portadora é comutada entre dois valores, usualmente representando “ligado” e “desligado”. A onda resultante consiste em pulsos de RF que representam o sinal binário “1”, e espaços representando o sinal binário “0”. A Figura 24 ilustra este tipo de modulação. Este tipo de modulação tem um desempenho pobre, e é bastante afetada pelos efeitos de ruído e interferência.

Figura 24 - Modulação ASK.



FONTE: AUTOR

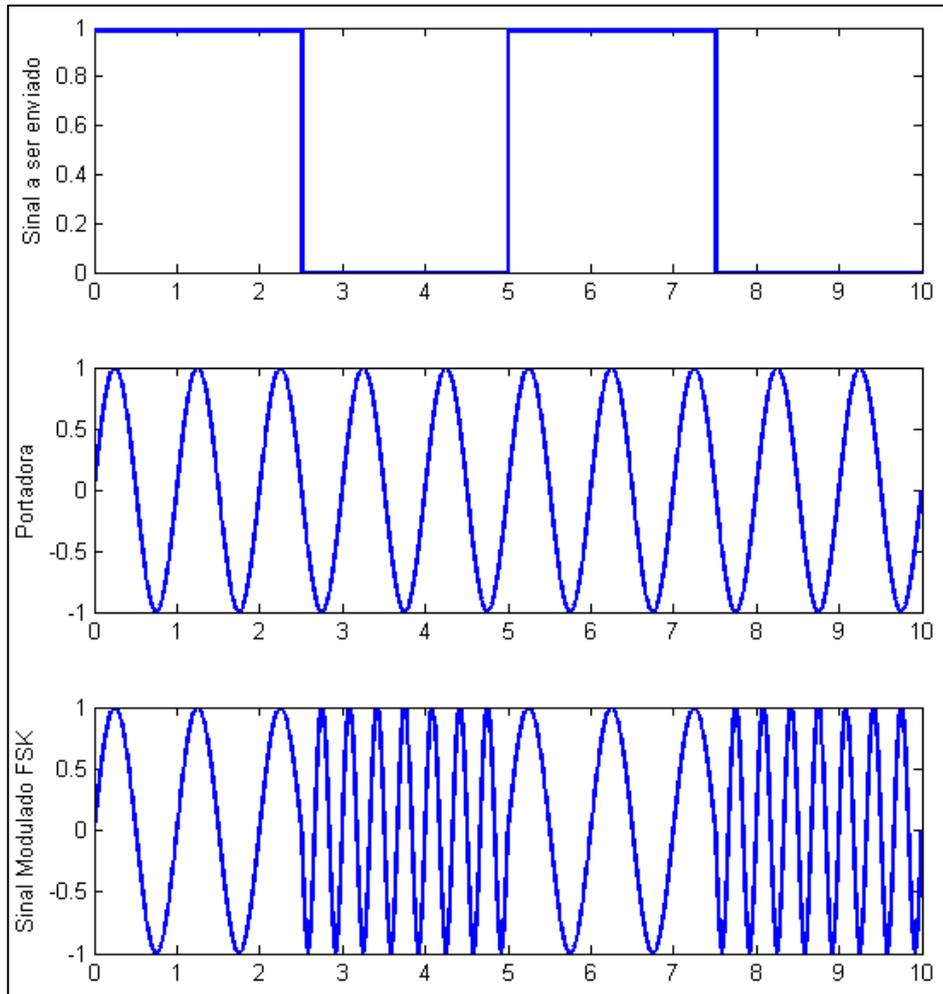
Verifica-se que o sinal modulado $s(t)$ fica sendo:

$$s(t) = \begin{cases} A \sin(\omega_c t), & m(t) = 1 \\ 0, & m(t) = 0 \end{cases} \quad (20)$$

Sendo $m(t)$ o sinal a ser enviado, A a amplitude do sinal modulado e ω_c a frequência angular da portadora.

A modulação FSK varia a frequência da onda portadora em função do sinal digital a ser transmitido. Nessa modulação, a amplitude e a fase da onda portadora modulada são mantidas constantes durante todo o processo da modulação. A Figura 25 ilustra este tipo de modulação.

Figura 25 - Modulação FSK.



FONTE: AUTOR.

Verifica-se que o sinal modulado $s(t)$ fica sendo:

$$s(t) = \begin{cases} A \sin(\omega_c t - \Delta\omega), & m(t) = 1 \\ A \sin(\omega_c t + \Delta\omega), & m(t) = 0 \end{cases} \quad (21)$$

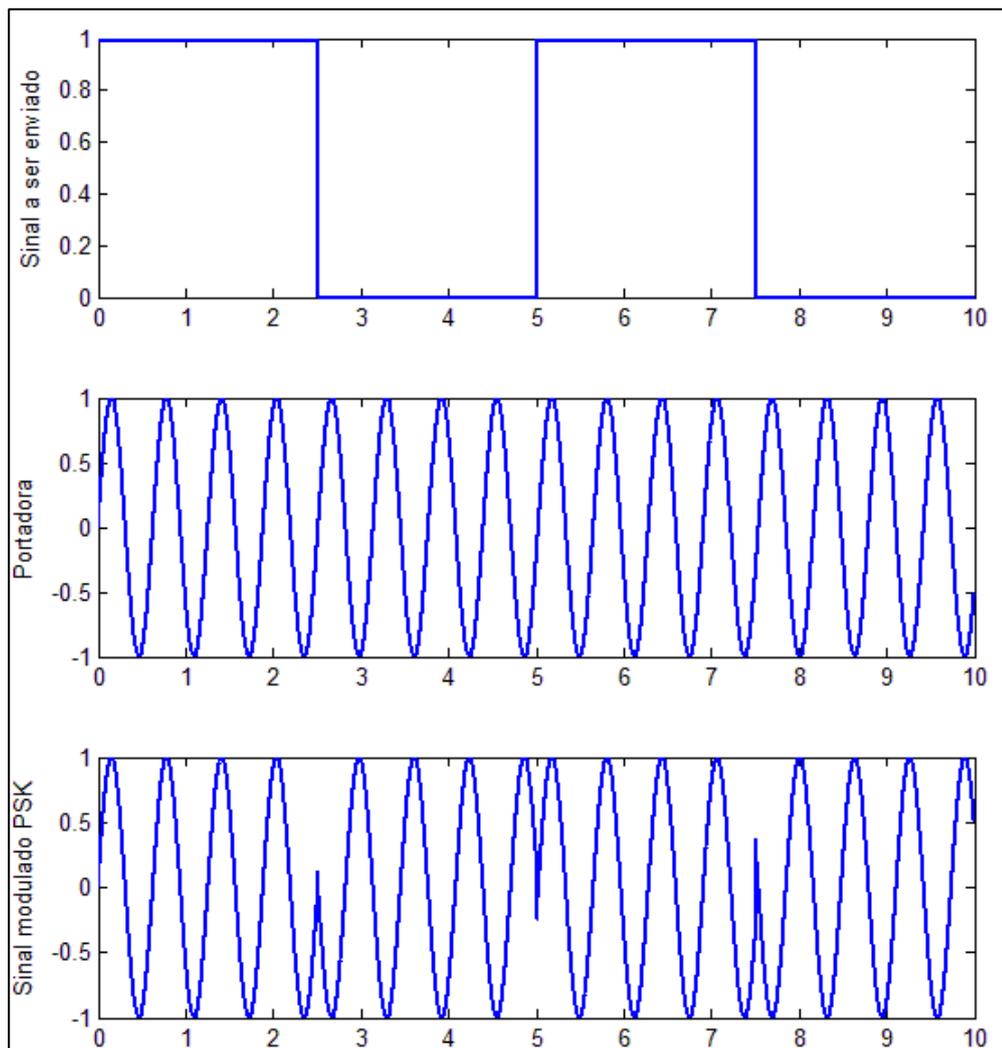
Sendo $m(t)$ o sinal a ser enviado, A a amplitude do sinal modulado, ω_c a frequência angular da portadora e $\Delta\omega$ uma variação no valor da frequência.

A largura de banda ocupada pela modulação FSK é dependente do espaçamento dos símbolos. Um espaçamento de metade do período de cada símbolo é tipicamente usado.

Símbolo é a interpretação dada a cada variação obtida com esta modulação. Sendo assim, esta modulação admite ser expandida para um esquema de M símbolos.

A modulação PSK altera a fase da onda portadora em função do sinal digital a ser transmitido. Quando ocorrer uma transição, haverá uma mudança de 180° na fase da onda portadora com relação ao ângulo anterior. A transição observada pode ser tanto de nível lógico "0" para nível lógico "1" como de nível lógico "1" para nível lógico "0".

Figura 26 - Modulação PSK.



FONTE: AUTOR.

Verifica-se que o sinal modulado $s(t)$ fica sendo:

$$s(t) = \begin{cases} A \sin(\omega_c t), & m(t) = 1 \\ -A \sin(\omega_c t), & m(t) = 0 \end{cases} \quad (22)$$

Sendo $m(t)$ o sinal a ser enviado, A a amplitude do sinal modulado e ω_c a frequência angular da portadora.

Esta modulação também é chamada de BPSK. Dentre as três vistas até o momento, é a que apresenta um melhor desempenho.

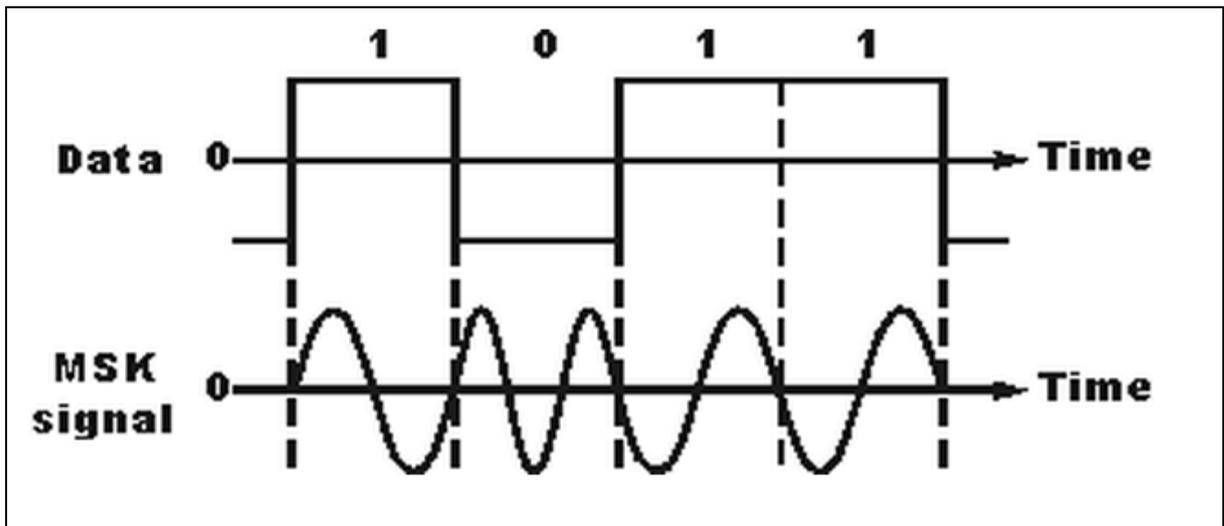
Esta modulação também permite expansão para um esquema de M símbolos, empregando múltiplas fases e amplitudes.

O sistema de comunicação utilizado no desenvolvimento do trabalho é o GSM, e este utiliza uma modulação do tipo GMSK (*Gaussian Minimum-Shift Keying*), um caso especial da modulação MSK (*Minimum-Shift Keying*).

A modulação MSK é um tipo de modulação FSK de fase contínua. É sabido que dados que consistem em trocas abruptas, como a binária “zero para um”, ou vice-versa, criam sinais que, no domínio frequência, possuem bandas laterais que se estendem para longe da portadora, e isto cria problemas para os sistemas de comunicação sem fio, pois bandas laterais para fora da largura de banda permitida causam interferências nos canais adjacentes e no que quer que esteja utilizando estes.

A modulação MSK contorna estes problemas pois com ela a fase do sinal modulado se mantém contínuo, ou seja, não há descontinuidades, pois a mudança na frequência ocorre no cruzamento da portadora por zero. A Figura 27 ilustra um sinal modulado por MSK.

Figura 27 - Modulação MSK.



FONTE: [6]

Isto resulta em um espectro muito mais limpo, ou seja, sem componentes em frequência que fiquem fora da banda disponível para a transmissão.

Um sinal modulado por GMSK é o mesmo modulado por MSK, porém filtrado por um filtro gaussiano. Com este filtro, as componentes de mais alta frequência do sinal modulante são atenuadas. O filtro é chamado de gaussiano pois sua resposta impulsiva é uma gaussiana.

3.5 ARQUITETURA BÁSICA DO GSM (2G)

O padrão GSM (*Global System for Mobile Communications*) foi adotado no Brasil no ano de 2002. Nesse padrão, a largura de faixa de cada canal é de 200 kHz, e a faixa de operação é 1800 MHz e também 900 MHz. O Quadro 3 descreve as principais características do GSM implantado no Brasil.

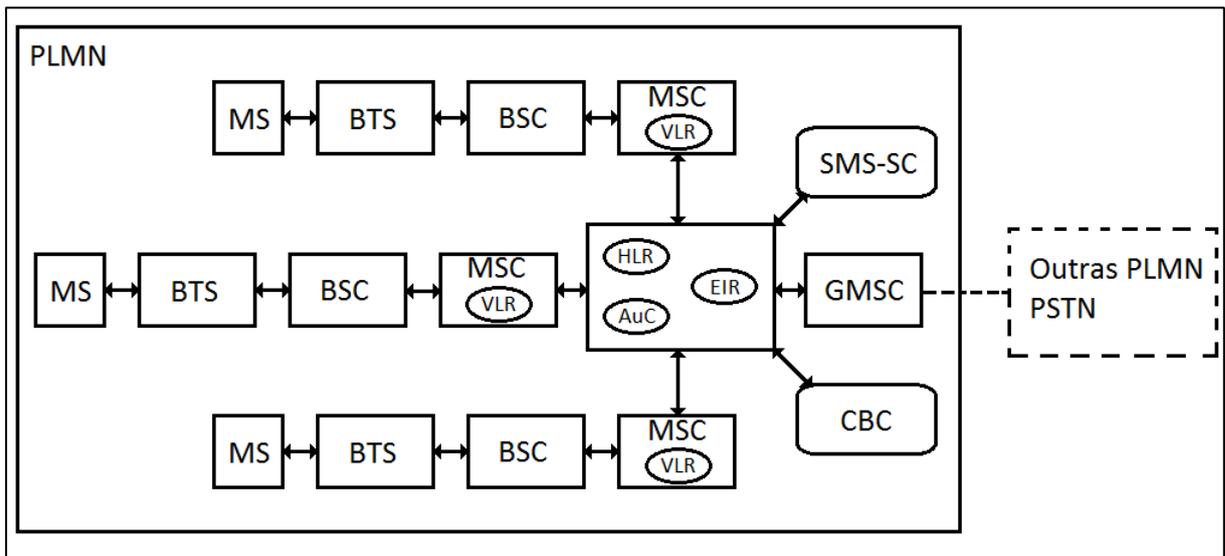
Quadro 3 - Principais características do GSM.

Tecnologia de múltiplo acesso	TDMA
Largura do canal	200 kHz
Usuário por canal	8 @ 13 kbits/s (ou 16 @ 5,6 kbits/s)
Faixa de frequência do enlace direto	1805 a 1880 MHz
Faixa de frequência do enlace reverso	1710 a 1785 MHz
Largura de banda disponível	75 MHz
Espaçamento entre os canais dos enlaces	95 MHz
Modulação do sinal	GMSK
Número máximo de canais	374 (=75 MHz/200 kHz - 1)

FONTE: [7]

As redes GSM consistem em diversas entidades funcionais cujas funções e interfaces são bem definidas. A Figura 28 representa uma rede GSM de maneira simplificada:

Figura 28 - Arquitetura simplificada de uma rede 2G.



FONTE: AUTOR

A **PLMN** (*Public Land Mobile Network*) é a rede GSM de uma operadora de telefonia móvel. Nela encontram-se todas as estruturas necessárias para a comunicação entre as **MS** (*Mobile Stations*) da própria operadora e o portal para comunicação com outras PLMN e

outras **PSTN** (*Public Switched Telephone Network*), o chamado **GMSC** (*Gateway Mobile Switching Centre*).

As **BTS** (*Base Transceiver Stations*) fornecem a interface entre as MS e o restante da rede. Diversas BTS são espalhadas em uma área para prover a cobertura da rede celular na região. As BTS são conectadas às **BSC** (*Base Station Centres*). Diversas BTS são ligadas em uma mesma BSC. O número de BTS por BSC varia bastante, pois depende muito do tráfego de cada região. A operadora Oi, por exemplo, no estado do Rio Grande do Sul, possui, somente na região metropolitana 6 BSC, enquanto que no litoral norte possui apenas uma.

Um conjunto de BSCs é ligado a uma **MSC** (*Mobile Switching Centre*). Estas subdivisões são feitas, principalmente, com o intuito de descentralizar o tráfego de uma única central. A Oi, no Rio Grande do Sul, possui apenas 4 MSC.

As demais estruturas são complementos da rede:

- **HLR** (*Home Location Register*): Responsável pela administração e controle da base de dados dos assinantes. Contém todos os dados do assinante perante a rede.
- **VLR** (*Visitor Location Register*): Armazena uma cópia dos principais dados do assinante perante a rede, como localização atual e o estado da MS (livre/ocupado).
- **AuC** (*Authentication Centre*): Responsável pelas funções de autenticação e criptografia dos dados do assinante que circulam pela rede.
- **EIR** (*Equipment Identity Register*): Contém a base de dados das MS registradas na rede, tanto as que estão autorizadas para funcionar quanto as que não estão.
- **SMS-SC** (*Short Message System – Switching Centre*): Responsável pelo recebimento das mensagens de texto e encaminhamento para seus destinatários.

- **CBC (Chargeback Centre):** Responsável pela cobrança das tarifas dos serviços da rede.

3.6 ARQUITETURA BÁSICA DO GPRS (2.5G)

A tecnologia GSM veio evoluindo ao longo dos anos. Com a expansão da Internet, a topologia existente (*comutação de circuitos*) não era propícia para o tráfego de dados. Introduziu-se então a *comutação de pacotes*, esta sim, propícia para trafegar dados por uma rede de telecomunicações móvel.

A comutação de circuitos não é uma modalidade de transferência de dados muito eficiente devido à utilização dos canais físicos e lógicos da interface aérea GSM, durante toda a fase de troca de dados, mesmo quando não há nenhuma informação sendo transferida. Isto gera ineficiência espectral, ineficiência dos recursos de rede e tratamento ineficiente do tráfego para a Internet.

A comutação de pacotes é uma modalidade de transferência de dados específica para tratar devidamente as características de uma comunicação de dados, que são:

- *Tráfego intermitente e formado por rajadas (bursts):* o fluxo de tráfego não é contínuo. Durante a solicitação de dados pelo usuário há fluxo de dados, e durante o atendimento desta solicitação pela rede também há. Após esta troca de dados, o tráfego cessa até a próxima solicitação.
- *Tráfego assimétrico:* na maioria das vezes, é o usuário que solicita dados, e esta solicitação é feita através de um tráfego pequeno de dados. Por outro lado, os dados que advêm desta solicitação podem gerar um tráfego de dados para o usuário bastante grande.

A esta nova topologia deu-se o nome de GPRS (*General Packet Radio Service*). A topologia GPRS utiliza a rede GSM existente tanto quanto possível, mas para construir uma

- **GGSN** (*Gateway GPRS Support Node*): Provê as interfaces de conexão com as redes externas, como a Internet. Todo o pacote transferido entre as redes externa e GPRS passa obrigatoriamente por esta.

3.7 ESTABELECIMENTO DA CONEXÃO GPRS

Em uma conexão GPRS, os dados são transmitidos e recebidos em unidades chamadas pacotes. Em redes de chaveamento de circuitos, os usuários pagam pela quantidade de tempo que ficam transferindo informação; em uma conexão GPRS, os usuários pagam baseado no volume de dados que eles transmitem ou recebem.

Teoricamente, o GPRS pode acessar dados a uma taxa de mais de 170 kB/s, assumindo que todos os *time slots* sejam usados simultaneamente e não haja usuários competindo por largura de banda. Na prática esta velocidade raramente é atingida, ficando em 40 kB/s na média.

De maneira simplificada, para obter acesso à Internet, a unidade móvel precisa adquirir um endereço IP. Este endereço IP é fornecido à unidade móvel dinamicamente, ou seja, é cedido à unidade móvel um endereço IP apenas por um certo período de tempo.

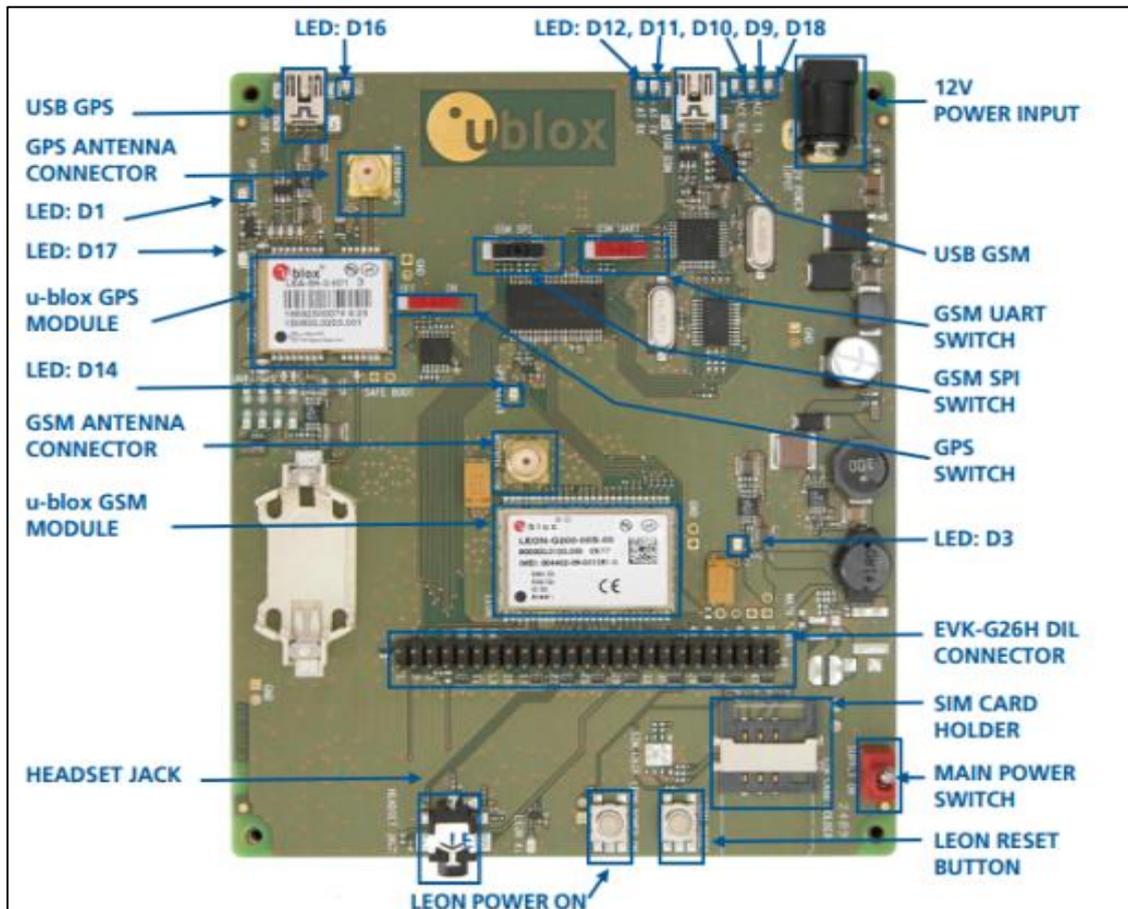
Quem fornece este IP dinâmico é um protocolo chamado DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*).

Para a aquisição deste endereço IP, é necessário fornecer ao GGSN o endereço APN (*Access Point Name*). Cada tipo de aplicação de dados (Internet, por exemplo) possui um APN. É necessário informar ao GGSN o tipo de serviço que se quer utilizar. Pode ser interpretado como um *login*, ou seja, uma permissão para acessar o serviço.

4. HARDWARE

O hardware utilizado para o desenvolvimento do projeto foi o EVK-G26H, da u-blox. Trata-se de uma placa com recursos de GPS e GSM/GPRS embutidos. A Figura 30 ilustra o hardware referido.

Figura 30 - Kit de desenvolvimento EVK-G26H.



FONTE: [10]

Utilizou-se este kit devido ao fato de este atender aos requisitos definidos inicialmente, e por estar disponível no laboratório para uso.

O kit é flexível e de fácil entendimento, tornando a interação entre dados GPS/GSM bastante simples. Junto com a placa da Figura 30, o kit traz uma antena GSM e outra GPS, além de um CD com os programas para utilização, um fone de ouvido (pois ele também possibilita ligações telefônicas) e um manual de instruções.

Este kit conta com o módulo GSM LEON-G200 e o módulo GPS LEA-6H.

Segue a descrição em detalhes da placa da Figura 30:

Quadro 4 - Chaves do kit EVK-G26H.

Chave	Descrição
MAIN POWER SWITCH	Liga/Desliga a fonte de alimentação da placa.
GSM UART SWITCH	Habilita/Desabilita o controle do módulo GSM por comandos AT.
GSM SPI SWITCH	Utilizado para rotinas de depuração.
GPS SWITCH	Habilita/Desabilita a conexão entre os módulos GPS e GSM.
LEON POWER ON BUTTON	Liga o módulo GSM.
RESET BUTTON	Reinicia as funcionalidades do módulo GSM.

FONTE: [12]

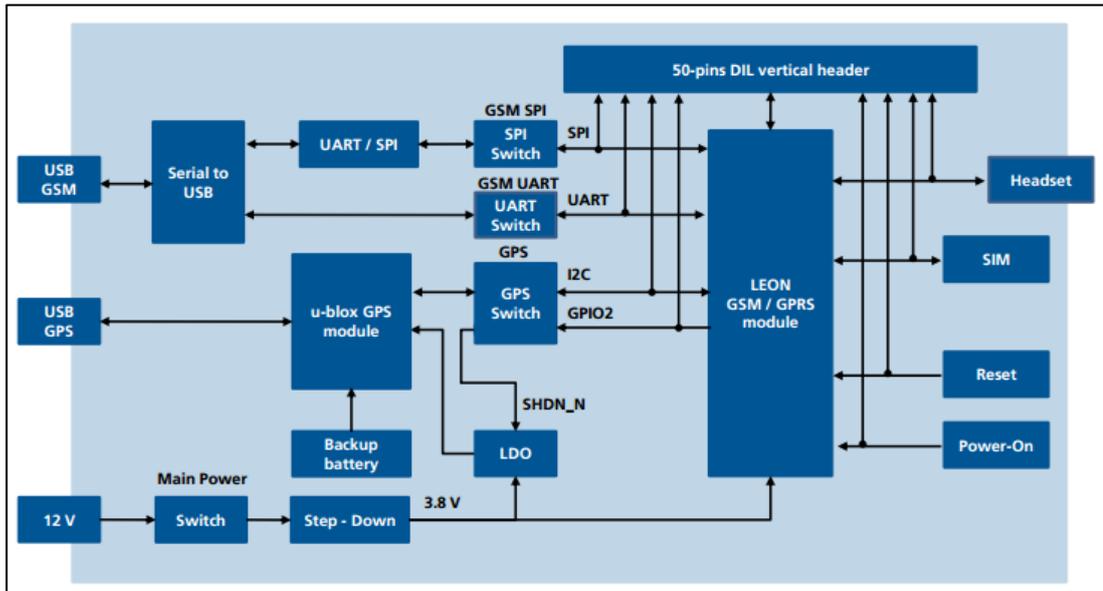
Quadro 5 - LEDs do kit EVK-G26H.

Descrição	Função	LED	Cor
Interface AT do módulo GSM	Recebe	D12	Verde
	Transmite	D11	Laranja
Interface de depuração GSM	Recebe	D10	Verde
	Transmite	D9	Laranja
Comunicação GSM/GPS	Clock	D14	Vermelho
Indicador de energia	GPS	D17	Verde
	GSM	D3	Verde
Indicador do cabo USB	GPS	D16	Azul
	GSM	D18	Azul

FONTE: [12]

O diagrama de blocos da Figura 31 mostra as principais interfaces e conexões internas do kit.

Figura 31 - Diagrama de blocos do kit EVK-G26H.



FONTE: [12]

O funcionamento do kit é feito seguindo os seguintes passos. É condição mandatória que a antena GSM esteja conectada antes de se ligar a placa à fonte de alimentação, sob pena de causar danos ao módulo GSM. Portanto, certificar-se que a chave MAIN POWER esteja na posição OFF antes de se iniciar o procedimento abaixo.

Quadro 6 - Procedimento de ligação da placa.

Passo	Descrição	Referência na Figura 30
1	Inserir o cartão SIM.	SIM CARD HOLDER
2	Conectar a antena GSM.	ANTENNA GSM
3	Conectar a antena GPS.	ANTENNA GPS
4	Habilitar comunicação via comandos AT.	GSM UART (ON)
5	Conectar o plugue da fonte de alimentação.	POWER INPUT
6	Conectar o cabo USB.	USB GSM
7	Ligar a placa.	MAIN POWER (ON)
8	Ligar os módulos GSM e GPS.	LEON POWER ON e GPS SWITCH
9	Conectar o cabo USB no computador.	-

FONTE: [12]

Feitos estes passos, é necessário configurar o kit no computador. Para isto, basta verificar quais portas COM estão sendo utilizadas. O kit EVK-G26H utiliza 1 porta COM para o módulo GSM e 1 porta COM para o módulo GPS.

A configuração da porta COM (serial) a ser utilizada para a comunicação AT do módulo GSM deve ficar da seguinte maneira:

Quadro 7 - Configurações para a comunicação AT do módulo GSM .

Parâmetro	Configuração
Taxa de dados (<i>Data Rate</i>)	115200 b/s
Bits de dados (<i>Data Bits</i>)	8
Paridade (<i>Parity</i>)	Não
Bits de parada (<i>Stop Bits</i>)	1
Controle de fluxo (<i>Flow control</i>)	Hardware

FONTE: [12]

Para a comunicação entre o receptor GPS e o servidor WEB será utilizado módulo GSM do kit. Para que ocorra esta comunicação, são necessários comandos de modem, os chamados *comandos AT*. Os comandos AT são instruções usadas para controlar um modem. “AT” é a abreviação de “**AT**tention”. Toda linha de comando começa com AT, daí o apelido.

5. SOFTWARE

São dois softwares e um banco de dados. O primeiro software a ser apresentado é o que controla os módulos GSM e GPS do kit. Ele é constituído por uma sequência ordenada de comandos AT, coordenada por um script feito em BASIC, utilizando o programa Autolt.

O segundo software administra o banco de dados e o sistema em si, além de servir como interface com o usuário. Ele fica armazenado remotamente em um servidor web. Foi construído utilizando as linguagens HTML e PHP.

O banco de dados foi desenvolvido utilizando MySQL. Nele são armazenados os dados advindos dos veículos, após passarem por um processamento prévio.

5.1 SOFTWARE DOS MÓDULOS GSM E GPS

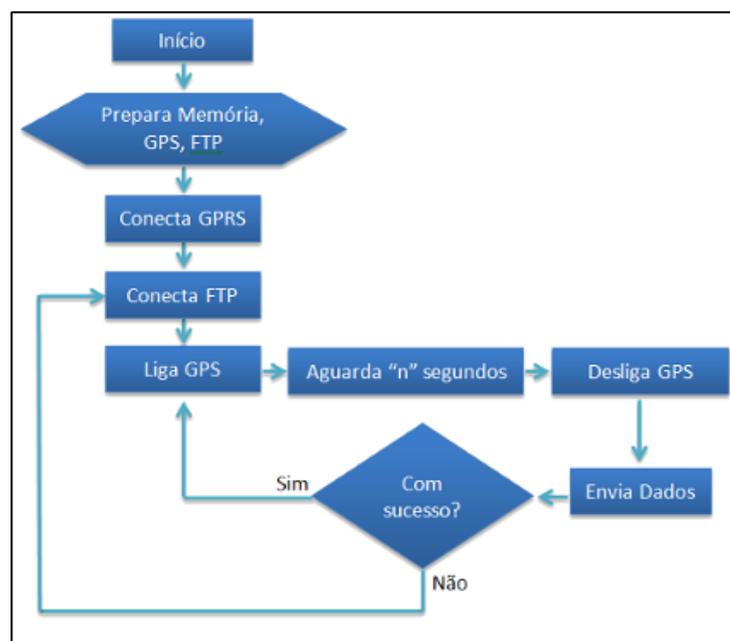
Para controlar os módulos GSM e GPS é necessária a utilização de comandos AT. Estes comandos AT são passados para o módulo por uma interface serial, com a configuração mostrada no Quadro 7.

O kit conta com uma saída mini-USB e um cabo USB. Este cabo USB foi conectado a uma das portas USB de um PC. Após a instalação dos drivers do kit (feita utilizando um CD que acompanha o kit), identificou-se a porta COM que representava o kit conectado ao PC.

Para estabelecer a comunicação, utilizou-se um programa de console para a porta serial. Utilizou-se o “PuTTY”, que é *open-source* e de fácil entendimento e utilização.

Com a conexão estabelecida, organizou-se o script com os comandos AT necessários para a configuração e operação dos módulos. O script segue o seguinte fluxograma:

Figura 32 - Fluxograma do funcionamento do script de controle dos módulos GSM e GPS do kit.



FONTE: AUTOR

Ao iniciar, o script (utilizando o *PuTTY* como interface com a porta serial) envia os comandos para configuração a memória (apagando variáveis antigas), o módulo GPS (ativando quais das sentenças NMEA serão utilizadas) e a função FTP. Esta função é ativa para o posterior envio dos dados com as sentenças NMEA para o servidor remoto.

Em seguida é feita a conexão GPRS, fornecendo à rede a APN de dados, o login e a senha (*APN="tim.br", Login="tim", Senha="tim"*).

Após isto, é feita a conexão com o servidor FTP. Este servidor FTP encontra-se no domínio da *WebHost*, servidor gratuito para páginas da *web*.

O módulo GPS então é iniciado. Durante o tempo em que está ligado ele fica guardando em um arquivo binário na memória do kit todas as sentenças NMEA que foram previamente configuradas. Após "n" segundos (este "n" é um valor configurável) o módulo GPS é desligado, e em seguida já é feito o *upload* do arquivo gerado para o servidor FTP previamente configurado.

Após o término desta ação, o módulo GSM aguarda uma mensagem de confirmação do servidor. Caso esta seja positiva, ou seja, o arquivo foi entregue com sucesso, o script liga novamente o módulo GPS, retomando as ações acima descritas. Caso seja negativa, houve erro na conexão (queda de sinal), e é feita uma nova conexão com o servidor FTP, e o ciclo de obtenção de dados volta a se repetir.

Esta averiguação é feita pelo script sempre através de um log que vai sendo gerado pelo *PuTTY*. Sabe-se as possíveis respostas de cada comando, logo, através de uma comparação de *strings* é tomada uma decisão.

A seguir é apresentado um quadro com os comandos AT utilizados no script, e uma breve descrição dos mesmos.

Quadro 8 - Comandos AT utilizados.

Comando	Descrição
AT+CMEE=2	Ativa mensagens de erro textuais.
AT+UGRMC=1	Ativa a sentença NMEA UGRMC.
AT+UPSDA=0,3	Ativa o GPRS.
AT+UGPS=1,1	Ativa o módulo GPS.
AT+UFTP=0,"IP_do_servidor_FTP"	Armazena o IP do servidor FTP.
AT+UFTP=1,"URL_do_servidor_FTP"	Armazena a URL do servidor FTP.
AT+UFTP=2,"Login_servidor_FTP"	Armazena o <i>login</i> do usuário no servidor FTP.
AT+UFTP=3,"Senha_servidor_FTP"	Armazena a senha do usuário no servidor FTP.
AT+UFTPC=1	Conecta no servidor FTP.
AT+UFTPC=8,"Pasta_servidor_FTP"	Direciona a pasta onde serão salvos os arquivos.
AT+UGPS=0	Desativa o módulo GPS.

FONTE: AUTOR

5.2 SOFTWARE DA INTERFACE

Definiu-se como software interface aquele criado para ser a interface entre o usuário (ou terminais) e o sistema. Foi desenvolvido utilizando as linguagens de interface PHP, HTML e Javascript.

A utilização do HTML foi necessário pois pretende-se que seja um sistema on-line, conectado o tempo todo à Internet. O PHP foi usado para dar a lógica de programação ao site e o Javascript para implementação da API (*Application Program Interface*) do Google Maps.

A Figura 33 apresenta o *layout* final da interface desenvolvida.

Figura 33 - Layout da interface web desenvolvida.



Projeto de Diplomação
Sistema de Monitoramento de Veículos
 Autor: Samuel de Oliveira Carvalho
 Orientador: Carlos Eduardo Pereira



Selecione a linha:

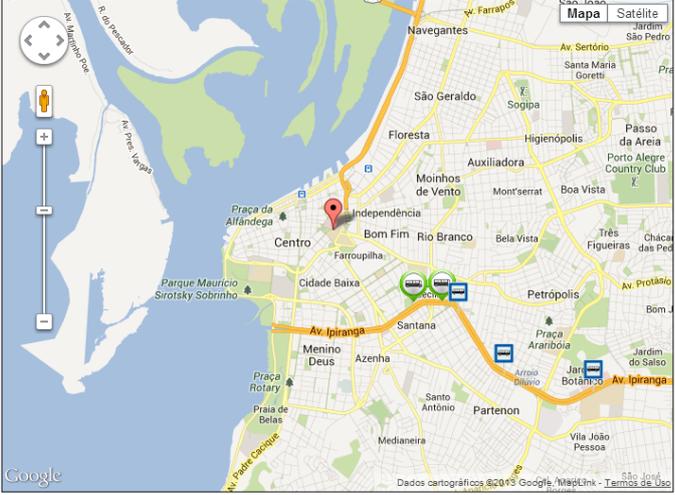
Latitude de Partida:

Longitude de Partida:

Latitude de Chegada:

Longitude de Chegada:

Velocidade media do onibus 1 : 13.742868888889 km/h.
 Velocidade media do onibus 5 : 8.6561451111111 km/h.



FONTE: AUTOR

5.2.1 Funcionamento

Seleciona-se a linha (foram cadastradas algumas para efeitos de teste) e clica-se no botão “Ver Paradas”. O sistema faz uma busca no banco de dados pelas paradas que estão vinculadas a esta linha, e também já realiza uma busca no servidor FTP pelos dados de todos os ônibus da linha em questão, atualizando-os, caso haja algum dado novo.

O usuário tem um resumo prévio da situação atual do sistema, com a posição atual dos ônibus que estão em circulação por esta linha, sua velocidade no momento da medida, a data e a hora da medida. Após isto, o usuário é redirecionado para a interface principal (a da Figura 33) e são marcados no mapa as paradas e os ônibus (paradas são os ícones de placas de ônibus e os ônibus possuem um círculo verde em volta).

Ao clicar em um ônibus do mapa o usuário terá o mesmo resumo da página anterior em uma pequena caixa de texto que aparece no mapa. Ao passar o mouse sobre as placas azuis o usuário pode verificar a referência/rua a que se refere o ponto em questão.

Para saber uma estimativa de tempo para que um ônibus de preferência do usuário chegue até um determinado ponto basta clicar sobre um ônibus, seguido de um dos pontos e clicar em “Calcula”. O sistema irá calcular o tempo de chegada do ônibus ao local dada a velocidade média do ônibus (levando em conta as últimas 30 medidas de velocidade) e a distância até o local de parada do ônibus, distância esta calculada pela fórmula de Haversine, que leva em conta uma ligação direta entre dois locais distintos.

O marcador vermelho com um ponto preto indica a posição central do mapa ao ser carregado. Foi escolhida a localização do prédio de Engenharia da UFRGS para ser o centro do mapa. Da mesma maneira que nos pontos de ônibus, ao passar o mouse sobre o marcador verifica-se o nome dado à localização.

5.2.2 Desenvolvimento

Utilizando a interconexão entre as linguagens HTML, PHP, SQL e Javascript foi possível desenvolver a interface.

O HTML justifica-se pelo fato de ser um sistema online e de fácil entendimento e utilização. O PHP pela lógica de programação introduzida por trás do HTML e do gerenciamento do banco de dados. O Javascript pela inserção no site de uma ferramenta de mapa e pela interatividade com o sistema que esta linguagem proporciona.

O Google Maps foi inserido no site pois é uma ferramenta poderosa de localização. Não foram utilizados os recursos em sua plenitude, apenas os recursos básicos de obtenção de latitude e longitude no mapa e de visualização do mesmo.

Existe no Google Maps uma ferramenta que calcula a distância entre dois pontos, levando em conta a disposição das ruas, com suas curvas e elevações. No entanto ela não foi utilizada. Acredita-se que seria a opção ideal, porém não foi possível obter um entendimento aprofundado da ferramenta a tempo de poder inseri-la no sistema.

A solução escolhida foi a utilização da fórmula de Haversine.

5.3 BANCO DE DADOS

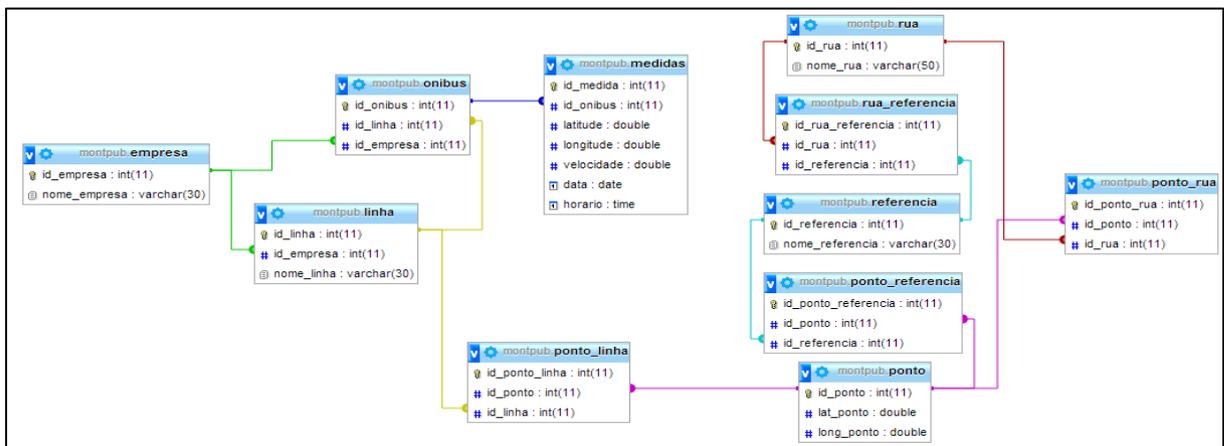
O banco de dados foi criado utilizando SQL (*Structured Query Language*), através da interface web gerenciadora de bancos de dados chamada *phpMyAdmin*, tendo esta também sido utilizada para o modelamento do banco.

Possui as seguintes tabelas: **Empresa, Linha, Ônibus, Ponto, Referência, Rua, Medidas, Ponto_Rua, Ponto_Referência e Rua_Referência.**

Todas as tabelas possuem como chave primária campos iniciados pelo identificador “*id_<nome_da_tabela>*”. A chave primária servirá para a interconexão das tabelas.

O relacionamento entre as tabelas é o que está representado na Figura 34:

Figura 34 - Modelo do banco de dados.



FONTE: AUTOR.

As tabelas *Ponto_Rua*, *Ponto_Referência* e *Rua_Referência* foram feitas para criar um relacionamento interno entre as tabelas Ponto, Rua e Referência.

Na tabela empresa vão os nomes das empresas que fazem o transporte. Cada empresa possui diversos ônibus, e tem sob sua responsabilidade diversas linhas.

Os ônibus, por sua vez, terão diversas medidas (latitude, longitude, velocidade, data e hora das medidas). Cada ônibus é vinculado a uma empresa e também é o meio utilizado para por a linha em funcionamento.

Cada linha possui diversos pontos, onde os usuários entram ou saem dos ônibus. No entanto, diversas linhas podem usar o mesmo ponto. Nota-se então aqui a necessidade de criar um relacionamento íntimo entre estas tabelas, dado por uma tabela intermediária.

Os pontos podem ser localizados de duas maneiras: pela rua ou por uma referência. Um ponto pode ter diversas referências e vice-versa. Mais uma vez se fez necessário criar um relacionamento íntimo entre duas tabelas.

É o mesmo caso do relacionamento entre rua e referência. Uma rua pode ter várias referências e vice-versa. Bem como o relacionamento entre rua e ponto. Uma rua tem vários pontos e vários pontos definem uma rua.

6. IMPLEMENTAÇÃO, TESTES E ANÁLISES

Após o desenvolvimento do script que comanda o kit e da interface com o usuário, iniciou-se a fase de testes em campo. Tentou-se estabelecer o cenário mais próximo da realidade possível, ou seja, executando os testes com um veículo em movimento.

Para a implementação do sistema utilizou-se o kit EVK-G26H, configurado conforme mostram os quadros 6 e 7, conectado a um laptop, e por meio de uma interface serial entre os dois (fornecida pelo software *PuTTY*) foram aplicados os comandos AT necessários para o funcionamento do kit da maneira descrita na sessão 6.1.

Para a alimentação do kit (12 V DC) utilizou-se um arranjo de 6 pilhas tamanho D em série.

Para a aquisição dos dados em uma situação próxima da real, colocou-se os aparelhos descritos no parágrafo anterior em movimento pelas ruas da cidade de Porto Alegre, mais precisamente na Avenida Ipiranga. Os dados serviram como base para os testes realizados na interface web.

As antenas GPS e GSM possuem uma base magnética, proporcionando uma boa fixação na parte externa do carro.

O teste durou cerca de 1 hora. Estabeleceu-se uma rotina de que seriam colhidas amostras durante 5 segundos e então seriam enviadas para o servidor FTP. Terminado o envio, seriam colhidas amostras durante mais 5 segundos.

Ao final do teste obteve-se um saldo de 77 amostras, tendo o sinal de celular caído 3 vezes durante o trajeto.

Quadro 9 - Tempos de cada processo.

Processo	Tempo necessário (aproximado)
Preparação da Memória, GPS e FTP	4 segundos
Conecta GPRS	1 segundo
Conecta FTP	4 segundos
Liga GPS	4 segundos
Aguarda 5 segundos	5 segundos
Desliga GPS	4 segundos
Envia Dados	7 segundos
Estrutura de Decisão	Irrelevante

FONTE: AUTOR

Tem-se então que são necessários cerca de 9 segundos para a inicialização da aquisição. Cada ciclo de aquisição (destacado em azul no Quadro 9) leva em torno de 20 segundos, com um tempo útil, ou seja, de aquisição real, de apenas 5 segundos. Um tempo maior de aquisição é possível, bastando uma reconfiguração no script de controle do módulo.

A lentidão maior ocorre em virtude de o sistema GPRS já estar defasado em relação à Internet móvel mais utilizado hoje em dia, que já está indo para a quarta geração (GPRS está entre a segunda e a terceira).

Utilizou-se um GPS extra para o acompanhamento de pontos específicos do trajeto, com o intuito de cruzar os dados obtidos na hora com os adquiridos. Notou-se uma diferença relativamente grande, conforme mostram os dados do Quadro 10.

Quadro 10 - Comparações entre as distâncias medidas e calculadas.

Trajeto	Distância Real	Distância Calculada	Diferença
Esquina Ipiranga/João Pessoa → Esquina Ipiranga/3ª Perimetral	3,6 km	2,95 km	650 m
Esquina Ipiranga/3ª Perimetral → Esquina Ipiranga/Antonio de Carvalho	3,8 km	3,3 km	500 m
Esquina Ipiranga/3ª Perimetral → Esquina Ipiranga/Barão do Amazonas	4,5 km	3,9 km	600 m

FONTE: AUTOR

Notou-se que a diferença fica sempre em aproximadamente 600 m para pequenas distâncias. Não foi feito um teste para grandes distâncias, porém acredita-se que em um percurso de ônibus não devam ser feitos percursos muito sinuosos e com uma distância pequena entre o ponto de início e o ponto de chegada. Este erro de aproximadamente 15 % é de certa maneira tolerável, dado que a precisão absoluta não era o objetivo inicial do projeto, e sim uma noção do tempo que leva para um ônibus chegar até um determinado ponto, dada a sua localização atual.

7. CONCLUSÕES

O projeto atingiu seus objetivos em parte, pois inicialmente pretendia-se fazer um projeto com um microcontrolador comandando o kit. No entanto a comunicação kit/microcontrolador não foi obtida com sucesso, devido a problemas em encontrar no comércio local os circuitos integrados adequados para tanto. Partiu-se então rumo à comunicação com a porta serial de um computador, visto que era esta a mais viável, dado o andamento do semestre.

Outro ponto que ficou pendente foi não ter sido possível colocar o site em funcionamento, devido a problemas com os servidores web gratuitos no qual foram feitas tentativas de hospedar o site. Apenas a interface FTP dos servidores funcionaram como deveria.

A criação da página, o número de linguagens de programação empregadas (foram 5 – BASIC, SQL, PHP, HTML e Javascript), o desenvolvimento do algoritmo de depuração das mensagens NMEA, e o estudo e entendimento da API do Google Maps tomaram grande parte do tempo utilizado para o desenvolvimento do projeto.

Também foi necessário estudar e entender o funcionamento dos módulos GSM e GPS do kit EVK-G26H.

Foram necessários também estudos das tecnologias GPS e GSM. Assuntos de certa forma novos, afinal nunca foram estudados a fundo durante a graduação. Acredita-se que tenha sido adquirido um conhecimento bastante relevante destas duas tecnologias.

Os resultados obtidos com as aquisições ficaram dentro do esperado, com as mensagens NMEA funcionando de maneira esperada.

A maneira encontrada para se prever o tempo de chegada foi a da fórmula de Haversine. Não é a ideal, dado que esta apenas calcula a distância entre dois pontos, sem

levar em conta a sinuosidade das ruas. Notou-se uma diferença relativamente grande nas distâncias, porém não a ponto de invalidar completamente o método empregado.

O sistema é dependente da rede celular, e, portanto, na ausência desta, apenas armazena os dados em uma memória interna existente no kit.

Acredita-se também que se for utilizado um módulo com Internet móvel mais evoluída o sistema venha a ter ganhos significativos de performance, dada a diferença entre as velocidades dos sistemas 2G e 3G/4G.

Por fim, cita-se algumas melhorias a serem adicionadas ao projeto:

- Inclusão de um microcontrolador para gerenciar os módulos, tornando-os completamente independente de computadores durante a aquisição de dados.
- Novos sensores, como contadores de números de passageiros a bordo e acelerômetros para verificação de solavancos, podem ser incluídos no sistema, proporcionando um monitoramento mais abrangente do estado dos veículos.
- Utilização de funções mais elaboradas para o cálculo da distância entre dois pontos.

REFERÊNCIAS

[1] ELETRÔNICA JEOTECH. **Configurar Internet TIM APN Completo.**

Disponível em:

<<http://www.alocelular.com/categories-4/9--configurar-internet-tim-apn-completo.html>>.

Acesso em 20 de maio de 2013.

[2] FENGER, C.; PETAROS, T.; SUSTERSIC, R.. **The Promising Marriage of Wireless and GPS Technologies.**

Disponível em:

<<http://goo.gl/67m64>>. Acesso em 22 de maio de 2013.

[3] GOOGLE DEVELOPERS. **Google Maps Javascript API V3 Reference.**

Disponível em:

<<http://goo.gl/Exvev>>. Acesso em 01 de junho de 2013.

[4] GPS INFORMATION.ORG. **NMEA Data.**

Disponível em:

<<http://www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm>>. Acesso em 20 de abril de 2013.

[5] MÜLLER, Leonardo. **Cidades brasileiras já usam GPS e conexões 3G para monitorar o sistema de transporte público.**

Disponível em:

<<http://baixa.ki/a23929>>. Acesso em 10 de maio de 2013.

[6] RADIO ELECTRONICS.COM. **What is MSK, Mininum Shift Keying Modulation.**

Disponível em:

<<http://goo.gl/1SznY>>. Acesso em 01 de junho de 2013.

[7] SVERZUT, José Humberto. **Redes GSM, GPRS, EDGE e UMTS.** 3ª Edição. São Paulo: Editora Érica, 2011.

[8] TUTORIAL POINT. **GPRS Architecture.**

Disponível em:

<http://www.tutorialspoint.com/gprs/gprs_architecture.htm>. Acesso em 15 de maio de 2013.

[9] U-BLOX. **GPS Compendium – Essentials of Satellite Navigation.**

Disponível em:

<<http://goo.gl/ZceEk>>. Acesso em 15 de maio de 2013.

[10] U-BLOX. **EVK-G26H – LEON-G200 Quad Band GSM/GPRS Voice and Data Evaluation Kit – Getting Started.**

Disponível em:

< <http://goo.gl/7rkA4> >. Acesso em 20 de abril de 2013.

[11] U-BLOX. **u-blox Wireless Modules, Data and Voice Modules – AT Commands Manual.**

Disponível em:

<<http://goo.gl/9poLN>>. Acesso em 20 de maio de 2013.

[12] U-BLOX. **LEON-G100/LEON-G200 quad-band GSM/GPRS Data and Voice Modules – System Integration Manual.**

Disponível em:

<<http://goo.gl/t7m4E>>. Acesso em 03 de junho de 2013.

[13] W3SCHOOLS. **HTML Tutorial.**

Disponível em:

< <http://www.w3schools.com/html/default.asp> >. Acesso em 22 de maio de 2013.

[14] W3SCHOOLS. **JavaScript Tutorial.**

Disponível em:

< <http://www.w3schools.com/js/default.asp> >. Acesso em 22 de maio de 2013.

[15] W3SCHOOLS. **PHP Tutorial.**

Disponível em:

< <http://www.w3schools.com/php/default.asp>>. Acesso em 22 de maio de 2013.

[16] WIKIPEDIA.ORG. **Latitude and Longitude of the Earth.**

Disponível em:

<<http://goo.gl/c8kre>>. Acesso em 02 de junho de 2013.

[17] WIKIPEDIA.ORG. **Haversine Formula**.

Disponível em:

<http://en.wikipedia.org/wiki/Haversine_formula>. Acesso em 02 de junho de 2013.