

**INSTITUTO FEDERAL DE
SANTA CATARINA**

ALEX WAGNER BROERING

**LOCALIZAÇÃO DE ESTAÇÕES MÓVEIS
PRATICADA SOB GSM E GPS**

SÃO JOSÉ

2010

ALEX WAGNER BROERING

**LOCALIZAÇÃO DE ESTAÇÕES MÓVEIS
PRATICADA SOB GSM E GPS**

Dissertação apresentada como requisito parcial
à obtenção de Graduação Tecnológica em
Sistemas de Telecomunicações, pelo Instituto
Federal de Santa Catarina

Orientador: Prof. André Luiz Alves

São José
2010

TERMO DE APROVAÇÃO

ALEX WAGNER BROERING

“LOCALIZAÇÃO DE ESTAÇÕES MÓVEIS PRATICADA SOB GSM E GPS”

Orientador:

Prof. André Luiz Alves
Instituto Federal de Santa Catarina

Banca examinadora:

Prof. Dr. Evandro Cantú
Instituto Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Mário de Noronha Neto
Instituto Federal de Santa Catarina

São José, Setembro de 2010

Agradecimentos

A Deus, por sempre estar presente em minha vida e me fazer uma pessoa melhor.

Agradecimentos especiais aos meus pais, Maérli e Jaime, pela dedicação, companheirismo constante e confiança, bem como à minha irmã, Mariana.

A coordenação, diretoria a banca examinadora e ao professor André, que confiaram no meu trabalho.

Aos meus amigos Alexandre Benevento, professor do Instituto Militar de Engenharia; Pedro Pereira, da TIM Florianópolis. Ambos foram imprescindíveis para a elaboração dos pontos críticos dessa dissertação de graduação.

“Uma mente que se abre a uma nova ideia
jamais volta ao seu tamanho original”

ALBERT EINSTEIN

Sumário

Capítulo 1

Introdução -----	10
1.1 - Abrangência-----	10
1.2 - Objetivo -----	12

Capítulo 2

Cenário -----	13
---------------	----

Capítulo 3

Características do Canal de Transmissão-----	15
3.1 - Canal de Transmissão-----	15
3.2 Desvanecimento em Larga Escala-----	17
3.3 Desvanecimento em Pequena Escala-----	17
3.4 Desvanecimento por Multipercurso-----	18

Capítulo 4

Sistema Móvel Celular-----	20
----------------------------	----

Capítulo 5

Sistemas de Localização Baseados em Rede-----	25
5.1 - Estrutura da Rede GSM-----	26
5.2 - Cell-ID -----	27
5.3 - AoA -----	30
5.4 - ToA -----	32
5.5 - TDoA -----	33
5.6 - Conclusão Capitular-----	36

Capítulo 6

Sistema Posicionamento Global -----	37
6.1 - Estrutura Sistema -----	38
6.2 - Gerenciamento do Sinal -----	44
6.3 - Complementos do Sistema -----	52
6.4 - Sistema GPS: Visão Geral -----	54

Capítulo 7

Sistema Híbrido -----	56
7.1 – AGPS -----	56
7.2 – O sistema -----	58
7.3 – Composição do sistema -----	60
7.4 – AGPS VS DGPS -----	62
7.5 – Conclusão Capitular-----	63

Capítulo 8

Testes de Campo-----	65
8.1 – Estudo de Caso -----	65

Capítulo 9

Conclusão -----	83
9.1 – Recapitulação -----	83
9.2 – Conclusão Geral -----	84

Referências Bibliográficas -----	87
----------------------------------	----

Lista de Figuras e Tabelas

Figura 2.1- Ilustração do sistema que funde a solução Via Satélite (GPS) com a solução Celular (AGPS) -----	14
Figura 3.1 – Comportamento típico do sinal recebido em ambientes celulares -----	16
Figura 3.2- Ilustração do recebimento de um sinal com multiplicidade de percurso-----	18
Figura 4.1 – Ilustração de uma grande área coberta por uma única célula -----	20
Figura 4.2 – Conjunto de Clusters -----	21
Figura 4.3 – Formato realista de uma célula -----	22
Figura 4.4 – Ilustração de setorização -----	24
Figura 5.1 – Estrutura da rede GSM -----	27
Figura 5.2 – Usuário com móvel em uma célula com coordenadas identificadas -----	28
Figura 5.3 – Ilustração de Cell-ID (a) e Cell-ID Setorizado (b) -----	29
Figura 5.4 – Sistema AoA -----	31
Figura 5.5 – Triangulação com 2 BTSs -----	31
Figura 5.6 – Triangulação de antenas para localização do móvel -----	33
Figura 5.7 – Sistema TDoA -----	34
Figura 6.1 – Satélite GPS em órbita na Terra -----	38
Figura 6.2 – Constelação dos 24 satélites na órbita terrestre -----	39
Figura 6.3 - Mapa Controle terrestre -----	40
Figura 6.4 – Gráfico de satélites GPS operacionais em órbita -----	42
Figura 6.5 – Cobertura GPS no planeta. As cores representam o número de satélites que estavam cobrindo o local no dia 16 de junho de 2010 -----	43
Figura 6.6 - Cobertura GPS no planeta. As cores representam o número de satélites que estavam cobrindo o local no dia 10 de junho de 2010 -----	43
Figura 6.7 – Ilustração de multipercurso no sistema GPS -----	48
Figura 6.8 – Cobertura do sistema WAAS em 06/11/2009 -----	53
Figura 7.1 – O usuário no interior de um edifício recebe, pelo sistema de rádio transmissão celular, os dados equivalentes aos dados enviados pelo satélite --	58
Figura 7.2 – Gráfico demonstra o espaço que o receptor assistido deve fazer a busca da frequência/código (entre os retângulos brancos) comparado com o espaço de busca de um receptor não assistido (área total cinza) -----	59
Figura 7.3 – Componentes principais do AGPS -----	60
Figura 7.4 – Sistema AGPS -----	61
Figura 8.1 – Representação do erro -----	72
Figura 8.2- Gráfico de satélites ativos em órbita. Período: 17 de junho de 2009 a 17 de junho de 2010 -----	82
Tabela 5.1 – Quadro comparativo das técnicas de localização baseadas em rede -----	36
Tabela 7.1 – Quadro comparativo entre AGPS e DGPS -----	63
Tabela 9.1 – Quadro comparativo das tecnologias disponíveis no Brasil -----	86

Resumo

Os sistemas de posicionamento atuais conseguem, em boa parte das vezes, localizar um móvel com boa precisão. Todavia, essa precisão de posicionamento varia de acordo com o ambiente que o móvel se encontra no momento. De acordo com esse ambiente é possível que alguns fenômenos nocivos ocorram aos sinais, gerando a indisponibilidade do serviço. Serão citadas as principais causas desses efeitos. Sendo assim, essa dissertação menciona os fatos que ocorrem na prática e que podem levar um sistema de localização ao erro. Exemplificando de forma direta pontos cruciais das técnicas de localização baseadas na rede GSM, como AoA, TDoA e Cell-ID, aprofundar o conhecimento através de teoria e prática sobre os sistemas GPS e AGPS. Além de determinação dos efeitos do ambiente será determinado quais tecnologias das tecnologias abordadas realmente fazem parte do dia a dia dos usuários brasileiros.

Palavras-chave: GPS, CELL-ID, AGPS, AoA, TDoA

1- Introdução

Técnicas de localização são maneiras utilizadas pelo homem para mapear lugares, detectar o posicionamento de pessoas, documentar locais de achados históricos, realizar construções civis, etc. A localização sempre foi uma variável de grande importância, pois é com ela que sabemos da onde viemos, onde estamos e para onde podemos ir. A posição na superfície terrestre é composta de basicamente 3 dimensões, as quais são referenciadas como Latitude, Longitude e Altitude. Com os sistemas de localização pode-se ainda determinar a posição do móvel no espaço nesse exato instante, ou onde ele estava a três horas atrás, ou até mesmo onde estará daqui 1 dia.

Em suma, com os sistemas de localização, é possível conhecer o posicionamento de qualquer móvel, sendo que esse pode estar presente em carros, caminhões, aviões, animais, pessoas, celulares, equipamentos geodésicos, etc. desde que ele esteja ao alcance de sinais eletromagnéticos provindos de satélites ou de estações terrestres.

1.1 – Abrangência

A rádio localização de estações móveis vem ganhando grande atenção e espaço nos últimos anos, tanto por questões ligadas à segurança quanto questões comerciais. Para se ter uma idéia, em muitos estados do EUA já é obrigatório que a operadora de serviço celular forneça ao centro de atendimento 911 o localização do móvel que está fazendo a ligação. Na União Européia e Japão esse mandatos de uso de localização em ligações de emergência estão entrando em vigor desde 2007, sendo que os requisitos variam em cada país, mas em todos as tecnologias usadas para a localização ainda variam do simples Cell-ID ao GPS. Aqui no Brasil o governo de Minas Gerais entrou com um pedido para que essa tecnologia de localização imediata passe a funcionar no estado. Todavia sempre há o lado da ética que prevê

privacidade às pessoas; privacidade a qual pode ser quebrada com a implementação de um sistema que permita detectar o posicionamento de qualquer pessoa, em qualquer lugar.

Muitas empresas são a favor do monitoramento de funcionários, tanto para suprir a necessidade de acompanhamento de trabalho quanto da própria segurança. Um dos serviços gratuitos disponibilizados pela internet, que já é utilizado por algumas empresas, é o Google Latitude, o qual fornece às pessoas autorizadas o posicionamento de um móvel escolhido. No caso o único pré requisito de funcionamento é apenas a compatibilidade do aparelho com o software e o cadastro dos usuários.

Além da necessidade de segurança e monitoramento, o lazer é um outro grande fator de necessidade. Com a localização é possível que pessoas se encontrem em locais que jamais estiveram, encontrem restaurantes, shoppings, teatros, parques, etc. Dentre algumas tecnologias existentes no Brasil, as principais são o Cell-ID e o GPS, sendo que cada um funciona de uma maneira particular e possuem referências de posicionamento distintas entre si e juntas podem formar a base para o AGPS.

Em suma, inúmeros tipos de aplicações surgem a partir do esquema conceitual de LBS, e podem ser divididas em quatro grandes categorias:

- **Serviços associados à informação:** o servidor poderá oferecer informações bem específicas ao usuário, já que obtém a sua localização. O usuário poderá fazer perguntas do tipo: "Quais os restaurantes mais próximos?" Tais questionamentos poderão ser facilmente respondidos, de acordo com o banco de dados disponível no servidor, ou que a operadora do serviço tenha acesso.
- **Serviços associados à tarifação:** A capacidade de ter uma tarifação personalizada ao usuário. Dependendo do planejamento da operadora do serviço, o usuário pode eventualmente desfrutar de uma taxa-fixa nas

ligações realizadas nas áreas escolhidas, enquanto nas outras áreas poderá dispor de taxas diferenciadas de cobrança.

- **Serviços de emergência:** Chamadas realizadas para centrais de emergência, podendo assim a unidade de emergência localizar a unidade móvel, usando dados enviados pela operadora.
- **Serviços associados ao rastreamento:** Esta categoria contém a maior variedade de serviços que possam ser oferecidos. Entre eles podem ser citados rastreamento de veículos das grandes empresas distribuidoras, embarcações, veículos pessoais, etc., devido ao fato de possibilitar informações sobre a trajetória do veículo.

As técnicas de localização utilizadas para suprir às necessidades acima citadas, podem ser divididas em dois grupos, sendo um deles baseado em terminal móvel, conhecidos como serviços *Handset-Based* e outro baseado em rede, conhecido como serviços *Network-Based*. Há ainda a combinação desses dois tipos de métodos de localização, sendo conhecida como solução híbrida. Esses serviços, usados juntos ou separadamente, são conhecidos como Serviços Baseados em Localização (LBS – *Location Based Services*).

Nessa dissertação vão ser descritas as principais tecnologias que permitem que esses serviços baseados em localização possam ser capazes de dar base a toda demanda desse mercado promissor.

1.2 – Objetivo

Essa dissertação tem como objetivo montar uma base teórica de conhecimento, distinção e aprofundamento dos principais métodos de localização existentes Baseados em Rede e em Terminal. Além disso, levantar dados de abrangência e realização de testes das técnicas de localização na região da grande Florianópolis, analisando quais das tecnologias discutidas na teoria realmente estão

disponíveis e são postas em prática no Brasil, como elas atribuem o posicionamento do móvel, buscando justificativas de possíveis diferenças e se cada técnica atende as perspectivas do ponto de vista de um usuário.

2 – Cenário

Pessoas andam pelas autopistas, estradas, calçadas, trilhas, mar e ar. Falando-se de Localização, para cada local citado há uma característica distinta exigida do sistema que o faz. Mas como criar um sistema que cubra satisfatoriamente pelo menos a maioria dos locais que o ser humano pode estar?

Levantemos então os sistemas que nos abrem as portas e permitem realizar algum tipo de localização: o GPS. Com ele é possível se localizar em qualquer local da Terra com ótima precisão. Com o sistema Celular é possível se localizar e localizar alguém, mas não com boa precisão e tão pouco em todo o globo terrestre. Dentre vários outros fatores que serão explicitados ao decorrer desta dissertação, é evidente que cada um deles possui seus pontos positivos e negativos, mas os dois sistemas trabalhando juntos podem equilibrar diversos desses fatores.

Os satélites GPS emitem sinal de RF continuamente para a terra. De posse de sinais, oriundos de pelo menos três satélites, os receptores GPS efetuam o cálculo de posicionamento. Esse mesmo sinal também é aproveitado para o controle de posicionamento dos satélites GPS, mantendo-s em suas órbitas pelas estações de monitoramento.

Um dos principais problemas do sistema GPS é que, pra seu perfeito funcionamento, o receptor não pode estar em locais fechados (áreas de sombra), pois isso quebra a visada direta com o satélite. Outro problema é causado pelo multipercurso característico de centros urbanos, onde o sinal GPS difrata, refrata e reflete nas paredes de edifícios gerando vários sinais similares que acabam prejudicando a precisão do sistema. Para tentar solucionar esse tipo de problema foi incorporado ao sistema original o sistema LBS, que utiliza parte do sistema de

telefonia celular para efetuar o cálculo de posicionamento e transmitir informações de monitoramento para uma unidade remota, utilizando como meio a Internet, a partir de um sistema de aplicação.

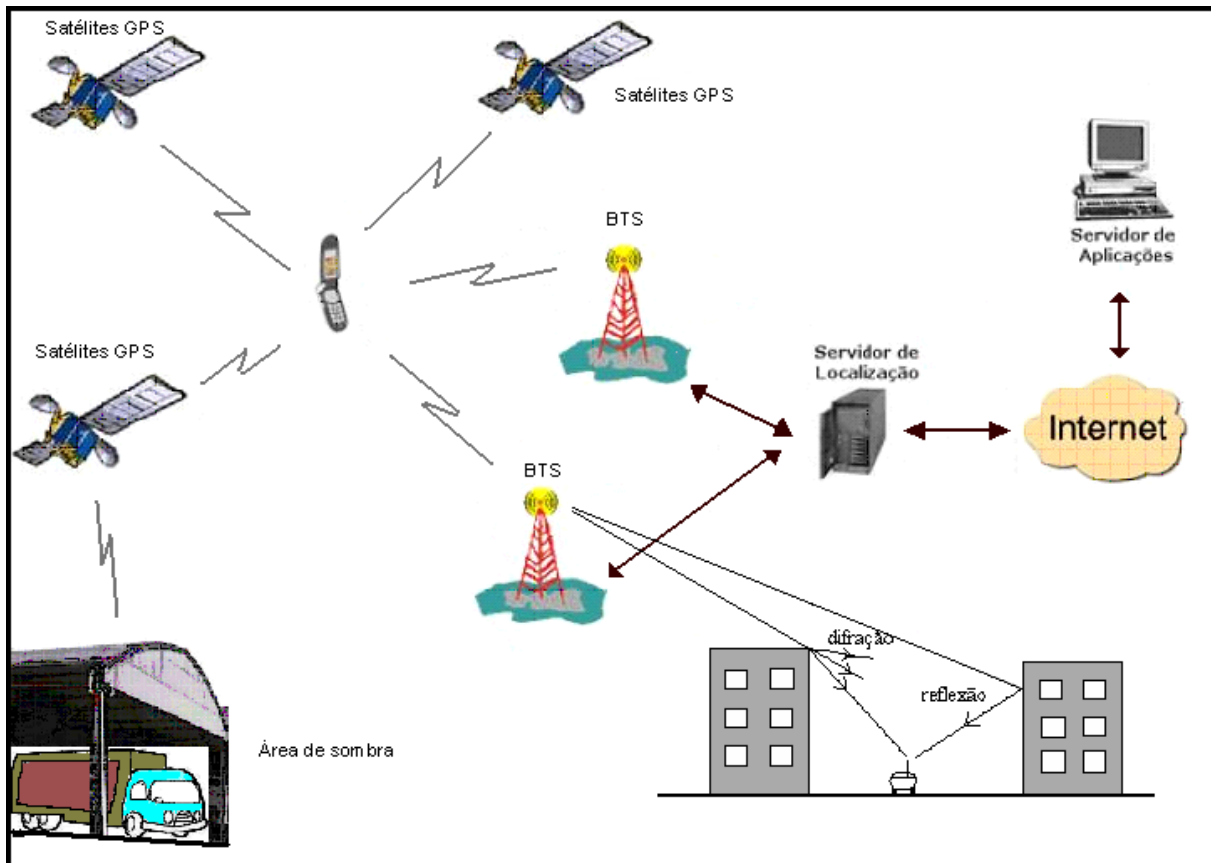


Figura 2.1- Ilustração do sistema que funde a solução Via Satélite (GPS) com a solução Celular (AGPS).

O receptor que possui essa fusão de tecnologias, além de receber o sinal do satélite GPS e das BTSs, também realizará a transmissão do sinal para as BTSs que auxiliarão nos cálculos de posicionamento e integrará o sistema à Internet, repassando os dados a uma base de dados. Parte do sinal transmitido, independentemente do sistema e do emissor de RF, sofrerá perdas em seu caminho, seja por reflexão, difração ou refração. As perdas ocorrerão devido aos obstáculos ou meio onde o receptor estiver localizado. A Figura 3.1 representa a solução para o rastreamento e localização de unidades móveis. A combinação das tecnologias traz grandes benefícios no que diz respeito à localização do receptor móvel.

Para entendermos bem o porquê de cada sistema se complementar precisamos entender como funciona o meio por onde esses sinais trafegam: o Ar. Para isso o próximo capítulo foi desenvolvido visando levantar os principais pontos desse meio de transmissão cada vez mais utilizado.

3 – Características do Canal de Transmissão

Neste capítulo serão apresentados conceitos básicos da rádio propagação em sistemas móveis. Serão apresentados conceitos sobre o canal de propagação e sua nocividade aos sinais que por ele trafegam.

3.1 – Canal de Transmissão

Nos sistemas de comunicação sem-fio, a potência média do sinal recebido diminui ao quadrado com o aumento da distância entre transmissor e receptor. Isso se deve ao espalhamento do sinal nas três dimensões, diferentemente de um condutor metálico onde o sinal fica muito mais concentrado. No caminho que o sinal percorre entre o transmissor e o receptor, o sinal geralmente não se encontra em linha de visada ocorrendo assim o multipercurso.

Para entendermos como funciona o multipercurso é necessário entender os tipos de desvanecimentos que um sinal pode sofrer.

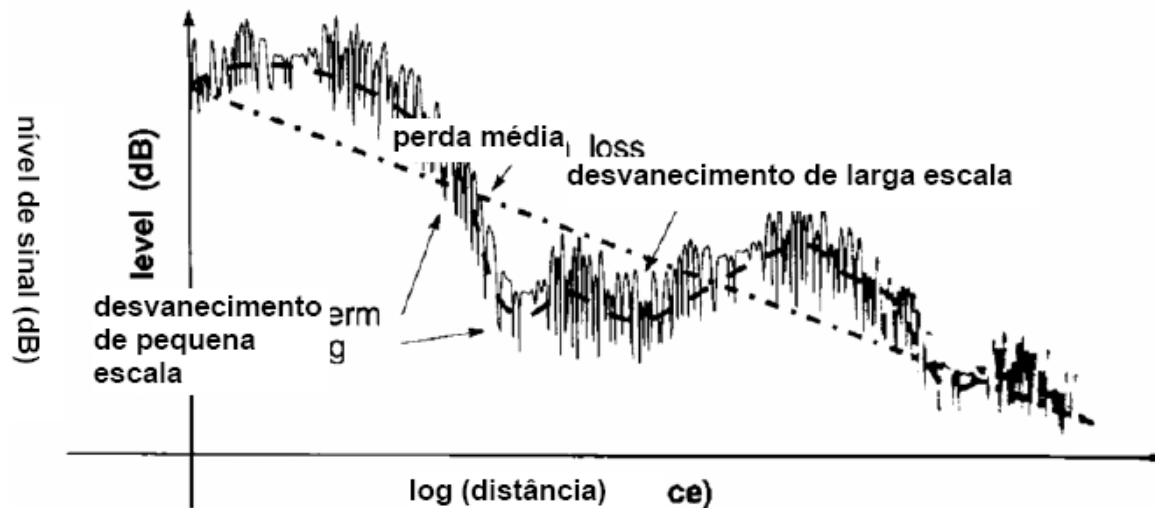


Figura 3.1 – Comportamento típico do sinal recebido em ambientes celulares.

FONTE: COSTA, 2003

[...] As flutuações rápidas do sinal são denominadas desvanecimento em pequena escala, associadas ao multipercurso. À variação mais suave e lenta dá-se a denominação de desvanecimento em larga escala, associada ao sombreamento por obstáculos. Além destes dois comportamentos do sinal há ainda, naturalmente, a tendência de queda do nível segundo algum expoente de atenuação com a distância, que varia conforme o ambiente. (COSTA, 2003)

Observando a Figura 3.1 nota-se 2 tipos de desvanecimentos: o de larga escala e de pequena escala. Cada um deles caracteriza um tipo de situação em sistemas móveis de comunicação.

3.2 - Desvanecimento em Larga Escala:

O desvanecimento em larga escala (desvanecimento longo) está relacionado a características de propagação do sinal e seus efeitos se manifestam ao longo de médias a grandes distâncias, tendo como referência o comprimento de onda do sinal.

Esse tipo de desvanecimento é também conhecido por sombreamento, pois ele está mais relacionado a obstruções naturais (exemplo: relevo e vegetação) e construções (exemplo: casas e edifícios), que fazem com que o móvel fique em uma região de sombra onde o nível de sinal é muito reduzido quando há obstrução. O sinal chega ao receptor basicamente através de difração e espalhamento do sinal.

3.3 - Desvanecimento em Pequena Escala:

O desvanecimento em pequena escala (desvanecimento curto) é causado pelo comportamento aleatório das componentes do sinal que chegam ao receptor, verificado a curtas distâncias ou pequenos intervalos de tempo. Esse comportamento é fruto da multiplicidade de percursos percorridos pelas várias

componentes do sinal (várias frequências), que chegam ao receptor com diferentes amplitudes e defasagens entre si.

3.4 – Desvanecimento por Multipercurso

Sistemas de comunicações móveis fazem com que o sinal resultante recebido seja o resultado das composições de ondas eletromagnéticas que fazem percursos distintos entre o transmissor e receptor através de diferentes modos: reflexão, difração, espalhamento e visada direta.

No ambiente onde a comunicação é realizada, nas áreas mais povoadas, principalmente em grande área urbana, edifícios representam obstáculos nos quais a onda que se propaga pelo meio pode refletir-se ou difratar-se, conforme ilustrado na Figura 3.2.

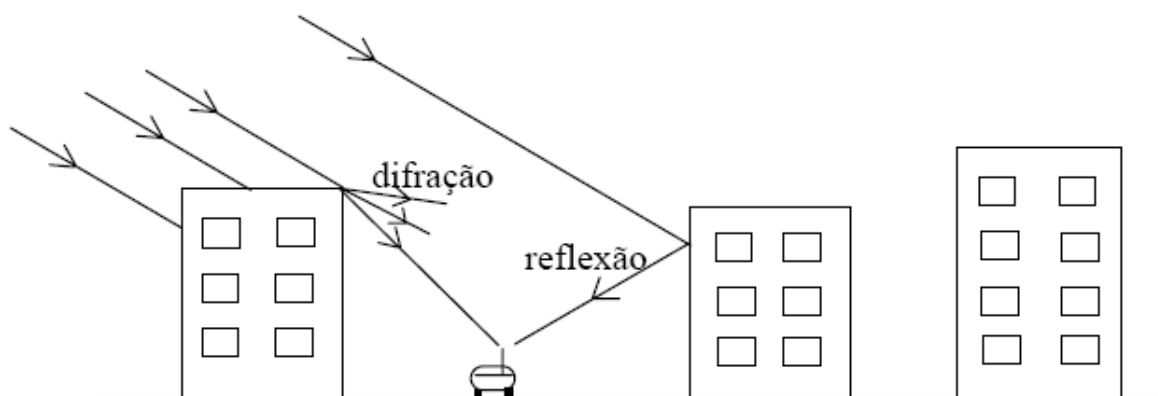


Figura 3.2- Ilustração do recebimento de um sinal com multiplicidade de percurso.

Fonte: COSTA, 2003

Como a unidade móvel está geralmente imersa em um ambiente altamente nocivo à onda propagante (exemplo: movendo-se em um carro entre prédios), ele receberá sinais através dos vários mecanismos de propagação. Influenciados pelo ambiente a cada instante, o móvel estará recebendo uma diferente combinação de ondas propagantes a cada momento.

Agora unindo os fatores distância, espalhamento, desvanecimento curto, longo e por multipercurso já se poder ter uma ideia da complexidade e preocupação com o desenvolvimento das técnicas de transmissão de dados sem-fio.

4- Sistema Móvel Celular

Os primeiros sistemas de rádio móvel consistiam em uma única antena localizada em uma região elevada e operando com uma alta potência de transmissão, cobrindo uma grande área e utilizando todo espectro de frequência, conforme ilustrado na Figura 4.1. Como a comunicação era restrita a uma única torre, o número de usuários também era restrito, só que neste caso, ao número de canais disponíveis, pois uma única célula atende uma grande área, reduzindo sua relação Numero de Canais/Área.

As regiões ficavam geograficamente distantes umas das outras para evitar interferência co-canal, pelo fato de todas as células utilizarem as mesmas frequências. Quando o usuário saía de uma célula para a outra havia um intervalo entre elas, resultando na perda do sinal.

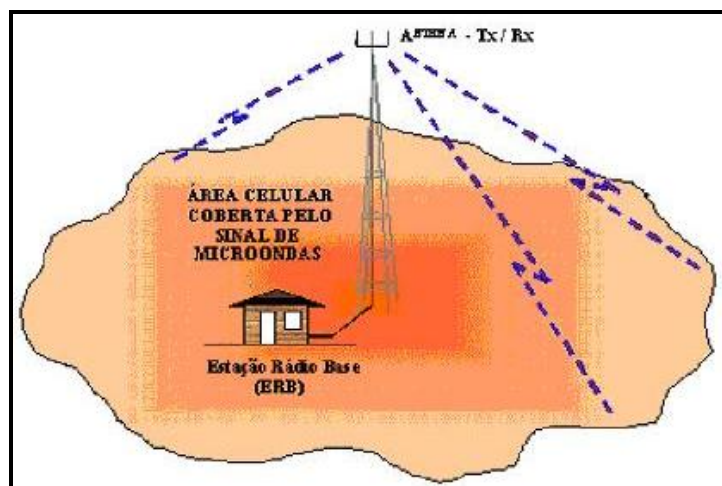


Figura 4.1 – Ilustração de uma grande área coberta por uma única célula.

Fonte: Autor

Exatamente por isso que foi pensado no sistema celular, onde uma grande área poderia ser coberta não por uma, mas diversas antenas. Para isso foi preciso reutilizar as frequências, que acontece da seguinte forma:

Divide-se o espectro disponível em grupos de faixas de frequências. Esses grupos são distribuídos em um cluster (conjunto de células), onde cada célula recebe uma faixa de frequência. Essas mesmas frequências são reutilizadas nas células do cluster adjacente, respeitando uma distância para que não ocorra interferência co-canal, como pode ser visto na Figura 4.2. Resultado dessa estratégia é a maior quantidade de número de canais por célula e, portanto, as células terão mais canais, suportando assim, maior quantidade de tráfego e mais usuários.

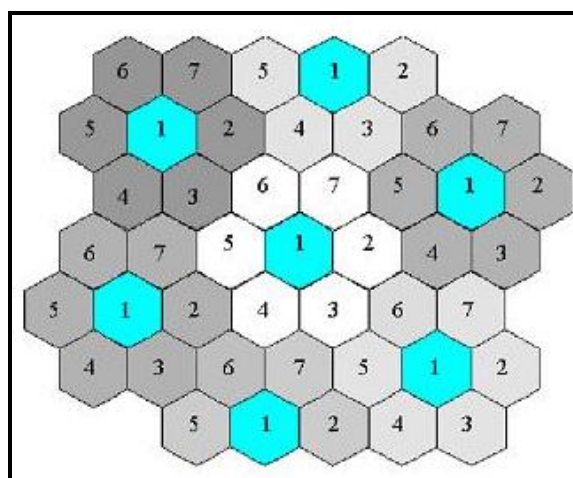


Figura 4.2 – Conjunto de Clusters

FONTE: Autor

Na Figura 4.2 observa-se hexágonos azuis, que são células que marcam o centro de cada Cluster. Cada um dos Clusters utilizam as mesmas frequências (canais) de transmissão, gerando assim o espaço que impede a interferência co-canal entre cada célula uma das células. Na Figura 4.2 cada número existente em cada célula representa um canal distinto, sendo que em cada cluster existem 7 canais.

O sistema celular tem a capacidade de fazer a cobertura sobre toda uma área utilizando transmissores de baixa potência, sendo que, com a técnica de *Randoff* (conhecido também por *Randover*), é possível um móvel se deslocar de uma célula para outra sem ocorrerem perdas na chamada em andamento.

Conceitualmente as células são representadas em forma de um hexágono, conforme visto na Figura 4.2. Sabe-se que na prática isso não é possível, pois como o relevo do ambiente de propagação é acidentado, as áreas das células são disformes, a periferia das células se sobrepõe e adquirem formas irregulares, conforme Figura 4.3.

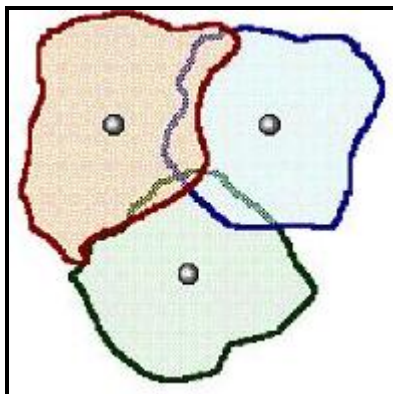


Figura 4.3 – Formato realista de uma célula

Fonte: Rodrigues, 2003

Nessas áreas de sobreposição é verificada uma maior oferta de tráfego, onde a estação móvel pode se comunicar adequadamente com mais de uma BTS. Técnicas alternativas de encaminhamento de tráfego são utilizadas, até mesmo para suprir a necessidade de tráfego em uma área crítica. Dessa forma pode-se tirar proveito dessas imperfeições. As células podem ser omnidirecionais, ou seja, irradiam uniformemente as frequências em toda a região envolta da antena.

Alternativamente, pode-se utilizar a técnica de células setorizadas. Tais setores podem ser dimensionados para 60° ou 120° , sendo que as frequências são subdivididas entre os setores. Essa técnica é utilizada para projetar a morfologia da célula, conforme Figura 4.4.

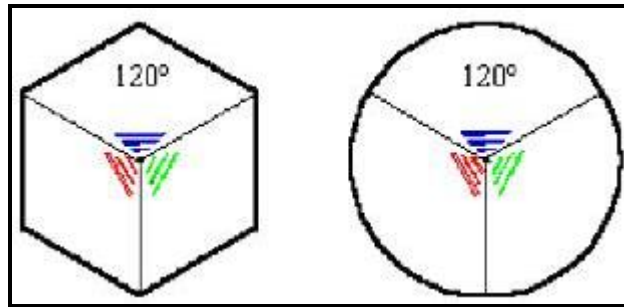


Figura 4.4 – Ilustração de setorização

FONTE: Autor

Agora que relatamos o conceito de células, de sobreposição de células e sua setorização, vamos conhecer, no próximo capítulo, as técnicas mais utilizadas em Sistemas Baseados em Localização, que utilizam explicitamente os conceitos mencionados até agora, e a partir daí montarmos a base para entender os sistemas Baseados em Localização.

5 - Sistemas de Localização Baseados em Rede

Nesse capítulo apresentaremos as técnicas de localização baseadas em rede (*Network-based*) da rede GSM, ou seja, o processamento das informações é feita na rede celular e não no aparelho, o que leva a uma considerável economia de energia e simplificação de hardware do aparelho celular, reduzindo então seu valor agregado. Dentre diversas técnicas utilizadas vamos focar nas 4 principais em relação ao escopo do projeto: Cell-ID (Identificação de Célula), AoA (Ângulo de Chegada), ToA (Tempo de Chegada) e TDoA (Tempo Diferencial de Chegada).

Antes de comentarmos sobre as técnicas usadas na rede GSM é essencial esclarecer a estrutura da rede.

5.1 – Estrutura da rede GSM

A rede celular que se baseia na tecnologia GSM funciona através de uma arquitetura bem definida e espalhada pelo território, como na maioria dos casos de redes sem fio terrestres. Essa rede é composta por diversos elementos, onde os principais são:

- Estações móveis (*Mobile Stations*) – **MS**:

As MS são os usuários da rede, são os aparelhos telefônicos celulares que utilizam a rede GSM. Cada um desses aparelhos possui uma identificação própria chamada IMEI, a qual é única para cada aparelho, permitindo assim sua identificação na rede em qualquer lugar do planeta.

- Subsistema de estações base (*Base Station Sub-system*) – **BSS**:

O BSS faz o controle de todas as interfaces aéreas e o controle de mobilidade dos aparelhos entre as células. É subdividido em: BTSs (*Base*

Tranceptor Station), que são as torres celulares que formam cada uma das células; controlador das estações BTS, a chamada BSC (*Base Station Controller*), que faz o controle das locomoções do aparelho móvel entre as células.

A BSS faz o controle direto do canal de controle, que é por onde trafegam os dados de identificação do móvel e hand-shake com a BTS.

- Centro de chaveamento (*Mobile-service Switching-center*) – **MSC**:

A MSC faz o chaveamento das linhas de terra e parte do controle de mobilidade (quando, por exemplo, um móvel faz *handover* de uma célula controlada por uma BSC para uma célula controlada por outra BSC). É considerado o principal elemento da rede GSM, pois além de fazer todos os chaveamentos e interconexões com outras redes, tarifação de chamadas, etc., faz o processamento e interface direta com outros elementos como HLR e VLR.

- Registradores de localização

(*Home Location Register e Visitor Location Register*) **HLR e VLR**:

Esses itens do sistema GSM são os que registram onde cada MS está localizado, ou no caso do aparelho móvel estar desligado, sabe qual foi a última célula que ele esteve conectado. São diretamente conectadas à MSC, a qual sabe para onde chavear uma chamada para um MS, não necessitando procurar a estação móvel em toda a rede. Devido a esse fato, da HLR ou VLR conhecerem a célula que o aparelho móvel se encontra, é possível conciliar o posicionamento do MS ao posicionamento da BTS que o enlace está feito.

- Registrador de identificação do equipamento (*Equipment Identify Register*) – **EIR**

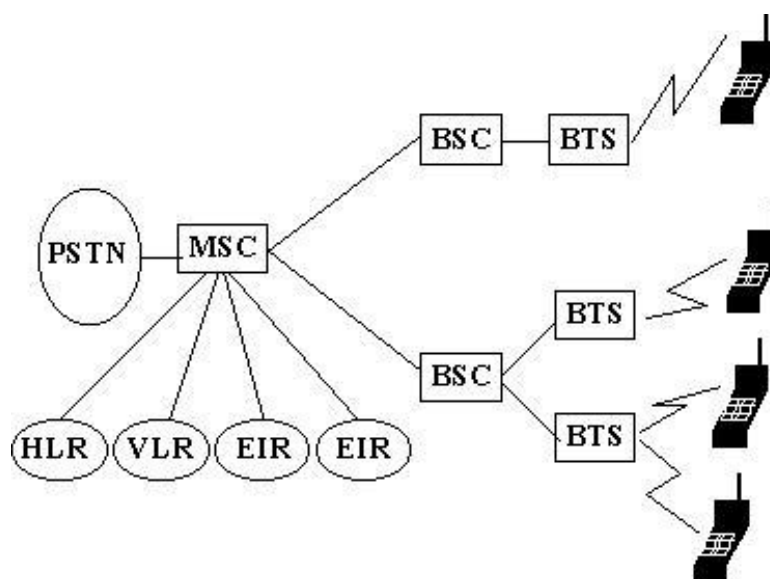


Figura 5.1 – Estrutura da rede GSM

FONTE: teleco.com.br

5.2 – Cell-ID

O método de localização Cell-ID é uma das mais simples e certamente a mais usada no país, pois, dentre outros fatores, necessita de apenas uma célula para localizar o móvel, não sendo necessário a instalação de hardwares adicionais, gerando um baixo custo.

Através dos elementos HLR e/ou VLR, que registram os dados enviados pela BTS que possui enlace com o MS, a rede sempre sabe o posicionamento do móvel. A posição aproximada do terminal móvel é dada pelas coordenadas fixas da BTS (Estação Radio Base, ou BTS do inglês *Base Transmition Station*) com a qual ele está se comunicando no momento. Tal estação, geralmente, é a mais próxima dele, conforme mostra a Figura 5.2.

A informação de localização é associada a quase todos os sistemas de comunicação móvel. Não é necessário mudança no sistema para que o serviço seja fornecido, pois o próprio sistema GSM já exige um canal de controle para saber em qual célula está o móvel, com o intuito de, ao receber uma ligação, o enlace entre o móvel que origina a chama e o móvel que recebe a chama seja feita mais

rapidamente. Não são necessários cálculos de localização, fazendo com que o sistema se torne atraente no ponto de vista de implementação.

Caso o móvel esteja desligado, o seu último posicionamento fica registrado no HLR ou VLR, onde a solicitação de monitoramento pode ser feita a qualquer momento.

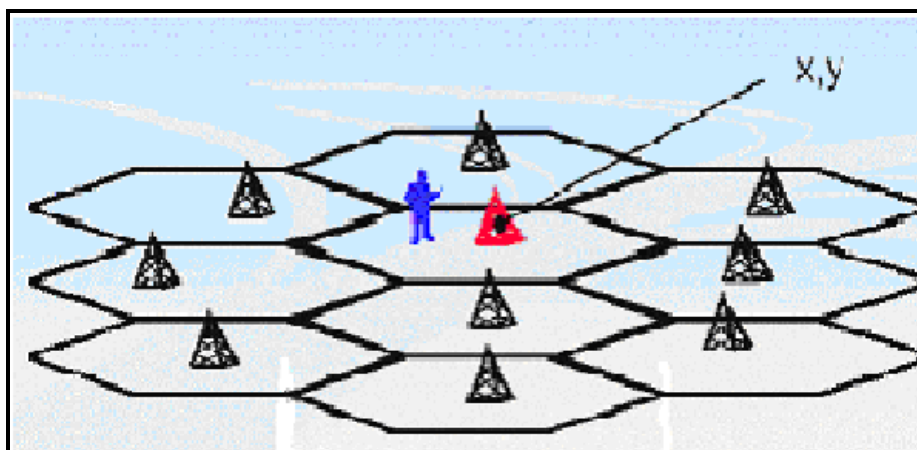


Figura 5.2 – Usuário com móvel em uma célula com coordenadas identificadas

FONTE: Autor

Devido a grande variação do tamanho das células, esse sistema tem como desvantagem a grande variação de precisão, que fica entre 100 metros e 20 Km (para cidades muito populosas, onde as células são pequenas devido a alta densidade, e para regiões rurais, onde as células podem cobrir uma grande área).

Uma variável para o Cell-ID é o chamado Cell-ID Setorizado, onde cada célula pode ser dividida em vários setores, aumentando a precisão do sistema. A Figura 5.3 ilustra a diferença de área na qual o móvel pode estar localizado. No caso ilustrado, a precisão aumentaria em até 4 vezes se comparado com o Cell-ID não setorizado. Em boa parte das BTSs de grandes cidades uma célula pode ser dividida em até 8 setores, aumentando ainda mais a precisão da técnica.

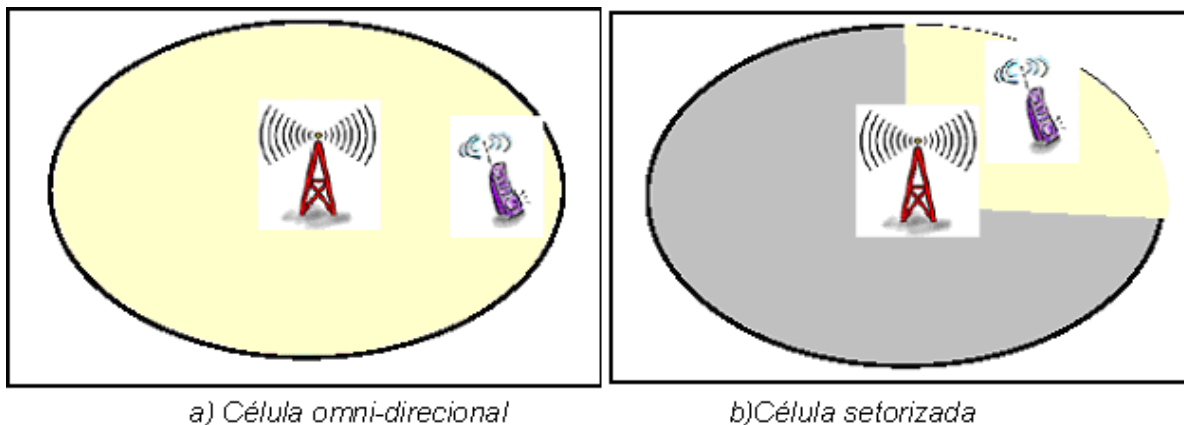


Figura 5.3 – Ilustração de Cell-ID (a) e Cell-ID Setorizado (b).

FONTE: Autor

A identificação de cada célula é feito por um código chamado CGI (*Cell Global Identify*). Abaixo um código real, da cidade de Criciúma:

1	2	3	4	5	6
CRRM	01A	724	04	18548	17092

FONTE: TIM, Florianópolis

Campo 1: Município/Bairro. No exemplo trate-se de Criciúma, Rio Maina

Campo 2: Setor da célula no qual a MS está fazendo enlace

Campo 3: Código do país. No exemplo a BTS é pertencente ao Brasil

Campo 4: Código da região. No exemplo a BTS está no sul do país

Campo 5: Código LAC – Código local de operação

Campo 6: Identificador da célula

Com o código CGI é possível localizar qualquer móvel e saber em qual célula, e até mesmo setor, o MS está. Como a coordenada da BTS é conhecida, o MS pode, através de um software embarcado, fazer uma estimativa do seu posicionamento no globo, podendo até mesmo enviar tais informações para terceiros, através do canal de dados.

Em suma, a técnica Cell-ID não requer investimentos, pois a rede celular já possui intrinsecamente a localização do móvel. Apesar de não oferecer boa precisão, para muitas aplicações relacionadas à segurança e comércio, tais precisões são satisfatoriamente suficientes.

5.3 - AoA

A técnica de localização AoA é uma das mais conhecidas. O cálculo do posicionamento é determinado pelos ângulos dos sinais que chegam às antenas. A localização é definida por um equipamento instalado junto às BTSs que faz o cálculo do posicionamento que é determinado pela variação de fase dos sinais recebidos ao longo de um grupo de antenas. A diferença de fase do sinal entre antenas deste grupo resulta em ângulos recebidos e isso pode ser referenciado em relação a qualquer direção fixa. Tal cálculo resulta em um ponto de interseção dos ângulos de pelo menos duas BTSs. Sendo assim, esse sistema pode prover um melhor resultado e precisão em locais onde a quantidade de células é reduzida. Todavia, a regra do maior número de BTSs envolvidas no cálculo continua resultando em uma maior precisão. A Figura 5.4 ilustra o sistema.

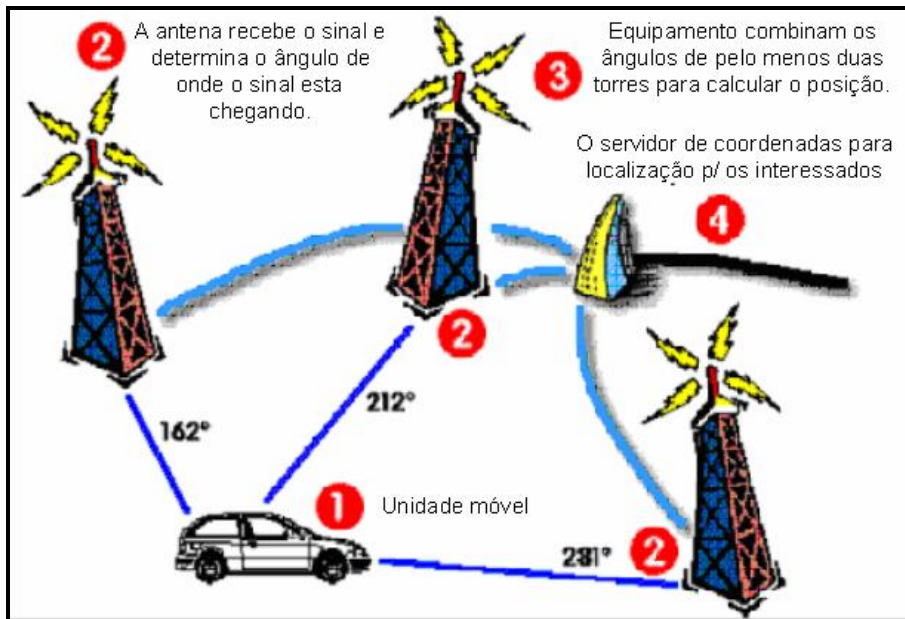


Figura 5.4 – Sistema AoA

Fonte: Kuhnen, 2003

A maneira utilizada para calcular a posição do usuário é simples e utiliza a lei dos senos da trigonometria calculando a posição por triangulação. Na Figura 5.5, conhecem-se as posições fixas das antenas que recebem o sinal proveniente do aparelho móvel. A distância "D" entre as duas BTSs é conhecida, assim pode-se determinar localização do móvel.

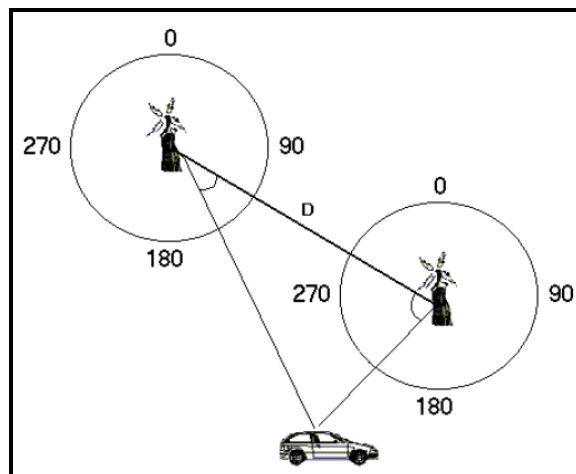


Figura 5.5 – Triangulação com 2 BTSs

Embora o princípio básico do método AoA pareça simples, ele tem algumas desvantagens. O método só terá uma medição precisa se tiver em visada direta com a estação rádio base, o que é muito improvável numa rede celular urbana,

além de exigir a instalação do equipamento específico em cada BTS, para que os cálculos sejam realizados, gerando um custo relativamente alto de implementação.

5.4 - ToA

O ToA (*Time of Arrival* ou Tempo de Chegada) é uma tecnologia bem conhecida e usada para determinar a localização de terminais móveis.

Baseando-se na velocidade da luz e conhecendo o tempo de processamento do móvel e da BTS, o tempo gasto por um sinal no caminho entre a estação rádio base e o móvel pode ser calculado e, com isso, a distância entre esses elementos da rede.

A BTS envia o sinal ao móvel, esse sinal é respondido pelo móvel para a BTS a qual calcula o tempo entre o envio da solicitação e o recebimento da resposta do móvel. Um dos problemas desse sistema é que ele precisa ser realizado em pelo menos três BTSs para que a posição do móvel possa ser definida, conforme ilustra a Figura 5.6.

[...] Assim, teoricamente, num ambiente com total visibilidade entre a estação rádio base e a estação móvel, pode-se assumir que a metade do intervalo de tempo gasto no trajeto multiplicada pela velocidade em que o sinal se propaga no meio (velocidade da luz) fornecerá a distância em que o móvel se encontra da estação rádio base. Colhendo similares medidas de outras duas estações rádio base, a estimativa da localização pode ser extraída por uma triangulação. (ZAMPIER, 2003)

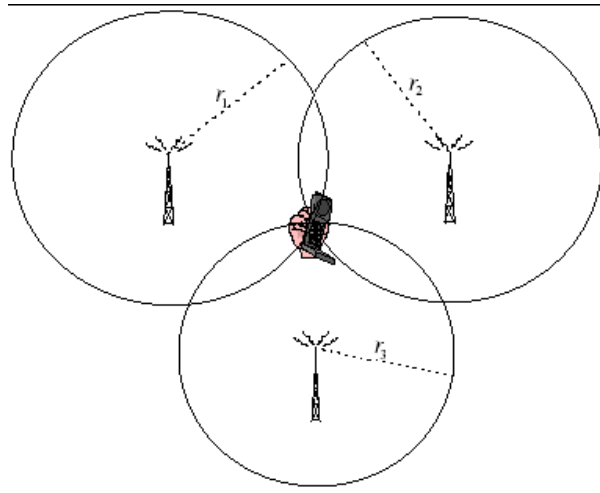


Figura 5.6 – Triangulação de antenas para localização do móvel

Essa técnica possui como desvantagem uma queda na precisão conforme a linha de visada entre o móvel e a BTS se desfaz, pois com o aumento da obstrução, o desvanecimento por multipercurso se acentua, fazendo com que o sinal demore um tempo maior que o normal para chegar até o destino, gerando erro de cálculo. Para aumentar a precisão é necessário aumentar o número de BTSs envolvidas nos cálculos de distâncias, algo que foge da prática, pois não é comum termos mais de 3 BTSs cobrindo um mesmo local.

Assim como o AoA é necessário a instalação de hardwares extras para a realização dos cálculos de cada posicionamento, aumentando a relação custo/benefício.

Outra desvantagem é a necessidade de conhecer o tempo exato em que o móvel respondeu à solicitação, mas tal desvantagem será coberta fazendo-se a diferenciação do tempo (TDoA).

5.5 – TDoA

O TDoA (*Time Difference of Arrival* ou Tempo Diferencial de Chegada) é também conhecido como triangulação de antenas. Esse método faz o uso da diferença de tempo dos sinais de rádio emitidos pelo aparelho móvel às BTSs.

É necessário no mínimo três BTSs para fazer a localização. Essa tecnologia tem relativa vantagem de não ter a necessidade de conhecer o exato instante em que a estação móvel respondeu a solicitação, já o método ToA necessita conhecer tal tempo para poder determinar a localização.

O método calcula a diferença entre o tempo exato que o sinal do aparelho móvel leva para alcançar três ou mais BTS, conforme Figura 5.7.

[...] Como a onda de rádio do celular viaja a uma taxa fixa e conhecida, a velocidade da luz, calcula-se o tempo de chegada do sinal para a primeira torre e se encontra a circunferência onde o usuário pode estar. A medição do tempo de chegada a uma segunda torre tem como resultado uma área de interseção entre as circunferências da primeira e da segunda torre, cujo limite corresponde ao conjunto de possíveis pontos que o usuário pode estar. O tempo de chegada do sinal a uma terceira torre indicará em qual dos pontos deste limite onde o mesmo se encontra.
(OLIVEIRA, 2003)

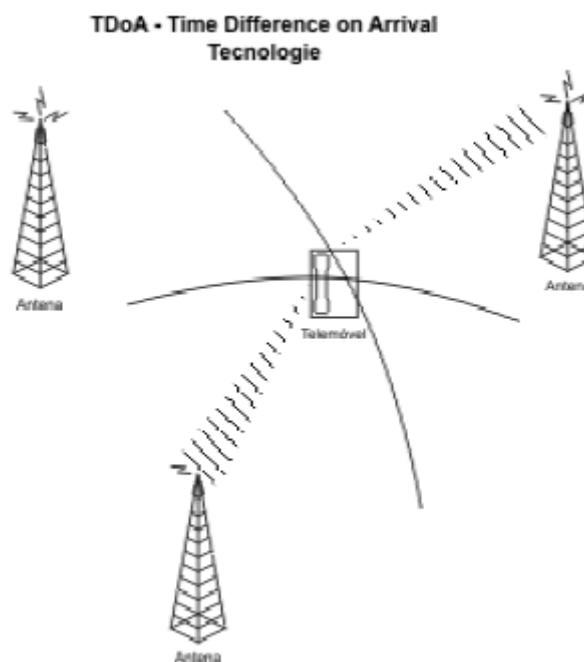


Figura 5.7 – Sistema TDoA

Quando utilizando 4 antenas o TDoA mede o tempo de diferença de chegada do sinal em duas antenas e simultaneamente nas outras duas antenas. O processo de triangulação entre as 4 antenas da Figura 5.7 é enviado à central de processamento, o qual deriva os tempos e gera a localização do móvel.

Um requisito importante do sistema é a necessidade de existir uma sincronização entre as BTSs, pois a transmissão originária do telefone móvel é detectada em diversas estações base, portanto deve existir uma relação de tempo entre o relógio do receptor e as estações base. Caso a sincronização não exista o sistema será falho.

Em resumo, esta técnica consiste em achar o tempo exato em um maior número de células possível e com isso realizar uma espécie de média (diferenciação) entre os tempos, se aproximando mais do posicionamento correto do móvel. A técnica pode ser dividida nos seguintes passos:

1. Estação móvel necessita ter acesso ao LBS;
2. Pelo menos 3 BTSs detectam o móvel;
3. Estando cada uma das BTSs sincronizadas entre si, cada uma delas recebe o sinal do móvel;
4. O TDoA é determinado pelo cruzamento das informações coletadas pelas BTSs;
5. Os valores de distância são então originados em medidas diferenciais, que serão calculadas por equações que resultarão no posicionamento.

5.6 – Conclusão capitular

Nesse capítulo foram vistas algumas das técnicas de localização de sistemas baseados em rede (*Network-based*) da rede GSM, apresentando alguns pontos fracos e fortes de cada sistema.

Conclui-se que os sistemas baseados em rede podem ser muito bem aproveitados em aplicações que necessitem apenas conhecer o posicionamento aproximado do móvel. Dentre as técnicas vistas nesse capítulo o Cell-ID, apesar de mais simples, pode ser uma técnica de baixo custo, sendo utilizado por empresas de telefonia para localizar clientes. Um exemplo dessa localização é feita pela Vivo através do serviço “Vivo Localiza” que fornece um posicionamento aproximado do móvel se baseando no Cell-ID da BTS que o móvel está com enlace estabelecido. A utilização da técnica Cell-ID deve-se ao alto custo de implementação dos outros sistemas citados combinado com a fragilidade de cada um deles quando utilizados no principal mercado que é voltado aos centros urbanos.

Apesar de fornecer localização, a precisão dos sistemas baseados em rede não é suficiente para grande parte das aplicações. Para obter ganho de precisão é necessário utilizar outros pontos de referência mais precisos, e isso pode ser alcançado utilizando o sistema GPS, discutido no próximo capítulo.

Comparativo	CELL-ID	AoA	ToA	TDoA
Referência	1 BTS	2 BTSs ou mais	3 BTSs ou mais	3 BTSs ou mais
Precisão urbana	Baixa	Baixa	Baixa/Média	Média
Precisão rural	Muito Baixo	Média	Média	Média/Alta
Custo/benefício	Baixo	Média	Alto	Alto
Custo implementação	Muito Baixo	Alto	Alto	Muito Alto
Indoor	Não Compromete	Compromete muito	Compromete muito	Compromete muito

Tabela 5.1 – Quadro comparativo das técnicas de localização baseadas em rede

FONTE: Autor

6 – Sistema de Posicionamento Global

O sistema GPS, que a princípio foi criado para fins militares, logo foi expandido para o uso civil. Sem a cobrança de taxas ou qualquer outro tipo de ônus, com a possibilidade de localização sobre qualquer condição climática em qualquer lugar do globo terrestre, 24 horas por dia. Seu uso, como era de se esperar, logo se tornou popular. À medida que as tecnologias foram evoluindo, tamanho de processadores tornando-se super-compactos levaram a diminuição das dimensões dos receptores GPS. Unindo esses fatores à ampla integração do sistema em carros, barcos, aviões e outros tipos de equipamentos proporcionam a redução do custo do equipamento e sua larga aceitação pela população mundial.

O GNSS (*Global Navigation Satellite System*) é o sistema de navegação global que usa satélites como referência para o posicionamento geodésico. O GNSS possui 4 sistemas globais, cada um deles com suas particularidades e nacionalidade. São eles: GPS (EUA), GLONASS (Rússia), Galileo (Europa) e o Compass (China). Além desses sistemas globais existem os de posicionamento regional, como o QZSS (Japão), IRNSS (Índia) e o SBAS (EUA, Europa, Japão e Índia). Nessa dissertação vamos focar apenas no GPS, que é o único sistema realmente estável e funcional a mais de 19 anos. O sistema russo (GLONASS), que ainda está em nível de desenvolvimento mais avançado, ainda possui dificuldades em manter uma constelação mínima de satélites funcionais, gerando alta intermitência.

O GPS surgiu de dois projetos: o TIMATION (*Time Navigation*) da marinha americana e o 612B da força aérea. Tendo os dois projetos em mãos o Departamento de Defesa dos Estados Unidos, em 1973 os fundiu em um só, dando origem ao denominado NAVSTAR/GPS. O *Navegation Satellite with Time and Ranging* ou *Global Position System* foi um sistema criado para aplicação bélica, tinha o intuito de medir a velocidade de um objeto na Terra, bem como seu posicionamento exato e instantâneo, sendo que para isso é necessário um receptor

que interpretará as mensagens enviadas pelos satélites em órbita, os quais o móvel tomará como referência.

6.1 – Estrutura do Sistema

O sistema GPS é composto de três elementos: espaço, controle e usuário. O elemento espaço teve seu início com o lançamento do primeiro satélite em 1968, sendo que sua constelação de 24 satélites (Figura 6.2) foi concluída em 1984, mas hoje a constelação é formada por 31 satélites, sendo que na maioria das vezes alguns estão desativados. Cada um desses satélites possui potência de transmissão em torno de 27 *watts*, pesando 900 Kg com 5 metros de extensão, a mais de 20mil quilômetros da superfície da Terra transmitindo sinais de aproximadamente 1,5 GHz. O satélite tem uma vida útil de aproximadamente 10 anos, quando são substituídos por novos. A Figura 6.1 apresenta a imagem de um satélite GPS no espaço.



Figura 6.1 – Satélite GPS em órbita na Terra

FONTE: Desconhecida

Os satélites giram em torno da Terra a uma velocidade de aproximadamente 11000 Km/h (3 km/s), utilizando energia solar e um banco de bateria para os

intervalos de tempo quando a sombra terrestre ou lunar bloqueiam os raios solares. Com o auxílio de pequenos foguetes que corrigem a sua direção e posição quando necessário, o satélite repete o mesmo caminho e se encontra no mesmo ponto que estava a 11 horas e 56 minutos atrás.

O sistema de satélites foi distribuído de uma forma que o receptor GPS visualize o maior número possível de satélites (podendo chegar a 13). Para efetuar o cálculo de localização eles são distribuídos em 6 órbitas com 4 satélites igualmente separados em 60 graus lateralmente e inclinados 55 graus em relação à linha do equador.

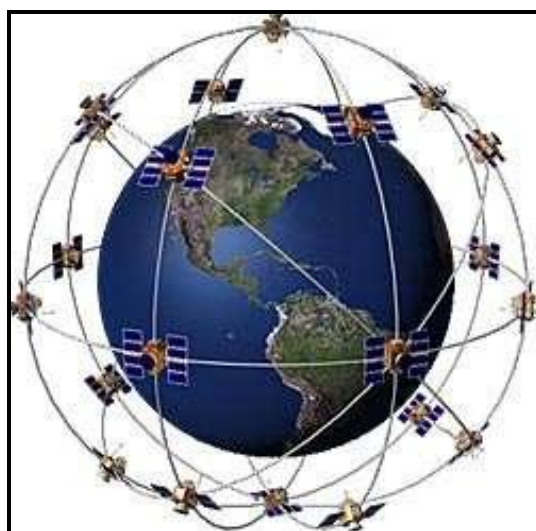


Figura 6.2 – Constelação dos 24 satélites na órbita terrestre

FONTE: Desconhecida

O elemento controle é composto por 5 estações: a estação mestra chamada de GPS *Master Control Station*, localizada na base da Força Aérea Americana, Colorado. Há mais estações espalhadas em torno da Terra (Havaí, Nova Zelândia, Índia e no meio do Oceano Atlântico) e algumas antenas de solo.

O segmento controle tem a função de gerar o tempo GPS e as efemérides dos satélites. É também responsável pelo gerenciamento dos satélites atualizando periodicamente as informações que são transmitidas a cada um, como efemérides,

status, dados de relógio e almanaque. A Figura 6.3 apresenta a distribuição dos elementos de controle na Terra.



Figura 6.3 - Mapa Controle terrestre

FONTE: Monteiro

[...] As estações de monitoramento trilham todos os satélites GPS visíveis e coletam informações sobre a distância das transmissões de rádio feitas pelo satélite. As estações de monitoramento enviam as informações coletadas de cada um dos satélites de volta para a estação de controle mestre, que calcula com extrema precisão a órbita dos satélites. As informações são então formatadas e enviadas como mensagens de navegação atualizadas para cada um dos satélites. As mensagens de navegação atualizadas são enviadas para cada satélite através das antenas de solo, que ainda transmitem e recebem o controle do satélite e sinais de monitoramento. (MONTEIRO, 2003)

E por último, e talvez o mais perceptível dos elementos, está o usuário. O elemento usuário é o receptor móvel GPS propriamente dito. Existem receptores de diversos fabricantes disponíveis no mercado, desde os portáteis que custam pouco mais de 100 dólares, até os sofisticados computadores de bordo de aviões e navios, passando pelos que equipam muitos carros modernos. Além de receber e decodificar os sinais dos satélites, os receptores são verdadeiros computadores que

permitem várias opções de referências, sistemas de medidas, sistemas de coordenadas, armazenagem de dados, troca de dados com outro receptor ou com um computador, etc. Uma pequena tela de cristal líquido e algumas teclas permitem a interação receptor/usuário.

O receptor GPS baseia-se no tempo que o sinal emitido pelo satélite em visada direta leva para chegar a ele. Obtendo o tempo de chegada do sinal é feito o cálculo de multiplicação de cada tempo pela velocidade da luz (juntamente com as devidas correções necessárias para a estimativa), resultando em distâncias, cada uma referente a um satélite e, através da Lei de Cosine, método similar à triangulação, converte em estimativas de posição, velocidade e tempo, obtendo todos os dados necessários.

Como já é sabido, quanto maior o número de satélites que um receptor GPS conseguir fazer suas referências, maior será sua precisão. Assim como todo sistema, o GPS possui períodos de indisponibilidade, no qual alguns satélites ficam inoperantes por um determinado tempo, podendo gerar pequenos erros de cálculo. Esse tempo pode variar de alguns minutos há vários meses, como ocorreu em 25 de Setembro de 2002, quando o satélite PRN21 ficou indisponível permaneceu assim até o dia 28 de Janeiro de 2003. Essa indisponibilidade recebeu a classificação UNUSUFN, o que caracteriza uma indisponibilidade não programada e sem previsão de retorno.

Como mostra o gráfico da Figura 6.4, dos 31 satélites em órbita no planeta, são poucas as vezes que todos estão funcionando simultaneamente.

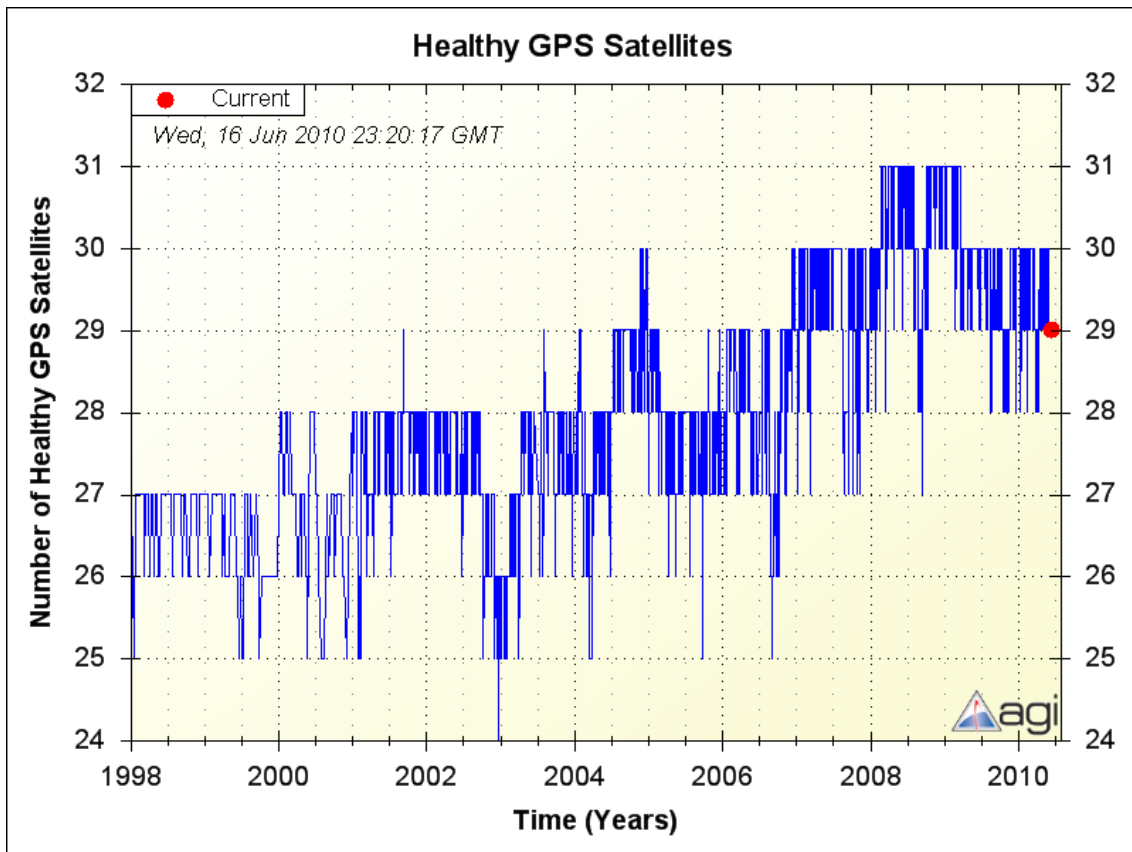


Figura 6.4 – Gráfico de satélites GPS operacionais em órbita

FONTE: U.S. Department of Homeland Security

Para se ter uma idéia, em março de 2009 aconteceu o último período onde todos os 31 satélites da constelação estavam operando simultaneamente. Em 24 de março de 2009 o PRN1 foi desativado sem previsão de retorno e continua assim até o mês de junho de 2010, onde até então não havia previsão de retorno. Durante esse meio tempo alguns satélites foram desativados e ativados, mostrando a variação que acontece no sistema, variação que pode trazer imprecisões inesperadas e até mesmo, raramente, intermitência do sistema.

As Figuras 6.5 e 6.6 ilustram a cobertura dos satélites GPS no mundo em dois dias distintos, percebendo-se a variação de precisão em diferentes regiões do planeta, conforme o dia.

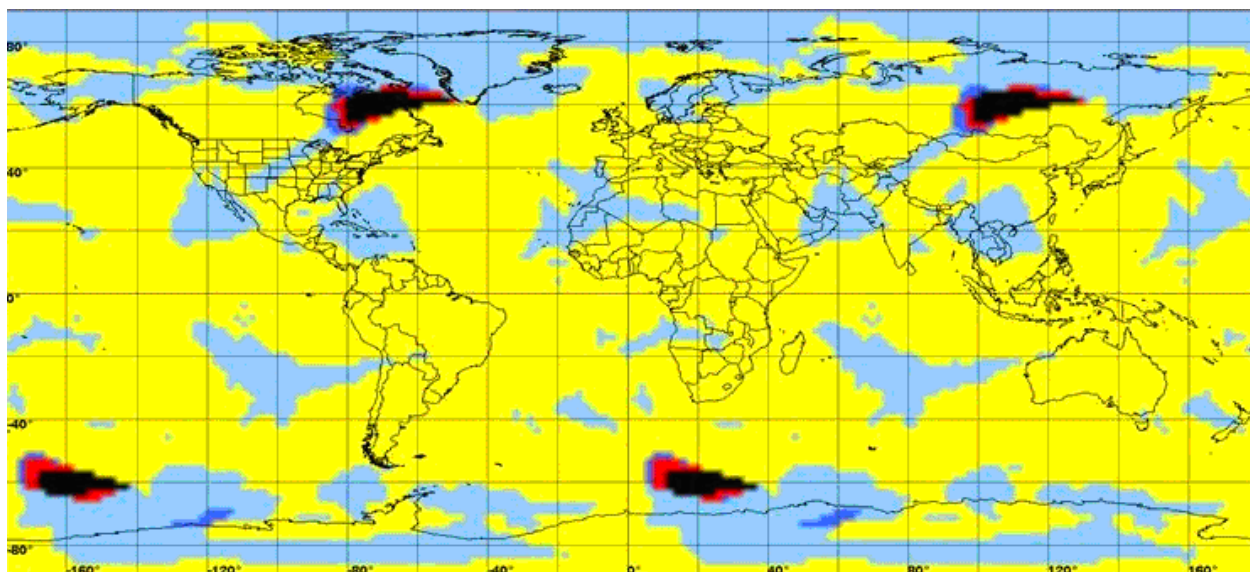


Figura 6.5 – Cobertura GPS no planeta. As cores representam o número de satélites que estavam cobrindo o local no dia 16 de junho de 2010.

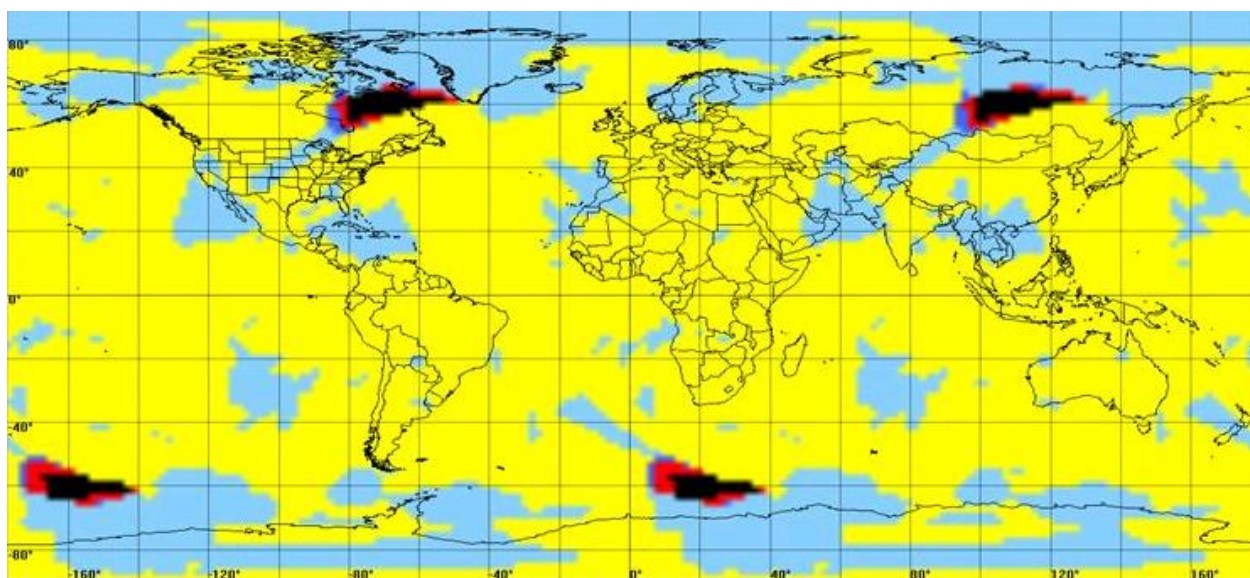


Figura 6.6 - Cobertura GPS no planeta. As cores representam o número de satélites que estavam cobrindo o local no dia 10 de junho de 2010.

FONTE: United States Air Force Space Command

Comparando as duas imagens é nítida a diferença de cobertura em várias regiões do planeta, alguns locais com mais de 12 satélites de cobertura e a maior parte possuindo entre 2 e 4 satélites de visibilidade.

Observa-se, também, a variação de cobertura entre os dias. Cada imagem foi produzida de acordo com a cobertura no período de 00:00 até 23:59 de cada dia.

A comparação feita sobre as Figuras 6.5 e 6.6, com 6 dias de intervalo, são mais representativas que ao comparar imagens de dois dias seguidos, pois tais diferenças de cobertura devem-se aos erros de efemérides que aumentam conforme o passar do tempo.

Quando 3 satélites estiverem disponíveis, o receptor pode determinar uma posição em 2 dimensões (Latitude x Longitude), se 4 ou mais satélites estiverem disponíveis será possível determinar uma posição em 3 dimensões (Latitude x Longitude x Altitude).

6.2 - Gerenciamento do sinal

Preocupados com o mau uso do equipamento, os militares americanos desenvolveram dois tipos de precisão: usuários autorizados (militares) e usuários não autorizados (civis). Para os usuários não autorizados havia degradações propositalis no sinal, induzindo o sistema ao erro de cálculo. Usuários autorizados utilizam o PPS (*Precise Positioning Service*), através de receptores especiais, chaves e criptografia. Os usuários não autorizados utilizavam o SPS (*Standard Positioning Service*). O uso desse sistema com degradações no sinal deixou de ser usado a partir de Maio de 2000. Ainda existe a técnica SD (*Selective Denial*) que consiste em bloquear todo o sinal GPS em uma determinada região, instalando transmissores de interferência no local.

As informações enviadas pelos satélites GPS para os receptores são feitas através de ondas portadoras composta por dois sinais de rádio microondas de baixa potência L1 (1575,42 MHz) e L2 (1227,60 MHz). Tais sinais são derivados da frequência fundamental f_0 , de 10,23MHz. O sinal viaja até a Terra e estará

disponível em qualquer lugar, desde que não tenha que atravessar obstáculos, como por exemplo água e paredes.

Para fazer o gerenciamento do sinal é inserido nele alguns códigos, entre eles faz parte os três bits de informação que são modulados em fase com a portadora (para auxiliar na precisão do relógio): código de precisão (P), código geral CA (do inglês *Coarse/Acquisition Code*) e informação de *status* (Almanaque, lista do posicionamento de cada satélite). Os dados do Almanaque contêm informações de status do satélite, se está operacional ou não, hora, dia, mês e ano e logicamente o posicionamento de outros satélites em relação a ele.

Nesse documento vamos nos manter focados nas frequências utilizadas pelos usuários comuns, os quais correspondem a 99% dos aparelhos GPS no mundo. Esses 99% de equipamentos utilizam apenas a frequência L1 e o código C/A.

Cada satélite possui um código C/A único, com o qual os receptores conseguem distinguir cada um dos satélites. O código C/A também é conhecido como código PRN, por ter características de um pseudo ruído (PRN – *Pseudorandom Noise*). O código PRN possui uma taxa de 1023kbps, sendo repetido a cada 1 milissegundo. Junto com o código PRN são transmitidos os dados de Almanaque e efemérides, esses numa baixa taxa de 50bps. Cada satélite envia seus dados únicos modulados em BPSK, a uma determinada frequência.

O código P é um código mais complexo que era reconhecido apenas pelos receptores autorizados através do valor de comparação que está em sua memória. Essa limitação está em desuso desde o ano 2000. É nesse ponto onde a imprecisão dos receptores não autorizados era inserida. O cálculo era efetuado através da medida dos lapsos de tempo entre a recepção dos sinais codificados em PRN, sendo que o segmento Controle de Terra introduz uma interferência deliberada SA (*Selective Availability*) fazendo com que alguns satélites enviassem o PRN ligeiramente antecipado ou adiantado, sendo o valor do erro alterado aleatoriamente.

O sistema GPS está sujeito a erros aleatórios, sistemáticos e grosseiros, porém todo este cenário foi contornado através do conhecimento dos erros envolvidos e aplicando-se técnicas para minimizar seus efeitos. Destacam-se como fatores que influenciam na precisão: atraso na ionosfera e na troposfera, sinal com múltiplos caminhos, relógio do receptor, efemérides, almanaque, geometria dos satélites e efeito Doppler.

Quando o sinal emitido pelo satélite passa pela atmosfera o mesmo percorrerá uma trajetória curva, proveniente das sucessivas refrações provocadas pela variação de densidade da atmosfera, o que causa um atraso no sinal. A atmosfera é composta pela ionosfera e a troposfera, sendo que a ionosfera é um meio dispersivo, por tanto a refração depende da frequência do sinal. Para evitar este erro os receptores autorizados utilizam o código P enviado em duas frequências distintas L1 e L2 (usado apenas por receptores especiais), onde a diferença de atrasos entre L1 e L2 corresponde ao valor do erro. Apesar das correções, há situações imprevisíveis que podem ocorrer na atmosfera, como nos meses de novembro e dezembro de 2003, quando a atmosfera sofreu com as explosões solares, aumentando significativamente a densidade eletrônica da ionosfera. Salvo eventos esporádicos como este, é possível corrigir boa parte da interferência ionosférica.

Já para o erro provocado pela troposfera, cujo meio é não-dispersivo a refração independe da frequência. Seu erro possui uma grandeza inferior ao da ionosfera mas é corrigido através de uma média de atrasos, a qual é embutida como parte dos coeficientes do polinômio do relógio atômico na fase de testes de calibração do satélite e enviada ao receptor móvel em Terra, para correção.

O sinal proveniente do satélite é emitido com uma potência de 17W e percorre todo o trajeto até o receptor móvel em terra. O caminho é tão nocivo ao sinal que ele chega ao receptor com uma potência de apenas -129dBm, o que equivale à 100 *attowatts* ($10E-18$ W), isso levado-se em consideração um ambiente *outdoor*. Em ambientes *indoor* esse valor pode cair até mil vezes, o que

leva a um nível de potência extremamente baixo, tornando impraticável o sistema. Mesmo em alguns ambientes *indoor* o navegador GPS ainda pode realizar os cálculos de posicionamento, como será descrito no capítulo de testes.

A geometria dos satélites deve sempre ser considerada, pois quanto mais distantes estiverem um do outro, maior será a qualidade de referência obtida. Várias vezes ocorrem aglomerações de satélites, bem como alinhamentos entre eles, o que pode provocar queda de precisão mesmo em situações ideais na superfície.

Sinais multi percurso são provenientes das reflexões em superfície, na qual a frente de onda resultante estará defasada em fase e amplitude do sinal direto. Múltiplos caminhos ocorrem, também, pela difração provocada pela reflexão de bordas e cantos de quaisquer objetos, mas a maior responsável pelo erro de multipercurso é a reflexão em superfícies rugosas que também provoca defasagem em fase e amplitude. Esses obstáculos provocam normalmente enfraquecimento no sinal em relação ao sinal direto, porém sua intensidade dependerá do material refletor, do ângulo de incidência e da polarização do sinal. As reflexões, principalmente, originam uma grande quantidade de sinais recebidos pelo móvel, os quais possuem sempre potência baixa e que certamente percorrem uma distância maior, se comparados com o sinal originado pela visada direta com o satélite. Esse aumento de distância leva a um atraso de chegada do sinal, resultando em um erro de contagem de pulsos de clock e, conseqüentemente, pequenos erros de cálculo de posicionamento. A Figura 6.7 ilustra esse comentário.

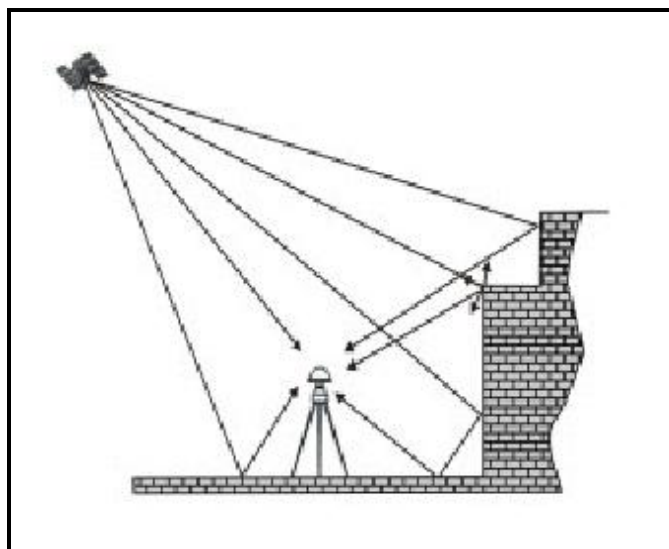


Figura 6.7 – Ilustração de multipercurso no sistema GPS

FONTE: Desconhecida

Entre as diversas técnicas para a redução dos erros provocados pelo multipercurso destacam-se: o uso de antenas especiais, arranjo com mais de uma antena, técnicas de software que incluem aproximações paramétricas e, entre outras, técnicas de filtragem.

O receptor GPS, ao ser ligado pela primeira vez, tem que realizar uma varredura em todas as frequências para que possa encontrar o maior número de satélites em visada direta. A busca pode levar vários minutos, devido a essa necessidade em uma larga faixa de frequência e código. Essa varredura é conhecida como "procura no espaço frequência e atraso de código". Veremos mais a diante, em AGPS, como esse tempo pode ser reduzido consideravelmente. Após encontrados as frequências e códigos, o receptor deve receber os dados de efemérides, almanaque, etc., para daí sim poder realizar o cálculo de posicionamento. Toda essa inicialização recebe o nome de *Time to First Fix* (TTFF). Após a inicialização TTFF o sistema funciona continuamente, sendo que para isso o almanaque e efemérides são atualizados através dos mesmos dados enviados juntamente com o código PRN encontrado na "procura no espaço frequência e atraso de código".

O tempo de inicialização e fixação de ponto atual é chamado de *TTF cold start* quando a inicialização acontece após o receptor GPS está desligado a um certo tempo e não possui o almanaque atualizado. Para atualizar esse almanaque o receptor o recebe já do primeiro satélite que estabelece o link. Os dados de almanaque são de extrema importância ao receptor, pois é através dele que se torna possível saber quais outros satélites estão disponíveis no momento, evitando procurar por códigos PRN de satélites que estejam indisponíveis (no outro lado do planeta, por exemplo). Esse tempo de inicialização pode ser tão variável ao ponto de poder chegar à 30min, em casos de equipamentos que ao serem ligados pela primeira vez após a fabricação. Toda essa demora deve-se a um mal posicionamento do receptor (link ruim com o satélite), almanaque inexistente ou até mesmo pelo fato do receptor ser religado em um local muito distante do último que havia estabelecido coordenada, onde entra a capacidade do algoritmo do receptor calcular a coordenada rapidamente. Trata-se de uma inicialização rara se o receptor for usado algumas vezes ao ano. Levando-se em consideração a grande variabilidade de tempo necessário para a *TTF cold start* podemos mencionar uma média de 10 minutos para tal.

É possível que o aparelho receptor móvel GPS tenha um TTF chamado de *warm start*, que é mais comum se comparado com o *cold start*, onde usa informações em sua memória. Essa inicialização ocorre quando o GPS possui a frequência, códigos e almanaque suficientemente aproximado do real, diminuindo consideravelmente o tempo de fixação. Por último o mais rápido TTF, onde o receptor possui todos os dados muito próximos aos reais armazenados em memória. Esse tipo de inicialização ocorre quando o aparelho é desligado e é religado pouco tempo após (minutos), sendo então reaproveitadas todas as informações. Essa inicialização recebe o nome de *hot start* e pode chegar alcançar a marca de apenas 1 segundo.

Para determinar a distância entre o satélite e o receptor móvel, o satélite emite o sinal pseudo-randômico (PRN) e o receptor armazena sua réplica defasada

no tempo e fica aguardando que o sinal emitido novamente pelo satélite se correlacione com o armazenado. A viagem de saída do sinal do satélite e a chegada ao receptor demora apenas 0,06 segundo, sendo assim um milésimo de segundo corresponde a 322Km de erro, portanto o sincronismo entre o relógio atômico (de altíssima precisão) e o relógio do receptor (de precisão inferior a do satélite) é de vital importância para minimizar o erro no cálculo da distância. Muitas vezes podem acontecer erros onde o móvel não consegue estabelecer o momento exato de chegada do sinal do satélite, levando-o ao erro chamado *Coarse-time*, que é um erro grosseiro na aquisição do tempo de transmissão do satélite. Quando Além da quase perfeita contagem de clock que devem existir entre o satélite e o receptor móvel é necessário ainda sincronismo mais preciso entre os satélites e as estações de controle terrestres, que são detentoras da informação mais importante para a possibilidade de cálculo de posicionamento: a posição exata de cada satélite. Para se ter uma idéia da precisão dos relógios atômicos de rubídio e césio dos satélites, eles sofrem um atraso de no máximo 1s a cada 18 meses.

O relógio não é o único item que pode levar a um furo de calculo de posicionamento: As imprecisões na posição dos satélites e a inconstante velocidade dos mesmos provocam alguns desvios em suas coordenadas. O principal motivo da velocidade dos satélites não ser constante é a sua órbita semi-circular, o que acarreta em velocidades maiores quando o satélite está mais próximo da Terra e velocidades menores quando está mais afastado. Essa variação de velocidade e órbita também ocasionam erros de posicionamento na ordem de 0,6 metros, conhecidos como erros nas órbitas ou também chamado de erros de efemérides. Devido à pequena variação no tempo, as correções efemérides são chamadas de correções lentas, pois caso ocorra algum problema de recepção no móvel, esses dados podem ser válidos por até 6 horas.

[...] A Geometria dos satélites se refere à posição relativa dos satélites a qualquer hora. A geometria ideal dos satélites é alcançada quando estão localizados em grandes ângulos em relação a outros satélites. Uma geometria ruim de satélites ocorre quando estão alinhados em linha reta ou num grupo muito unido. (SOUZA, 2006)

Podemos concluir, até agora, que o sistema GPS tem como principal característica usar satélites em órbita como referência para receptores. O número de satélites visíveis a um receptor pode chegar a 13, com isso a precisão de posicionamento do móvel fica na ordem de centímetros. Para tal precisão ser alcançada é necessário que sejam feitas correções de atraso do sinal, bem como de posicionamento de cada satélite que esteja sendo usado como referência. Erros de velocidade e posição de satélite na órbita são chamados de erros de efeméride.

Informações como essas são calculadas pela *GPS Master Control Station*, passadas aos satélites, que por sua vez transmitem ao receptor móvel com uma sincronização extremamente precisa. Tais sinais enviados ao receptor móvel com informações sobre o sistema, posição do satélite, correções de trajetória e sincronismo são modulados no sinal e fornecidos aos satélites pelo sistema de controle em terra. Esses dados são fundamentais para o cálculo de posicionamento, pois o móvel receptor precisa saber o posicionamento exato dos satélites envolvidos, para que possa referenciar as distâncias e, por tanto, calcular os atrasos do sinal e através desses chegar ao seu posicionamento.

6.3 - Complementos do Sistema

O sistema GPS possui algumas variações, cada uma visando melhorar o sistema para um determinado objetivo.

O *Diferencial GPS* foi desenvolvido inicialmente para navegações e utiliza bases fixas em terra, chamados no Brasil de *NTRIP Server* (com coordenadas fixas), as quais ficam em comunicação direta com móveis que também utilizam GPS e tem seu posicionamento melhorado com as correções enviadas pela base fixa. Esse sistema RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo), possui aproximadamente de 80 unidades de referência espalhados pelo território nacional, sendo que em Santa Catarina há três dessas estações: em Imbituba, Lages e Chapecó. As estações de referência obtém um posicionamento ainda mais preciso por utilizarem também a frequência L2, além da comum L1, e fornecem as informações calculadas utilizando a internet, através do próprio site do IBGE. O RBMC é utilizado principalmente por equipamentos profissionais de cartografia, topografia, geomensura, etc., oferecendo uma das precisões mais elevadas do mundo, aproximadamente 5mm. Exemplificando tal precisão, o terremoto ocorrido no Chile gerou uma movimentação no solo brasileiro, onde os *NTRIP Servers* registraram uma mudança de alguns centímetros. A RBMC é mantida pelo IBGE juntamente à universidades e institutos de pesquisas, os quais disponibilizam os dados pela internet, gratuitamente.

Além do GPS Diferencia, há o sGPS (*Simultaneous GPS*), que é o padrão de transmissão simultânea usada por civis, o qual prevê a transmissão de voz e dados pela rede CDMA para fazer a localização de aparelhos celulares que fizerem ligações para a central de atendimento de emergência nos Estados Unidos da América, o 911.

Ainda a nível de usuários Civis, há o promissor eGPS (*Enhanced GPS*), que proverá alta precisão de localização em aparelhos celulares, mesmo quando o sinal GPS for muito ruim ou até mesmo inexistente, como ambientes *indoor*. Começou a

ser desenvolvido em 2005 pela CSR, que montou parceria com a Motorola em 2008.

Outro sistema importante que veio para complementar o GPS e conseguiu atingir alta capacidade de precisão é o WAAS. O sistema WAAS (*Wide Area Augmentation System*) é um sistema desenvolvido pela FAA (*Federal Aviation Administration*) em 1994, visando melhorar a precisão do sistema GPS. Principalmente destinada a aproximações de aeronaves em aeroportos, o sistema WAAS cobre apenas a América do Norte com 5 Satélites geoestacionários, que realizam seus próprios cálculos de correção e os envia ao receptor móvel. Esse deve coletar os dados GPS e os corrigir de acordo com os dados enviados pelo sistema WAAS.

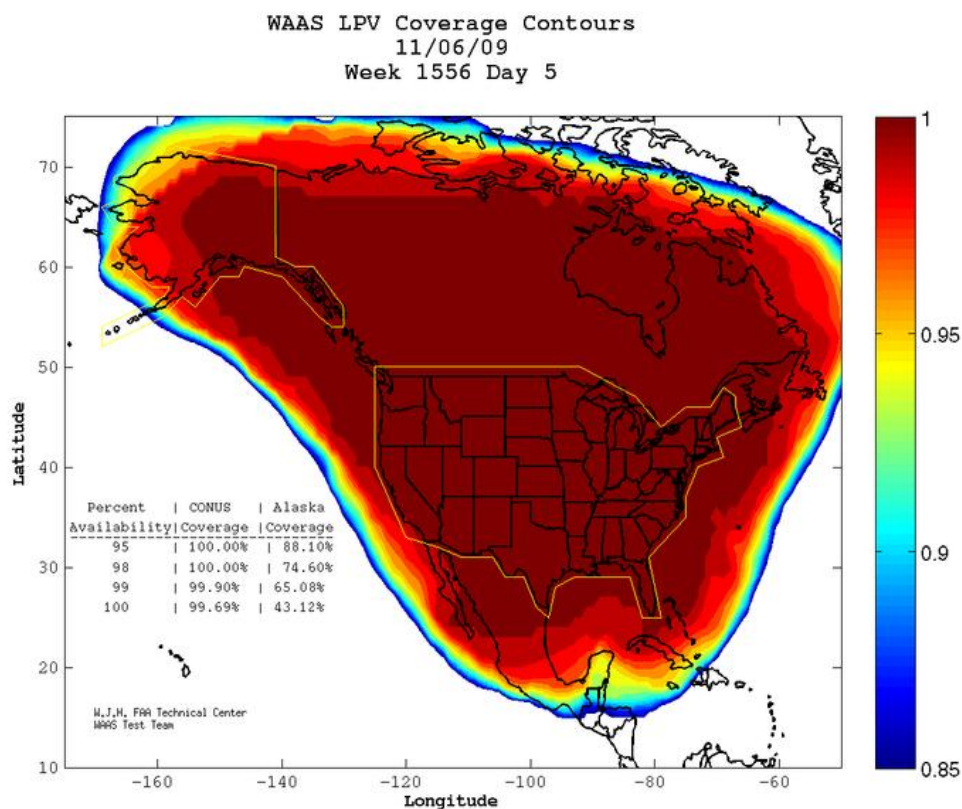


Figura 6.8 – Cobertura do sistema WAAS em 06/11/2009

FONTE: U.S. Department of Transportation
Federal Aviation Administration

O principal motivo da criação do sistema WAAS é a alta precisão que ele dispõe. Enquanto o GPS sozinho proporciona uma precisão entre 2.5 e 9 metros, com o WAAS consegue-se refinar esses números para 0.9 metros.

Outro diferencial que o WAAS fornece em conjunto com GPS é a alta disponibilidade. A especificação do WAAS garante uma disponibilidade de 99.999% do tempo na área de serviço coberta com a cor vermelho escuro, da Figura 6.8. Isso equivale a uma indisponibilidade de 5 minutos por ano, quando o GPS pode ficar indisponível até 4 dias por ano.

Em suma, a tecnologia WAAS está disponível para qualquer classe de aeronave e visa principalmente facilitar as aterrissagens fornecendo uma precisão maior que o GPS sozinho. Europa e Ásia estão desenvolvendo seus próprios sistemas, que chamarão de SBAS (*Satellite Based Augmentation System*). Uma evolução dessa tecnologia é o LAAS (*Local Area Augmentation System*) é a variação que, com a implantação de bases terrestres no aeroporto, aumentará significativamente a precisão tanto horizontal quanto vertical, permitindo aterrissagens seguras mesmo em situações de baixíssima visibilidade.

6.4- Sistema GPS: Visão Geral

Mesmo a atmosfera e o ambiente terreno sendo muito nocivos ao sinal GPS, a engenharia conseguiu driblar os problemas próprios do sistema. Alguns problemas que não se aplicam a outras tecnologias como, por exemplo, os originados pela ionosfera e troposfera (que variam inclusive de acordo com as estações do ano), explosões solares, além dos 14 movimentos que a Terra possui, que devem ser sempre corrigidos. Mesmo com todas as imposições físicas o sistema consegue ser o método mais importante para se obter o posicionamento em qualquer local da terra, e como observado até aqui, o aumento da sua precisão é alcançado apenas com a instalação de outros pontos de referência.

Um ponto que deve ser levado em consideração é que o receptor móvel é quem faz todos os cálculos de posição, os relaciona no mapa, calcula a velocidade de acordo com a relação tempo e distância percorrida, etc.. Além disso, como o próprio nome diz, é apenas um receptor, por tanto nas aplicações que o móvel necessita transmitir o seu posicionamento a terceiros deve haver implementação de um outro sistema que o faça. Tal sistema, chamado de híbrido, permitirá que os aparelhos móveis tenham a precisão do sistema GPS e ainda possam ter a rastreabilidade dos sistemas celulares.

7- Sistema Híbrido

O sistema híbrido é a mistura de duas tecnologias distintas, cada uma desenvolvida para um objetivo diferente, que após anos de evolução se juntam para formar um sistema que permitirá que um aparelho GPS possa funcionar em situações nas quais o sistema GPS convencional se tornaria inviável ou, no mínimo, lento.

Existem, hoje, erros graves que tentam conceituar o AGPS. Um desses erros rudes é a confusão feita com o DGPS, mencionado no capítulo anterior, bem como algumas atribuições não cabíveis, as quais serão comentadas ao longo desse capítulo e também no capítulo de discussão dos testes práticos.

Nesse capítulo será visto como a tecnologia funciona e suas possibilidades. Um complemento é o capítulo de teste de campo, que relatará como o sistema funciona no Brasil.

7.1 – AGPS

Como mencionado, o sistema GPS sozinho oferece aos receptores móveis dados de alta precisão que os permitem fazer cálculos que geram coordenadas de posicionamento. Hoje todos os sistemas mais precisos de localização geodésica, como as implementações do tipo DGPS, WAAS, etc., funcionam com base nas coordenadas dos satélites GPS visando aumentar a precisão de localização, diferentemente do AGPS que não incrementa a precisão do sistema, mas sim sua disponibilidade.

Sistema AGPS (*assisted-GPS*, em português GPS assistido) foi desenvolvido para alcançar lugares que o GPS se mostrava muito suscetível a indisponibilidade, como em grandes centros urbanos, em ambientes *indoor*, como edificações e

carros. Uma das metas do AGPS é de alcançar uma alta velocidade de resposta de localização inicial (TTFF).

Para iniciarmos a descrição do sistema vamos tomar como base a existência de dois tipos de receptores móveis que podem ser implementados: o *MS-assisted* e o *MS-based*. Os *MS-assisted* (traduzindo, Estação Móvel assistida) foi criada exatamente para que o móvel não necessitasse fazer os cálculos pesados característicos do sistema, tendo assim hardware e software mais leves para que consuma menos energia, resultando em um equipamento menor e mais barato. Porém, esse tipo de móvel necessita de uma rede que forneça assistência contínua, impondo a necessidade de uma boa taxa de transferência, capacidade de processamento e disponibilidade, que são fatores encarecedores da rede e da assinatura para acesso ao sistema. Apesar de ser pouco explorado, esse tipo de aparelho *MS-assisted* foi especialmente criado para preencher os nichos que o receptor GPS não alcançava com toda sua robustez.

O *MS-based* é implementado para que a rede apenas auxilie o móvel em momentos de fraco sinal GPS. Ou seja, o aparelho pode ser independente da rede e funcionar como um GPS normal, mas tendo a vantagem de consumir menor tempo de TTFF e energia se comparado ao GPS convencional, pelas razões discutidas no capítulo anterior. A maioria dos aparelhos celulares, por exemplo, possuem essa configuração, sendo aplicado principalmente em smartphones, pois necessitam de softwares mais elaborados e maior capacidade de processamento.

Ambos os sistemas funcionam da mesma forma, sendo diferenciados apenas pelo local de processamento dos dados, o que leva o *MS-assisted* a uma maior imprecisão. Esse fator somado a necessidade de uma rede de boa capacidade faz com que seja um método caro, pouco implementado e pouco desejado. Por tanto, nesse artigo, vamos fazer as citações sempre referenciadas ao *MS-based*.

7.2 – O sistema

Conforme descrito no capítulo relativo à tecnologia GPS, todo satélite possui um código PRN único, o qual deve ser reconhecido pelo receptor através da varredura feita na inicialização. Após encontrado o primeiro satélite os dados de almanaque, efemérides e de correções de clock passam a ser capturados pelo móvel. Com o AGPS essas informações podem ser enviadas pela rede celular através da BTS mais próxima, poupando o tempo e energia da varredura bem como de recepção dos dados. Nesse caso a BTS apenas faz a interface entre o servidor AGPS e o móvel AGPS, enviando os dados relativos ao posicionamento dos satélites, conforme ilustra a Figura 7.1.

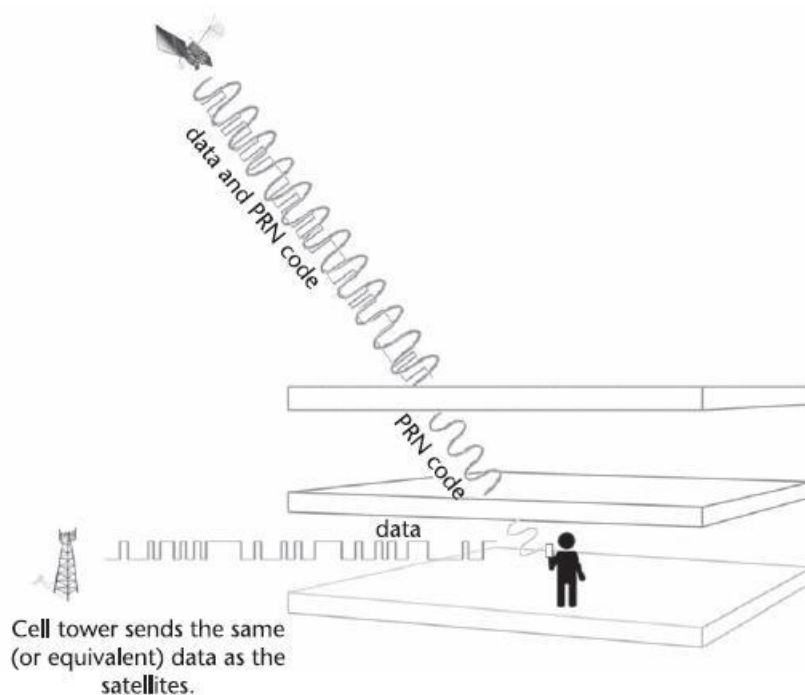


Figura 7.1 – O usuário no interior de um edifício recebe, pelo sistema de rádio transmissão celular, os dados equivalentes aos dados enviados pelo satélite.

FONTE: Frank Van Diggelen

Essa forma de obtenção de dados permitiu que as informações básicas fornecidas pelos satélites fossem coletadas de forma mais rápida e menos intermitente pelo usuário final. A intermitência que se refere é a consequência de

grandes centros urbanos, por exemplo, onde o sinal GPS pode chegar fraco, com interferência ou multipercurso, gerando a indisponibilidade.

A velocidade de resultado de posicionamento mais elevado é consequência também do sistema assistido, pois são enviados pela rede celular os dados essenciais para a localização das frequências, códigos de atraso, efemérides e almanaque, poupando o aparelho de capturar uma grande parte das informações que um aparelho GPS convencional poderia levar de 1 a 12 minutos.

Antes de qualquer recepção feita pelo móvel é necessário encontrar os satélites que estão disponíveis no momento. Lembrando que normalmente em uma posição na superfície terrestre o mais comum é que um receptor tenha visada direta a 3 ou 4 satélites, dentre os até 32 da constelação. A procura das frequências e códigos de atraso são buscas realizadas em duas dimensões, as quais necessitam de em um bom tempo para serem executadas. A Figura 7.2 ilustra a economia de espaço (tempo) de procura fornecido pela assistência.

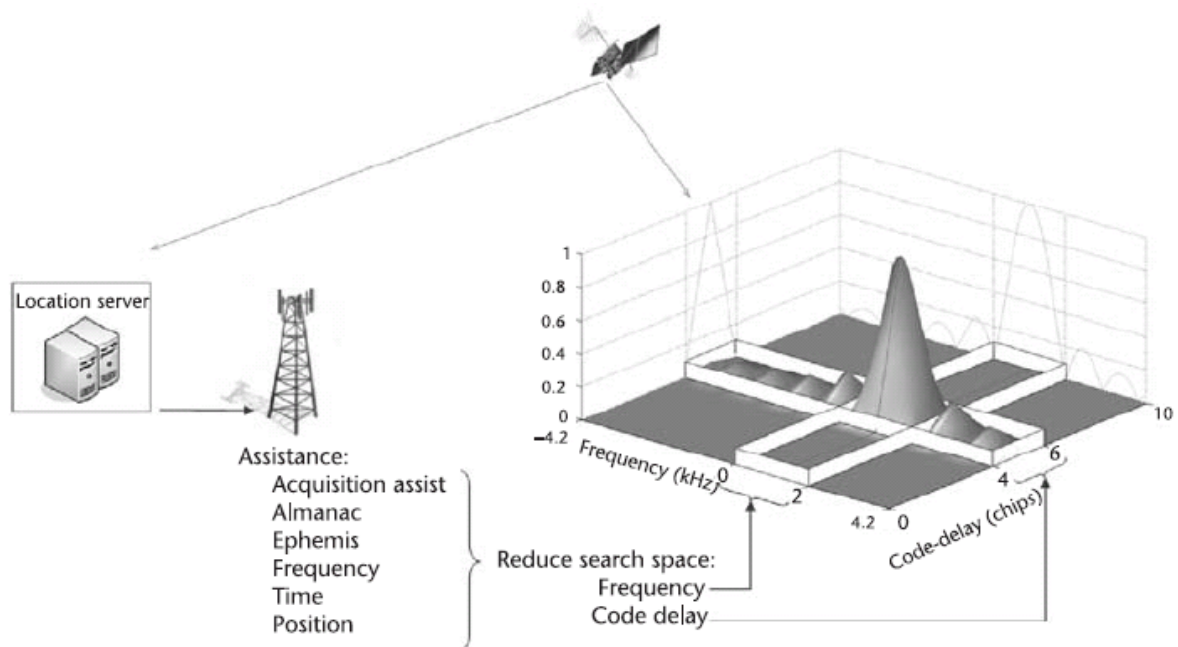


Figura 7.2 – Gráfico demonstra o espaço que o receptor assistido deve fazer a busca da frequência/código (entre os retângulos brancos) comparado com o espaço de busca de um receptor não assistido (área total cinza).

FONTE: Frank Van Diggelen

Diferentemente do que normalmente se pensa, o sistema AGPS não deixa de realizar nenhum processo em relação ao GPS convencional. O que ocorre é que a assistência da rede apenas entrega ao móvel valores aproximados de onde ele deve começar a busca pelos satélites. Após encontrar o primeiro satélite, daí sim o móvel faz a captura dos dados (almanaque, efemérides, etc.) pela rede celular ou pelo próprio satélite, começando a partir daí a cálculo da posição como no GPS convencional.

7.3 – Composição do Sistema

O sistema AGPS, é composto por uma estação de referência GPS, um servidor AGPS, estações de rádio-base (BTS) com toda rede GSM e logicamente os satélites, conforme ilustrado nas Figuras 7.3 e 7.4.

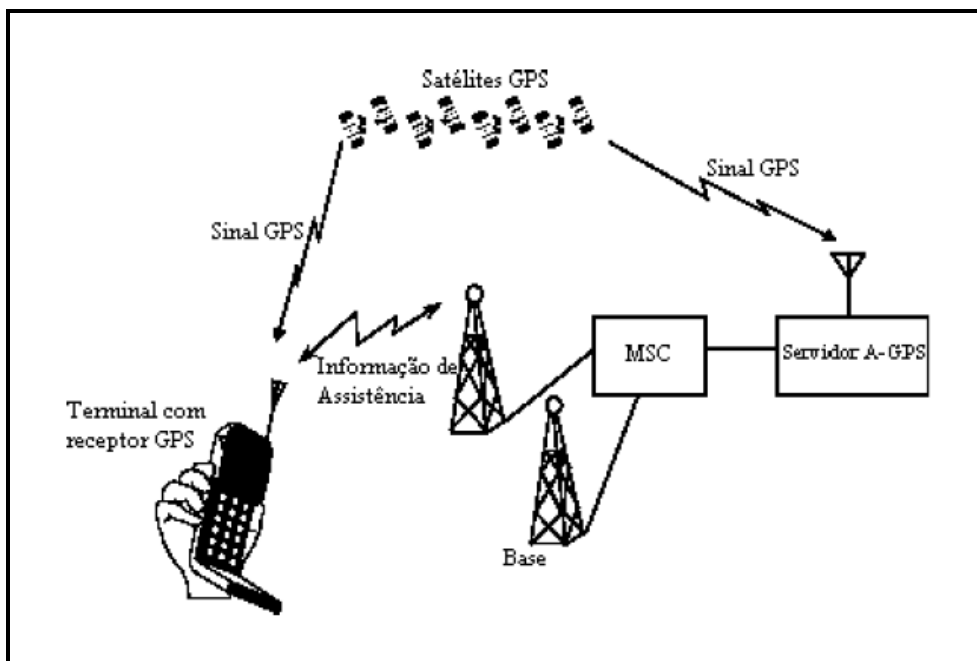


Figura 7.3 – Componentes principais do AGPS.

FONTE: Desconhecida

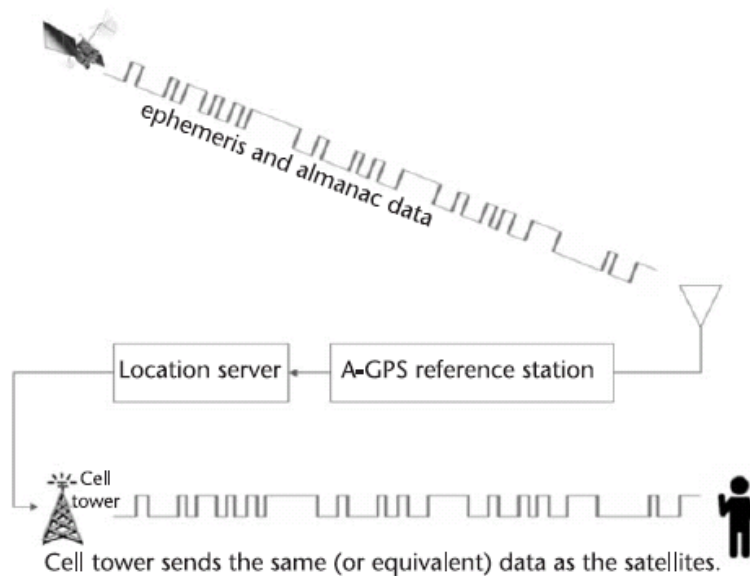


Figura 7.4 – Sistema AGPS

FONTE: Frank Van Diggelen

O aparelho AGPS ao ser ligado verifica a integridade de seus dados da memória, caso perceba que está desatualizado, transmite sua coordenada aproximada para o servidor de localização. Sua coordenada aproximada é baseada na coordenada da BTS ou na triangulação de 3 ou mais BTSs disponíveis para *handover* celular. O servidor de localização acessa a estação de referência mais próxima da coordenada enviada pelo móvel e coleta os dados de efemérides, almanaque, etc., os quais são enviados ao móvel como referência de início de busca. No EUA há centenas de pontos de referência espalhados pelo território e cada um desses pontos normalmente fica na própria torre da BTS da rede celular.

Há implementações mais simples do AGPS, onde o móvel apenas conhecendo sua coordenada atual consegue definir aproximadamente quais satélites podem estar disponíveis no momento. Funciona assim: através de triangulação o móvel atribui uma coordenada aproximada na superfície, com essa coordenada aproximada ele consegue determinar quais satélites (código PRN e frequência) ele pode iniciar a busca para fazer o primeiro link com o satélite que concederá o almanaque completo, juntamente com o restante dos dados. É importante ressaltar que esse processo se faz válido apenas quando o móvel já

possui o almanaque próximo do real. Se ocorresse a situação do aparelho vir sem almanaque algum em memória, o aparelho demoraria o tempo necessário para baixar todo o almanaque (vários minutos, dependendo da qualidade da conexão) para daí então poder tomar satélites como referência e começar o cálculo da coordenada. Em suma, para aparelhos atuais esse conhecimento de posição inicial para iniciar a busca é uma assistência que agiliza muito a construção determinação inicial de posicionamento.

7.4 – AGPS vs DGPS

Falando de pontos de referência pode surgir a confusão entre AGPS e DGPS (uma das técnicas usadas para aprimorar o GPS). A verdade é que o AGPS e o DGPS são sistemas muito diferentes. O DGPS possui estações de referência com o intuito de aprimorar a precisão do sistema GPS, levando a alcançar uma acuidade de milímetros. O AGPS tem a função de dar assistência ao aparelho que recebe o sinal GPS de baixo sinal, sem aprimorar sua precisão. O que pode ocorrer algumas vezes é a assistência fornecer ao móvel informações que o levam a chegar mais rapidamente a posição precisa. Sendo assim, seria um equívoco afirmar que o AGPS é mais preciso que o GPS convencional.

Ainda sobre a diferença entre DGPS e AGPS, foi mencionado no capítulo anterior que há no Brasil o sistema RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) que possui mais de 80 unidades de referência espalhados pelo território, sendo que em Santa Catarina existem três dessas estações: em Imbituba, Lages e Chapecó. Tais estações não são estações de referência utilizadas pelo sistema AGPS. Isso será mencionado novamente no capítulo referente aos testes de campo. Segundo o IBGE as estações de referência do RBMC poderiam fornecer dados para o sistema AGPS brasileiro, mas esse projeto ainda não foi iniciado e necessitaria de um investimento considerável para que pudesse fornecer as informações aos

móveis AGPS em tempo real, o que não acontece no sistema implementado atualmente no Brasil.

DGPS	AGPS
RBMC – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo	Não há implementação de Rede no Brasil
Utiliza estações de referência	Utiliza estações de referência
Provê alta capacidade de precisão (milímetros)	Não provê aumento de capacidade de precisão
Diferenciação de referência	Não executa diferenciação
Frequência L1 e L2	Frequência L1
Uso profissional	Uso doméstico

Tabela 7.1 – Quadro comparativo entre AGPS e DGPS

FONTE: Autor

7.5 – Conclusão Capitular

Como visto, com a assistência ao GPS alguns fatores são melhorados. Para isso, a rede faz uma aproximação de posicionamento levando em consideração a célula que o móvel se encontra, sendo que essa célula pode conter um cenário muito nocivo ao sinal GPS, o que ocorre com facilidade em grandes centros urbanos, em dias de muita chuva, neblina e interferência eletromagnética. Outros pontos de destaque, em relação ao sistema de GPS convencional, devem-se pela

sua contribuição na maior facilidade dos cálculos de localização em alguns ambientes *indoor*, como em veículos e casas.

A melhoria oferecida pela assistência do sistema celular sobre o GPS é basicamente em relação à redução do tempo de localização e a disponibilidade de acesso à precisão GPS em certos ambientes (que permitam o mínimo de chegada de sinal GPS). A economia de energia, redução de complexidade e custo só são cabíveis ao receptor do tipo *MS-assisted*, pois ele está intimamente ligado ao fato de não necessitar de alta capacidade de processamento de dados por receber praticamente toda informação pela rede celular.

Atualmente há uma variedade consideravelmente pequena de aparelhos, os chamados *Smartphones*, que são capazes de comportar os softwares necessários para o envio e recebimento de informações para a rede auxiliar que faz a assistência.

8 – Testes de Campo

Para que pudesse ser verificado a qualidade do serviço fornecido na região de Florianópolis, testes práticos foram efetivados em vários bairros em busca de falhas no sistema. Visitas as cidades de Curitiba e São Paulo também foram realizadas.

Como não há laboratórios específicos para testes do sistema GPS, foi usado a metodologia de teste prático focado no consumidor final, afim de ter a percepção de como o sistema funcionará quando imposto sob condições corriqueiras do dia a dia. Agregado a isso, dados coletados em testes anteriores realizados por profissionais do IME e da TIM introduziram maior confiabilidade aos dados dos testes, já que os todos convergiram para o mesmo resultado.

Foram coletados dados em dias, horários e condições climáticas distintas com o intuito de prover maior confiabilidade nos resultados obtidos.

8.1 – Estudo de caso

Os dados mostrados nesse capítulo foram coletados utilizando os equipamentos listados a seguir, de maneira que todos os dados apresentados por cada aparelho pudessem ser comparados e confrontados, sempre levando em consideração o embasamento teórico formado até então. Além da integridade dos dados de cada equipamento foi levado em consideração o tempo de resposta a uma situação, bem como para melhor percepção intermitência. Considerações em relação as medidas e demais levantamentos se darão ao decorrer do capítulo.

Dados:

Equipamentos utilizados:

- Navegador GPS nA

Equipamento utilizado para confrontar informações fornecidas pelos navegadores GPS.

- Navegador GPS nB

Equipamento utilizado para confrontar informações fornecidas pelos navegadores GPS. Navegador GPS com características simples, porém moderno.

- Navegador GPS nC

Equipamento utilizado para confrontar informações fornecidas pelos navegadores GPS, bem como verificação de constelação e qualidade de sinal GPS. Com esse navegador GPS é possível visualizar o mapa brasileiro. Além disso, os satélites disponíveis, o nível de sinal de cada um deles e sua posição em relação ao móvel (verificação de geometria espacial).

- Receptor GPS rD

Equipamento utilizado para confrontar informações fornecidas pelos navegadores GPS, bem como verificação de constelação e qualidade de sinal GPS. Possui foco de mercado diferenciado, não possuindo mapas, apenas uma interface gráfica simples, mas com muitas informações, tais como: Satélite disponíveis, nível de sinal de cada um deles e coordenada instantânea.

- Aparelho Celular cE

Equipamento utilizado para localização baseada em rede e AGPS. Possui tecnologia AGPS, GPS e determinação de coordenada pela rede celular.

- Aparelho Celular cF

Equipamento utilizado para localização baseada em rede.

Datas dos testes:

- 3 de junho de 2010, das 16:00 às 18:00 (Região de Florianópolis)
- 10 de junho de 2010, das 07:00 às 10:00 (ida para Curitiba)
- 10 de junho de 2010, das 16:30 às 20:00 (retorno de Curitiba)
- 03 e 05 de julho de 2010, das 13:00 às 19:00 (Região de Florianópolis)
- 11 de julho de 2010, das 20:00 às 21:20 (Região de Florianópolis)
- 21 de julho de 2010, das 7:30 às 9:30 (Florianópolis)
- 21 de julho de 2010, das 17:00 às 19:00 (São Paulo, SP)
- 22 de julho de 2010, das 17:00 às 19:00 (São José)
- 24 de julho de 2010, das 16:47 às 23:47 (Região de Florianópolis)

Tempo Total: 26 horas e 50 minutos de testes

Principais pontos:

- Palhoça (Guarda do Embaú – Centro)
- São José (Área Industrial – Kobrasol – Campinas)
- Florianópolis (Capoeiras – Coqueiros – Centro – Trindade – Campeche - Rio Tavares – Lagoa da Conceição – Itacurubi – Beira Mar Norte – Túnel Beira Mar Sul - Aeroporto)
- Santo Amaro da Imperatriz - Águas Mornas
- Curitiba (PR)

- São Paulo, SP (Avenida Paulista - Aeroporto Congonhas)

- O detalhamento da navegação e dados coletados estão descritos abaixo. Eles não estão em ordem cronológica, mas sim didática.

Testes de ciclo de constelação: Dia 24 de julho de 2010

1. Foram realizados registros, periódicos em hora, nesse dia. Com o equipamento de navegação GPS nC e com o rD é possível observar os satélites disponíveis na constelação, bem como os disponíveis para formação de link.

Para coleta dos dados foi escolhido um local relativamente livre de obstruções (baixa densidade demográfica).

Como o movimento de translação dos satélites em torno da Terra dura aproximadamente 12 horas, o registro foi feito no período de 6 horas, para visualização de todos os satélites presentes na constelação.

Com a coleta desses dados foi possível perceber a pequena variação de quantidade de satélites disponíveis durante o dia, sempre em torno de 9. Como exemplo podemos citar o horário 17:47, onde os satélites (códigos PRN) disponíveis para link em ambos receptores eram:

17:47 - 20, 32, 23, 11, 13, 31, 16, 17, 07

Nesse horário haviam 9 satélites disponíveis no aparelho sendo que dos 9, apenas o PRN 07 não estava com enlace efetivado com o receptor. Isso se deve a recém chegada do satélite no horizonte e como os dados foram coletados dentro da cidade, não há visada direta ao satélite.

O número de satélites no almanaque variou de 9, como no caso citado acima, atingindo até 12 satélites as 20:47.

20:47 - 07, 13, 23, 08, 20, 10, 04, 16, 02, 32, 03, 28

Conforme dito anteriormente, cada número acima representa um satélite através do seu código PRN único. Nesse horário foram apresentados pelo equipamento a possibilidade de link com 12 satélites, mas apenas sete estavam fornecendo coordenada, três estavam em processo de tentativa de identificação e dois estavam completamente incomunicáveis.

Pode-se observar, comparando as duas constelações disponíveis ao receptor nos momentos citados, que parte dos satélites disponíveis às 17:47 não estão mais disponíveis quatro horas depois, às 20:47. Percebe-se também a permanência do satélite 07, que havia entrado as 17:47 no campo de visada do receptor.

Com esses dados é possível perceber o ciclo de passagem dos satélites sobre o receptor, quando esse permanece geograficamente fixo. Além disso é possível perceber o grau de imprecisão imposto pelo sistema GPS, pois a cada atualização de constelação ao navegador era reiniciado para maior confiança de dados. Cada vez que o navegador era reinicializado ele apresentava uma coordenada diferente, a qual variou até 0.000044° , o que representa uma variação de até 6,2 metros de diferença entre as coordenadas.

Teste de navegação GPS (região de Florianópolis): Dia 3 de junho de 2010.

Condição climática nublada com pancadas de chuvas torrenciais.

Equipamentos utilizados: nA, nB, nC e cE (modo AGPS).

1. Ao ligar todos os equipamentos no início do trajeto entre Guarda do Embaú e Centro de Palhoça o receptor móvel nA demorou mais de 8 minutos para apresentar sua posição correta. Os receptores da nC, nB e cE mostraram suas coordenadas precisamente após

aproximadamente 30 segundos. Conforme visto na teoria esperava-se um ganho de tempo no receptor AGPS (cE) em relação aos demais convencionais, o que não ocorreu. Veremos mais adiante por que de não haver essa diferença de inicialização. Com essa primeira inicialização constatou-se que o aparelho nA realmente estava a muito tempo desligado, por tanto continha um almanaque desatualizado. Essa desatualização do almanaque resultou num maior tempo para encontrar os satélites disponíveis no momento, caracterizando um *TTF cold start*.

2. Em Coqueiros dois receptores GPS apontaram rotas distintas para o mesmo destino. Esse tipo de erro não é causado pelo sistema GPS, mas sim pelo mapa instalado no equipamento. Afirmção constatada ao checar as coordenadas exibidas por cada aparelho, as quais estavam impressionantemente próximas, conforme demonstrado a seguir:

nC: S 27.604624, W 48.580675

nB: S 27.604621, W 48.580677

nA: S 27.604624, W 48.580678

Maior diferença entre coordenadas: S 0.000003, W 0.000003

A Terra possui aproximadamente 40.075Km de circunferência no equador, mas como as medições foram realizadas em Santa Catarina, temos que considerar a circunferência nos trópicos, onde possui 36.784Km. Sendo assim 1° (um grau) de circunferência da Terra nos trópicos equivale a aproximadamente 102177Km, então cada milionésimo de grau (10E-6 grau) equivale a aproximadamente 10,22cm. Em suma, a diferença de posicionamento demonstrada por

cada equipamento foi, no pior caso, 30.66cm Sul/Norte e/ou 30.66cm Oeste/Leste.

Calculando a distância equivalente para a variação de 3×10^{-6} graus apresentada entre os equipamentos:

$$0.000003 * 102.177\text{Km} = 0.3065\text{m}$$

Em suma, a diferença pode ser desprezada e de forma alguma levaria o navegador a criar uma rota alternativa.

3. Após desligar e religar os aparelhos em Coqueiros todos os equipamentos GPS e o AGPS foram idênticos no tempo de determinação de coordenada precisa. Conclui-se que todos os equipamentos realizaram o *TTF hot start*, por já possuírem as suas coordenadas exatas na inicialização e possuírem os dados de inicialização atualizados.
4. Entre Rio Tavares e Lagoa da Conceição o receptor nB perdeu sinal e teve que recalcular a coordenada. Como foi um caso isolado dentre os 4 equipamentos, não podemos atribuir a falha ao sistema GPS, mas sim ao equipamento.
5. Em Santo Amaro da Imperatriz houve um deslocamento no mapa no receptor nA, ou seja, a seta indicativa de posicionamento do veículo se deslocava completamente fora da pista. Ao analisar as coordenadas de cada equipamento percebeu-se que havia uma ligeira diferença, conforme descrito abaixo:

nC: S 27.684494, W 48.772809

nB: S 27.684497, W 48.772807

nA: S 27.684423, W 48.772779

Obtendo a média entre as coordenadas da nC e nB e comparando-a com a coordenada nA obtemos:

Média: S 27.684496, W 48.772808

nA: S 27.684423, W 48.772779

nA indica uma posição mais ao Leste e ao Norte

Novamente, considerando a equivalência de 102177Km para cada grau de circunferência, obtemos entre as duas coordenada uma diferença de até 7.03m Nordeste (6.43m mais ao Norte com 2.86m mais ao Leste). A distância máxima é calculada aplicando-se Pitágoras, e corresponde à variável D , conforme demonstrado na Figura 8.1.

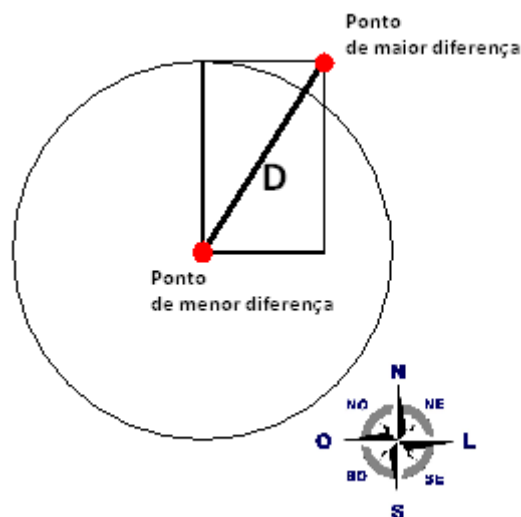


Figura 8.1 – Representação do erro

FONTE: Autor

Como o navegador GPS realmente mostrava em seu display uma posição mais a Nordeste juntamente com os números das coordenadas, conclui-se que realmente houve um erro de cálculo de posição. Esse erro de cálculo é provavelmente causado por um *offset* no clock interno do navegador, principal fonte de erros de cálculo de coordenadas nos aparelhos GPS.

Realizando esses testes foi plenamente perceptível que mesmo os receptores estando num mesmo cenário sob as mesmas condições nenhum deles apresentou desempenho igual.

Mesmo com as diferenças entre os receptores GPS durante todas as análises foi constatado a visibilidade, na maioria das vezes, de 5 satélites. Em certos momentos esse número chegou a 9 satélites em nível de comunicação de cálculo de coordenada (satélite ativo como referência para posicionamento).

Constatou-se também uma imperceptível colaboração realizada pela assistência da rede GSM ao equipamento cE, ativado no modo AGPS.

Viajem entre São José e Curitiba: Dia 10 de junho de 2010.

Condição climática: atmosfera sem nuvens na origem. Entre origem e destino condição muda para nublada e se mantém até o retorno à São José, Santa Catarina.

Equipamentos utilizados no dia:

nC

nB

1. Entre São José e Curitiba e o retorno de Curitiba a São José não houveram anomalias que resultassem em algum tipo de inconveniência ao usuário. Até mesmo a condição climática não trouxe alterações de desempenho de precisão e quantidade de satélites que compunham a triangulação. Não foi perceptível também diferenças entre qualidade de sinal dos satélites em geral entre a ida e a volta.

Mantendo a média 7 a 8 satélites visíveis em praticamente todo percurso, conforme descrito nos "testes de ciclo de constelação", a altitude fornecida não poderia ser considerada confiável, mas os dois equipamentos indicavam altitudes de acordo com a média oficial, de 934 metros,

fornecida pela prefeitura de Curitiba. Assim como em qualquer outro local, concluiu-se que para uma precisão aceitável de altitude é necessário pelo menos 6 satélites, pois com 5 satélites a diferença se torna relevante, com 4 fica bastante impreciso e com 3 a altitude é omitida em todos os aparelhos usados, conciliando com a informação teórica que indica o mínimo de 4 satélites para obter a altitude.

2. Outro fator importante pode ser testado durante essa viagem e obteve um bom resultado: a indicação de velocidade do receptor. A velocidade foi mensurada pelos dois receptores de forma relativamente rápida. Para uma aceleração moderada o indicador de velocidade do móvel conseguiu acompanhar quase que em tempo real a velocidade efetiva do veículo. Em freadas mais bruscas que o tempo de atualização do navegador se mostrou insuficiente, mas atendeu muito bem a condição geral com precisão.

Para obter a velocidade do móvel o receptor GPS apenas compara a distância que o móvel se deslocou em um determinado tempo. Em suma, não há como o receptor calcular instantaneamente a velocidade do móvel, pois ele precisa contar a distância que o móvel percorreu, em um tempo pré determinado suficientemente para obter boa precisão de velocidade.

Teste de navegação GPS (Florianópolis – São Paulo): Dia 21 e 22 de julho de 2010.

Condição climática muito boa, sem obstruções atmosféricas. Testes realizados em Florianópolis e São Paulo.

Equipamentos utilizados:

nC

rD

Aparelho Celular cF

Aparelho Celular cE

1. Saída de São José, SC, em direção ao aeroporto Hercílio Luz, em Florianópolis. Após um dia desligado o navegador nC teve uma inicialização rápida (10 segundos aproximadamente), caracterizando a inicialização *Warm Start*, exatamente como a inicialização do cE, com modo AGPS ativo. Todo o trajeto foi realizado de forma precisa, até que os receptores GPS tiveram que passar por um túnel que liga o Centro à Região Sul da Ilha. Como era de se esperar o enlace que os receptores tinham com os satélites foi completamente perdido durante a passagem, mas foi instantaneamente restabelecido após a saída. Apesar dos receptores GPS terem perdido o link com os satélites eles continuaram apresentando o cursor na mesma velocidade e direção, como se estivessem ainda submetidos ao sinal GPS. Isso ocorreu devido ao tempo de segurança do software do navegador, de forma a evitar que o usuário perceba pequenas intermitências no sistema. O navegador GPS precisa de uma nova coordenada para que faça mudanças de posicionamento, caso não seja possível definir uma nova posição, ele continua se baseando nas coordenadas passadas anteriormente e assim estima a próxima posição, mesmo com ausência de sinal. Esse fato foi constatado no dia seguinte, utilizando o aparelho GPS da rD e é detalhado no item 4.

Durante o percurso até o aeroporto foi utilizado também o aparelho cF para localização via rede celular (baseada em rede). O aparelho agiu conforme as expectativas e demonstrou aproximadamente a posição do móvel. Ao passar pelo túnel o posicionamento foi perdido completamente, mas prontamente restabelecido ao sair. Até o momento o aparelho demonstrava o posicionamento referenciado a cada célula mudando o posicionamento de acordo com a mudança de Cell-ID, sem nem ao menos apresentar variação de setorização das células. Com isso percebe-se que outras técnicas que envolvem tempo de chegada e/ou

ângulo de chegada não são utilizadas para fazer localização de móveis. Um novo comentário sobre esse fato é descrito nos testes realizados no dia 11 de julho.

2. Chegando ao aeroporto de Florianópolis os navegadores GPS foram desligados, sendo religados apenas em São Paulo, na Avenida Paulista, que possui grande densidade urbana. Ao religar o equipamento nesse local, o navegador nC demorou 14 minutos para efetivar seu posicionamento no mapa. Toda essa demora para localização é a consequência da necessidade da localização prévia do móvel no globo. Quando o navegador GPS foi desligado em Florianópolis ele salvou em sua memória a sua última posição. Ao religar o aparelho 4 horas depois em São Paulo ele estava completamente "perdido", pois ainda estava com todos os dados das coordenadas de Florianópolis e seu software estava tentando elaborar uma nova coordenada naquelas proximidades, fazendo com que tentasse diversas possibilidades nas redondezas de Florianópolis antes de mudar a procura no mapa de uma forma mais ampla. Já o cE, ativado no modo AGPS, teve seu tempo drasticamente reduzido em relação ao GPS convencional: menos de 1 minuto. Agora podemos nos perguntar o por que da assistência funcionar nesse momento e não demonstrar diferenças em outros?

O receptor GPS ao ser ligado em um local completamente desconhecido pode demorar muito tempo para "se encontrar" no globo. Esse é um fato demonstrado na prática pela empresa rD que produzia seus receptores GPS nos Estados Unidos e vendia para todo o mundo, inclusive Brasil. O cliente, ao ligar o receptor no Brasil, esperava por horas até que o receptor conseguisse determinar a coordenada, sendo que algumas vezes alguns equipamentos não

conseguiam determinar sua coordenada nunca. A solução encontrada na época era atualizar o almanaque do aparelho manualmente e posicionar a referencia inicial no Brasil. Agora há uma outra solução: usar a rede GSM para determinar o posicionamento inicial do móvel com base na localização da célula que o móvel está conectado, e foi isso que ocorreu ao chegar em São Paulo. O receptor cE adquiriu uma coordenada inicial com base na rede GSM e pode determinar que estava em um local distante do anterior, evitando trabalho desnecessário ao software, como no caso do navegador GPS convencional.

Pode-se pensar que a distância entre Florianópolis e São Paulo é curta se comparada com as dimensões do planeta. Essa afirmação é correta, mas temos que lembrar que um software tem limitações e com certeza a demora de localização inicial está intimamente ligada ao tipo de algoritmo que calcula os dados e a forma que ele é implementado no navegador. Existem navegadores, que são baseados nos chips SiRFstar III ou posterior, que permitem um calculo muito mais elaborado e algoritmos extremamente inteligentes que conseguem calcular mais rapidamente o posicionamento do móvel, além de ter alta sensibilidade.

3. Em São Paulo ao ativar a localização baseada em rede no aparelho cF, nenhuma surpresa. O aparelho continuava demonstrando um posicionamento muito similar ao apresentado em Florianópolis, com uma circunferência de centenas de metros e sempre referenciando o posicionamento de acordo com a célula, sem envolver precisões diferenciadas, como setorização e técnicas triangulação, ângulo ou tempo de chegada. Cada posicionamento continuava a mudar de acordo com a mudança de identificação de célula (Cell-ID).

4. Voltando a descrever o fato ocorrido no túnel de Florianópolis; quando o navegador mesmo completamente sem sinal continuou mostrando o movimento do cursor na tela, um teste foi realizado no dia seguinte (22 de julho) com o aparelho receptor GPS da rD que não possui sistema de navegação, apenas de obtenção de coordenada, ou seja, um equipamento para aplicações distintas. O receptor foi ligado em um ambiente *outdoor*, onde a coordenada precisa foi calculada sem problemas. Após a coordenada estar efetivada, o aparelho foi sendo levado, andando, em direção a um edifício de vários andares.

Ao entrar no edifício o receptor ficou completamente sem sinal, a partir daí o rD foi mantido imóvel e a mesma situação do túnel aconteceu: o receptor continuou mostrando a coordenada como se ainda estivesse em movimento. A coordenada continuou sendo alterada durante vários segundos até se apagar, indicando que não havia possibilidade de cálculo de coordenada. A conclusão que pode-se tirar é que os softwares tem uma espécie de implementação inercial, cujo fundamento é baseado na possibilidade da interrupção do sinal ser momentânea e, para tornar isso transparente ao usuário, o software mantém o mesmo padrão de movimento por algum tempo.

Testes em ambientes *indoor*: Dia 03 e 05 de julho de 2010.

1. Os equipamentos GPS e AGPS foram postos em prática em ambiente *indoor*. No dia 3 todos os equipamentos já estavam ligados e com coordenadas precisas quando foram adentrados em uma casa. Ao entrar, o número de satélites conectados aos equipamentos diminuiu dos 8 atuais para 5, logicamente diminuindo a precisão, mas todos

continuaram com nível de sinal suficientemente bom para informar as coordenadas durante 3 horas. Feito isso os aparelhos foram desligados, voltando a ser religados 2 dias depois (5 de julho), no mesmo local. O resultado do teste finalizado no dia 5 demonstrou uma demora de 6 minutos para que os equipamentos de navegação GPS convencionais conseguissem mostrar a coordenada (link com pelo menos 3 satélites). Percebeu-se que a conexão dos três primeiros satélites foram as mais lentas, em especial o primeiro. Após o primeiro satélite ser localizado foram estabelecidas conexões com outros satélites, chegando a estabelecer enlace com 6 dos 11 disponíveis no almanaque local. A partir desse ponto a coordenada ficou muito próxima da coordenada apresentada dois dias antes. Deve-se levar em consideração que todos os aparelhos GPS e AGPS dificilmente mostram coordenadas iguais as anteriores após serem reiniciados. Sendo assim, essa diferença apresentada nos receptores é fruto da imprecisão que o sistema impõe, podendo não estar diretamente ligado ao fato do receptor estar em um ambiente *indoor*.

Logicamente existem ambientes *indoor* que tornam o sistema GPS impraticável (conforme descrito nos testes dos dias 21 e 22 de julho), mas no caso de uma casa comum em um centro urbano de densidade baixa os navegadores GPS convencionais se mostraram praticáveis mesmo em ambiente *indoor*, apesar da demora em apresentar a coordenada inicial. Isso se deve principalmente aos novos navegadores veiculares, pois eles precisam funcionar no interior dos carros, o que levou a uma evolução da tecnologia de recepção e de algoritmo.

Alguns dos novos aparelhos receptores GPS navegadores são os chamados super sensíveis, que determinam um posicionamento através do sinal GPS muito degradado, sendo logicamente menos

precisos, mas oferecendo uma posição suficientemente boa para muitas aplicações, como de localização de veículos.

Já o aparelho cE, equipado com hardware AGPS, se demonstrou tão praticável quanto os navegadores GPS convencionais. Como era de se esperar, o equipamento não trouxe uma precisão mais elevada, mas conseguiu realmente obter coordenadas com uma velocidade um pouco maior (6 minutos para os convencionais contra 4 minutos para o AGPS).

Conforme vimos na teoria e foi demonstrado na prática, o sistema AGPS não traz ganhos de sensibilidade nem precisão ao sistema GPS. O que não apareceu nos testes práticos é o ganho significativo ao TTFF do equipamento.

Testes de localização GSM: Dia 11 de julho de 2010.

Equipamento utilizado: Aparelho Celular cE

Para demonstrar na prática o mencionado na literatura e documentado nesse artigo foram realizados testes na região de Florianópolis a fim de determinar se existe o processo de triangulação de antenas por AoA, TDoA ou se é efetivado apenas o Cell-ID na localização de aparelhos celulares móveis.

1. O teste iniciou-se desligando todos os tipos de conexão do aparelho, mantendo apenas a comunicação de dados e voz. Ao iniciar o mapa embarcado no aparelho, já estava prontamente disponível a localização do móvel no mapa. No entanto, como era de se esperar, a localização foi demonstrada através de um ponto com uma circunferência ao redor, onde o raio da circunferência representa o raio da célula a qual o aparelho móvel está conectado. Ou seja, o

ponto representa a posição da BTS e a circunferência representa toda a área geográfica onde o móvel pode estar.

2. Com um software bastante completo, é possível identificar o posicionamento das BTSs mais próximas, bem como as que o aparelho pode fazer *handover*. Ao iniciar o processo de *handover* o aparelho destaca as possíveis BTSs que irá realizar o processo, sendo que nesse tempo a localização continua fixada na BTS atual. Assim que o *handover* é finalizado a localização muda para a nova BTS. Além da informação gráfica é possível observar a mudança de Cell-ID de uma célula para outra, com isso foi certificado que a setorização da célula não interfere na localização do móvel. Apesar da operadora conseguir identificar em qual setor da célula o usuário está, não há referência geográfica no sistema que indique sua posição. Chegou-se a essa conclusão pois em nenhuma das BTSs que o aparelho realizou *handover* houve mudança de área de localização (circunferência) em um mesmo Cell-ID (visto que um mesmo Cell-ID pode ter vários setores), mesmo movendo o móvel ao redor da BTS. Podemos ter como exemplo um processo judicial, isso é o único fator que pode quebrar o sigilo de localização do usuário. Caso esse se faça, a melhor precisão que se pode dar é sabendo o setor da célula que o aparelho móvel se encontra e, a partir dos dados cartográficos de instalação das torres das BTSs, saber a região de forma mais aproximada.

A explicação desse fato é que o custo de implementação dos métodos de localização baseados em rede que trazem maior precisão são muito altos e trazem benefícios insuficientes se comparados com o sistema GPS, que além de muito preciso é gratuito. Sendo assim o alto custo de implementação levaria o

serviço a não ser gratuito, gerando despesa ao consumidor final que, por ter a possibilidade de utilizar o GPS gratuitamente, não iria contratar o serviço baseado em rede.

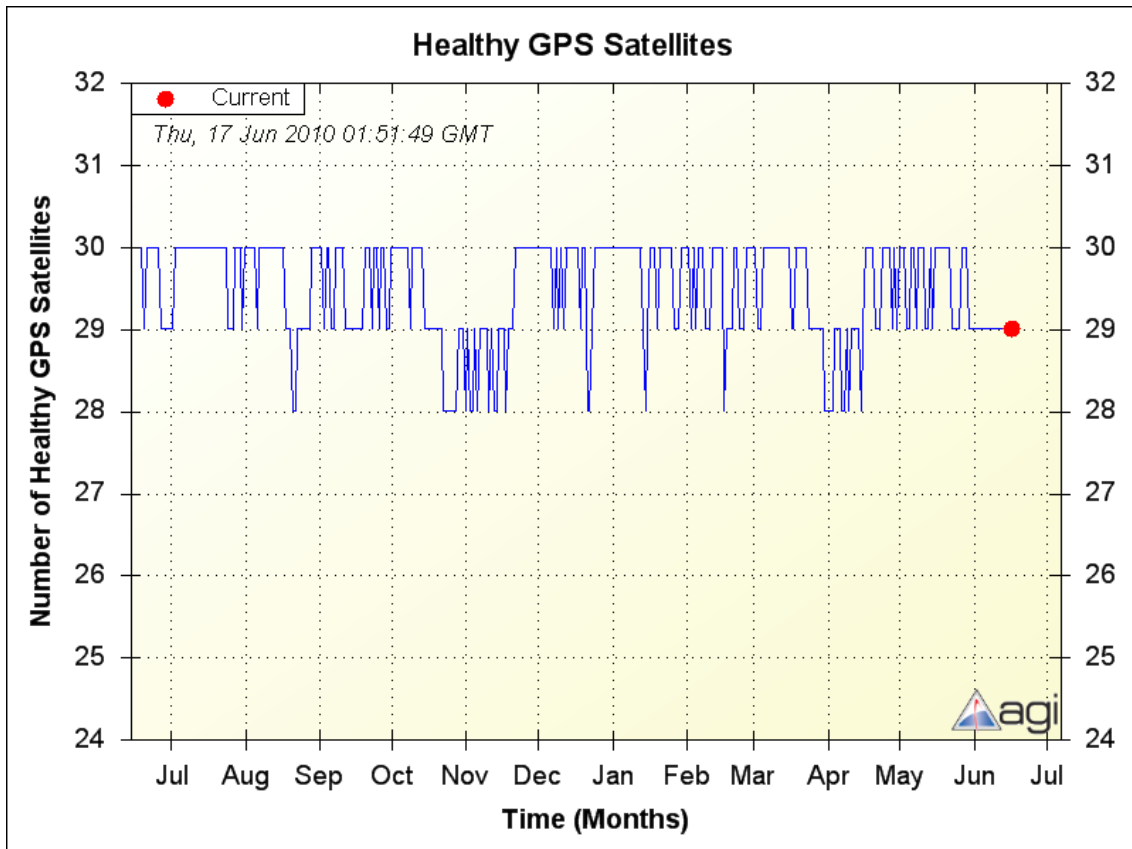


Figura 8.2- Gráfico de satélites ativos em órbita.
Período: 17 de junho de 2009 a 17 de junho de 2010

FONTE: www.adn.agi.com

9 – Conclusão

9.1 – Recapitulação

As expectativas quanto ao uso dos sistemas baseados em localização foram bastante favoráveis, principalmente tratando-se do sistema GPS. Conforme os testes realizados, o sistema GPS mostrou-se muito estável, confiável e funcional. Inclusive a afirmação de que o sistema GPS não funciona em ambientes *indoor* pode ser desmentida, obviamente dependendo dos obstáculos que formam o ambiente. Conforme visto nos testes, o GPS conseguiu realizar *Warm start* em um ambiente *indoor* domiciliar e definir posição com grau de precisão elevado, tendo como consequência apenas um tempo mais elevado para tal, devido a grande degradação causada no sinal. Já em um ambiente industrial, onde a estrutura do edifício é mais reforçada e espessa o GPS não obteve sucesso na predição de coordenada. A tendência é que os navegadores fiquem cada vez mais sensíveis e consigam calcular coordenadas em situações cada vez mais extremas, como dentro de um carro estacionado em uma garagem. Como exemplo de uma busca policial, o sistema de localização baseados em rede não possuem a precisão necessária para determinar em qual garagem o veículo está, mas apenas em qual bairro, tornando a busca muito mais complicada.

A inicialização, que é considerado um ponto fraco do sistema GPS, também está em tendência de evolução rápida, passando a ser realizada em poucos segundos, conforme demonstrado nos testes. Em alguns casos o algoritmo ainda se atrapalha muito ao tentar determinar um posicionamento quando a posição geográfica varia muito, mas com equipamentos mais sofisticados e profissionais, que infelizmente não conseguiu-se acesso, esse tempo é reduzido.

O funcionamento do sistema GPS em ambiente *indoor* domiciliar mostrou-se favorável, mas obviamente está longe do ideal. O mérito ao GPS é devido sua alta precisão de posicionamento, velocidade, tempo e baixo custo de implementação: basta comprar um receptor de poucas centenas de reais (muitas vezes intrínsecos à

aparelhos celulares) e seu uso é livre de qualquer taxa. Um outro ponto não positivo, identificado na prática do GPS é sua fragilidade em determinar a altura correta do móvel, que se demonstrou pouco confiável nos testes realizados devido a grande variação de valores demonstradas entre as reinicializações dos equipamentos. Esse erro pode ser considerado intrínseco ao sistema GPS, pois é causado pela geometria dos satélites em relação a Terra, que torna menos favorável a percepção de variação de altura.

Já o sistema AGPS, como foi estudado na teoria, é utilizado principalmente nos EUA e não é posto em prática no Brasil devido seu alto custo de implementação e pouco benefício prático. Diferentemente do sistema GPS, demonstrou-se muito pouco atrativo e funcional. Os ganhos de tempo de inicialização foram pequenos e sua funcionalidade *indoor* muito similar ao sistema GPS convencional, não gerando ganhos significativos ao usuário que justifique o investimento mais alto. O que ainda pode ocorrer é que, pelo fato dos aparelhos celulares que possuem AGPS serem modernos, seu hardware é mais sofisticado (possibilitando uma melhor recepção do sinal) além de algoritmos mais inteligentes.

O sistema de localização baseado em rede se demonstrou, nos testes, abaixo da média esperada, pois a localização do móvel é feita apenas com a técnica de Cell-ID, não envolvendo nenhuma outra técnica de triangulação, tendo uma precisão insatisfatória para muitas aplicações, mas suficientemente boa para ajudar o AGPS na obtenção de uma localização inicial em local desconhecido.

9.2 – Conclusão geral

Com todo o estudo realizado pode-se concluir que o sistema de localização Baseado em Rede está implementado apenas através da técnica Cell-ID. A explicação é o grande investimento necessário para um retorno pouco proveitoso e limitado que seria fornecido pelas outras técnicas. Ou seja, para melhorar o sistema de localização baseada em rede é necessário investimentos de hardware nas BTSs,

como equipamentos de detecção para implementação de AoA, ou de TDoA, que não representam uma boa precisão de localização, nem mesmo quando utilizadas em conjunto, o que demandaria investimento em dobro. Torna-se inviável uma operadora investir pesado em um sistema de localização baseado em rede, pois quem terá que pagar pelo sistema é o usuário. Esse, por sua vez, não vai aderir a um plano que cobre caro por um sistema que é menos preciso e mais instável que o sistema global de posicionamento, que além de melhor, é gratuito.

Conforme visto, o sistema de localização baseado em rede é importante para a localização de estações móveis e, muito provavelmente, será evoluído do patamar atual apenas se houver uma revolução nas exigências judiciais de localização de móveis, como o sistema E911 dos EUA, o que é muito improvável devido a grande familiarização dos receptores GPS.

Como visto, a localização feita pelo Cell-ID da BTS é importante para que um equipamento AGPS possa identificar seu posicionamento inicial e, em algumas situações, obter um posicionamento preciso pelo GPS mais rapidamente. Sendo assim, todos os sistemas mencionados se integram e formam o AGPS, mas (conforme mostrado nos testes) não no nível de implementação de alguns países como o EUA. Tal implementação, mesmo tendo a possibilidade de ser *MS-based* ou *MS-assisted*, demandariam investimento e, além disso, um tráfego muito grande de dados pela rede GSM, que no Brasil ainda está pouco desenvolvida.

Em suma, o que ocorre para o usuário brasileiro é uma integração dos sistemas GSM e GPS no aparelho celular, o qual obtém o posicionamento instantâneo pela rede GSM através da localização geográfica da célula, sem fazer qualquer tipo de triangulação. Essa coordenada é informada ao hardware GPS e esse por sua vez usa essas informações para localização mais rápida no mapa, o que não resulta em um grande ganho de desempenho, pois não há uma assistência real da rede celular ao sistema GPS (transferência de efemérides, almanaque, etc) mas sim uma previsão do posicionamento da estação móvel.

Comparativo	CELL-ID	GPS	AGPS
Referência	BTS	Satélite	BTS + Satélite
Cobertura	Celular	Global	Celular
Disponibilidade	Alta	Alta	Alta
Indoor	Bom	Regular/Ruim	Regular/Ruim
Precisão	Baixa	Alta	Alta
Custo/benefício	Médio	Alto	Baixo
Custo equipamento	Baixo	Médio	Alto
Time To First Fix	Baixo	Médio	Médio

Tabela 9.1 – Quadro comparativo das tecnologias disponíveis no Brasil

FONTE: Autor

Referências Bibliográficas

- [DIGGELEN, 2009]
DIGGELEN, Frank van; **A-GPS: Assisted GPS, GNSS, and SBAS**. Artech House. United States of America.
- [OLIVEIRA, 2003]
OLIVEIRA, Cleber Pereira de; **Um Modelo para Serviços Baseados em Localização**. Dissertação de Mestrado. Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
- [KUHNNEN, 2003]
KUHNNEN, Alex; **Protótipo de uma Aplicação LBS Utilizando GPS Conectado em Celular para Consultar Dados Georeferenciados**. Dissertação de Mestrado. Universidade Regional de Blumenau Centro de Ciências Exatas e Naturais
- [MONTEIRO, 2003]
MONTEIRO, Walbert Cunha. **O Sistema G.P.S.**; www.wirelessbrasil.org
- [YEH, 2006]
YEH, Chun-Nan; Patent Application Publication United States. **System and Method of Dynamic Packet Transmission for AGPS**. Taiwan, 2006
- [PENA, 2001]
PENA, Ana Carolina Fernandes; **Serviços de Localização Baseados em Comunicação Móvel**. Dissertação em tecnólogo. Universidade da Amazônia, Belém.
- [BARONI, 2006]
BARONI, Leandro; **Análise De Algoritmos de Navegação Para um Sistema GPS Diferencial em Tempo Real**. Dissertação de Graduação. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Paulo.
- [COSTA, 2003]
COSTA, Renata Braz Falcão da; **Estudo e Simulação de Técnicas de localização de Terminais em Ambientes Microcelulares**. Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- [Czech]
SEIDL, Libor, KOVAR, Pavel, VICAN, Martin, KACMARIK, Petr, VEJRAZKA, František; **Differential and Assisted GPS Via GSM-GPRS and Internet**. Department of Radioelectronics, Czech Technical University, Faculty of Electrical Engineering
- [REGHELIN, 2007]
REGHELIN, Ricardo; **Um Algoritmo Descentralizado de Localização para Rede de Sensores Sem Fio Usando Calibragem Cooperativa e Heurísticas**. Universidade Federal de Santa Catarina.
- [SIRF, 2009]
© 2009 SiRF Technology, Inc.; **SiRFstarIV GSD4t**

- [BARLEZE, 2003]
BARLEZE, Alessandro; **Fusão De Dados em Esquemas Híbridos Envolvendo AGPS para Localização de Posicionamento**. Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica do Paraná
- [SIEMENS, 2005]
SIEMENS COMMUNICATIONS. **Location Based Services: Adding new value to Mobile Services**. São Paulo
- [GUEDES, 2003]
GUEDES, Edna Maria Pereira; **Estudo de Técnica Híbrida de Localização de Estações Móveis Baseada em TDoA e AoA**. Dissertação de Mestrado. Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.
- [PRADO, KRUEGER, 2003]
PRADO, Alexandre Do, KRUEGER, Cláudia Pereira; **Análise da Acurácia nos Posicionamentos Diferenciais Aplicando as Técnicas DGPS e RTK**. Universidade Federal do Paraná.
- [PAOLI, 2009]
PAOLI, Orlando; **Localização em Redes GSM (I e II)**. www.teleco.com.br
- [MATSUKOA, CAMARGO, BATISTA, 2003]
MATSUKOA, Marcelo Tomio, CAMARGO, Paulo de Oliveira, BATISTA, Inez Staciari. **Impacto de Explosões Solares no Comportamento da Ionosfera e no Posicionamento com GPS na Região Brasileira: Estudo de Caso para o Dia 28 De Outubro de 2003**. Departamento de Geodésia/Instituto de Geociências/Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Cartografia/Faculdade de Ciências e Tecnologia/Universidade Estadual/SP e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)/SP.
- [HOMELAND SECURITY, 2010]
U.S. Department of Homeland Security; www.deepwaterhorizonresponse.com
- [NAVIGATION CENTER, 2010]
U.S. Coast Guard Navigation Center; www.navcen.uscg.gov
- [UFSC, 2010]
Planetário da UFSC; www.cfh.ufsc.br/~planetar
- [AFSPC, 2010]
United States Air Force Space Command;
<https://gps.afspc.af.mil/gpsoc/default.aspx>
- [DAC, 2001]
Departamento de Aviação Civil; **IAC 3512-91/121/135. Orientação para Utilização de Equipamentos GPS (Global Positioning System) em Operações IFR em Rota e em Terminais e em Procedimentos de Aproximação de Não-Precisão por Instrumentos no Espaço Aéreo Brasileiro**. Serviço Público Federal, Departamento de Aviação.
- [SOUSA, 2007]
SOUSA, Nuno Sérgio Infante de Passos; **Location-Based Service: A Crescente Importância da Localização**. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação, Universidade Nova de Lisboa, Portugal.

[GUIMARÃES, GRIVET, 2003]

GUIMARÃES, Alberto, GRIVET, Marco Antonio. Revista Científica Periódica – Telecomunicações, Volume 06, Número 01. **Radiolocalização de Terminais de Comunicações Móveis**. Rio de Janeiro.

[ZAMPIER, 2004]

ZAMPIER, Herbert de Vasconcelos. **Sistemas Hiperbólicos de Localização Móvel Celular**. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

[LEANDRO, 2009]

LEANDRO, Giuliana; **Investigação do Posicionamento GPS em Ambientes Internos com Auxílio do Efeito de Multicaminho**; Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná