

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE  
CENTRO TECNOLÓGICO  
MESTRADO EM ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES

DOMÊNICO SÁVIO GOMES DE ARAÚJO

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DOS MÉTODOS DE RÁDIO-LOCALIZAÇÃO  
IMPLEMENTADOS EM SISTEMAS CELULARES

NITERÓI  
2009

DOMÊNICO SÁVIO GOMES DE ARAÚJO

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DOS MÉTODOS DE RÁDIO-LOCALIZAÇÃO  
IMPLEMENTADOS EM SISTEMAS CELULARES

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação “Stricto Sensu” em Engenharia de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre. Área de concentração: Sistemas de Telecomunicações.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Claudio Schara Magalhães

Co-Orientador: Prof. Dr. Julio Cesar Dal Bello

Niterói  
2009

Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca da Escola de Engenharia e Instituto de Computação da UFF

A663 Araújo, Domenico Sávio Gomes de.  
Análise da eficiência dos métodos de rádio-localização  
implementados em sistemas celulares / Domenico Sávio Gomes de  
Araújo – Niterói, RJ : [s.n.], 2009.  
141 f.

Orientadores: Luis Cláudio Schara Magalhães e Julio César  
Dal Bello.  
Dissertação (Mestrado em Engenharia de  
Telecomunicações) - Universidade Federal Fluminense, 2009.

1. Sistemas de comunicação móvel. 2. Telefonia celular. 3.  
Método de Rádio-localização. 4. Sistema de posicionamento global.  
5. Geolocalização. 6. Engenharia de Telecomunicação. 7. Produção  
intelectual. I. Título.

CDD 621.38456

DOMÊNICO SÁVIO GOMES DE ARAUJO

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DOS MÉTODOS DE RÁDIO-LOCALIZAÇÃO  
IMPLEMENTADOS EM SISTEMAS CELULARES

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação “Stricto Sensu” em Engenharia de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre. Área de concentração: Sistemas de Telecomunicações.

Aprovada em \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2009

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Luiz Claudio Schara Magalhães, Phd – Orientador  
Universidade Federal Fluminense

---

Prof. Julio Cesar Dal Bello, Doutor em Ciências – Co-orientador  
Universidade Federal Fluminense

---

Prof<sup>a</sup> Leni Joaquim de Matos – Doutora em Ciências  
Universidade Federal Fluminense

---

Prof. Eduardo Rodrigues Vale, – Doutor em Ciências  
Universidade Federal Fluminense

---

Eduardo Javier Arancibia Vasquez – Doutor em Ciências  
Claro

Niterói

2009

Dedico esta dissertação a todos que torceram pela realização deste trabalho e, em especial, à Tia Nina, meu anjo da guarda, e minha esposa Flavia. Minha grande motivadora.

## Agradecimentos

Agradeço a todos que contribuíram de alguma forma para a materialização deste trabalho.

Agradeço à minha esposa Flavia, pelo amor, companheirismo, pelo exemplo de força e determinação.

Agradeço a minha querida Mãe, Dona Maria do Carmo, pelo amor, dedicação e exemplo de raça e perseverança, e ao meu Pai, Sr. Armando, grande responsável pela formação do meu caráter, pelos ensinamentos de vida e por me iniciar neste fascinante mundo tecnológico.

Agradeço aos meus irmãos pela torcida e incentivo em minhas conquistas.

Agradeço aos meus sogros, Flavio e Denise, pelo carinho, encorajamento na realização deste trabalho e por terem me dado o maior presente da minha vida: Minha Flavinha.

Agradeço aos meus gestores e colegas de trabalho da VIVO pela torcida e compreensão durante a realização deste curso, em especial meus amigos, Leonardo Stange, Paulo Henrique, Marcus Vinícius (Marcão), Luiz Monteiro, Julio Barboza, Elmo, Rafael Saraiva, Claudio Henrique, Fernando Septien, Carlos Eduardo (Carlão), Áureo Serrano, Valdenor, Rafael Saraiva, Andre Ferrerreiz, Pedro (Pedrão), Picasso, William Valente, Paulo Valente e Luciano Eugenio, pelas longas conversas e troca de idéias desde o início até a conclusão desse trabalho.

Finalmente, agradeço aos orientadores Profs. Schara e Dal Bello, pela ajuda na realização deste trabalho, incentivo, críticas construtivas e ensinamentos que levarei para o resto da vida.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xiv</b>
<b>ABREVIACÕES.....</b>	<b>xv</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 Histórico .....	1
1.2 Revisão Bibliográfica .....	3
1.3 Motivação .....	5
1.4 Objetivo .....	6
1.5 Roteiro .....	6
<b>2 SISTEMA GPS (<i>Global Positioning System</i>) .....</b>	<b>7</b>
2.1 Sinais GPS .....	10
<b>3 SISTEMA MÓVEL CELULAR .....</b>	<b>13</b>
3.1 Elementos da Rede de Acesso .....	15
3.1.1 MS ( <i>Mobile Station</i> ) .....	15
3.1.2 BTS ( <i>Base Station Transceiver</i> ) .....	15
3.1.3 BSC ( <i>Base Station Controller</i> ) .....	16
3.2 Elementos de Comutação e Sinalização .....	16
3.2.1 MSC – ( <i>Mobile Switching Centre</i> ) .....	16
3.2.2 GMSC ( <i>Gateway MSC</i> ) .....	16
3.2.3 STP ( <i>Signal Transfer Point</i> ) .....	16
3.3 Plataformas de Serviços.....	17
3.3.1 HLR ( <i>Home Local Register</i> ).....	17
3.3.2 SMS ( <i>Short Message Entity</i> ) .....	17
3.3.3 VM ( <i>Voice Mail</i> ) .....	17
3.4 Plataformas de Serviços de Localização .....	18
3.4.1 PDE ( <i>Position Determining Entity</i> ).....	18
3.4.2 BSA ( <i>Base Station Almanac</i> ) .....	18
3.4.3 Rede WARN - ( <i>Wide Area Reference Network</i> ) .....	19
<b>4 TÉCNICAS DE RÁDIO-LOCALIZAÇÃO .....</b>	<b>20</b>
4.1 Técnica Baseada em Medida de Potência.....	20
4.2 Técnica Baseada em Ângulo de Chegada (AoA) .....	21
4.3 Técnica Baseada em Tempo de Chegada .....	22
<b>5 MÉTODOS DE LOCALIZAÇÃO EM REDES CDMA.....</b>	<b>24</b>
5.1 Método Centróide de Sid .....	24
5.2 Método Centróide de Cell Id .....	26
5.3 Método Centróide de Células Mistas .....	29
5.4 Método AFLT ( <i>Advanced Forward Link Trilateration</i> ).....	29
5.5 Método A-GPS ( <i>Assisted GPS</i> ).....	30
5.6 Método Híbrido de A-GPS + AFLT.....	32
<b>6 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DOS MÉTODOS DE RÁDIO-LOCALIZAÇÃO EM SISTEMAS CELULARES .....</b>	<b>33</b>
6.1 Locais de Medições .....	33
6.2 Recursos Utilizados .....	35
6.3 Metodologia Utilizada .....	37
6.3.1 Determinação da Distância entre a Posição Real e a Posição Informada pelo Sistema. ....	37

6.3.2	Frequência de Ocorrência.....	44
6.3.3	Formas de Apresentação dos Resultados .....	45
6.4	Medições em Campo. ....	48
6.4.1	Medições Realizadas em Ambiente Externo no Centro do Rio de Janeiro .....	49
6.4.2	Medições Realizadas em Ambiente Externo na Zona Norte do Rio de Janeiro...	56
6.4.3	Medições Realizadas em Ambiente Externo, na Zona Sul do Rio de Janeiro.....	62
6.4.4	Medições Realizadas em Ambiente Externo na Zona Oeste do Rio de Janeiro...	68
6.4.5	Medições Realizadas em Ambiente Externo em Niterói.....	72
6.4.6	Medições Realizadas em Ambiente Interno no Centro do Rio de Janeiro .....	80
6.4.7	Medições Realizadas em Ambiente Interno na Zona Norte do Rio de Janeiro....	87
6.4.8	Medições Realizadas em Ambiente Interno na Zona Sul do Rio de Janeiro.....	94
6.4.9	Medições Realizadas em Ambiente Interno na Zona Oeste do Rio De Janeiro .	102
6.4.10	Medições Realizadas em Ambiente Interno em Niterói.....	109
6.5	Resultado dos Testes .....	116
6.5.1	Ordem de Escolha e Frequência de Utilização do Método .....	116
6.5.2	Comparativo da Eficiência Entre os Métodos de Localização .....	119
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>122</b>
7.1	Sugestões Para Trabalhos Futuros.....	122
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>124</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1: Sistema GPS. ....	7
Figura 2-2: Sistema GPS com posição do receptor na interseção das três esferas com centro em cada um dos satélites. ....	8
Figura 2-3: Segmento espacial formado pela constelação de 24 satélites. ....	9
Figura 2-4: Estações de monitoramento do sistema GPS. ....	10
Figura 2-5: Formação dos sinais GPS. ....	12
Figura 3-1: Conceito celular. ....	13
Figura 3-2: Definição da célula em função do seu raio. ....	14
Figura 3-3: Rede celular básica. ....	15
Figura 3-4: Rede WARN - Exemplo de rede de receptores GPS. ....	19
Figura 4-1: Localização da MS pela técnica baseada em Medida de Potência. ....	20
Figura 4-2: Localização da MS pela técnica baseada em Ângulo de Chegada. ....	21
Figura 4-3: Definição da localização do terminal pela técnica TOA. ....	23
Figura 5-1: Áreas de Registro do Estado do Rio de Janeiro. ....	25
Figura 5-2: Método Cell ID em antenas onidirecionais. ....	27
Figura 5-3: Método Cell ID em antenas setorizadas. ....	27
Figura 5-4: Posição dada pelo sistema em função de inconsistência nos dados da estação servidora. ....	28
Figura 5-5: Método Centróide de Célula Mista. ....	29
Figura 5-6: Defasagem do PNOffset e atraso causado na propagação do sinal. ....	30
Figura 5-7: Localização através do método AFLT. ....	30
Figura 5-8: Localização através do método A-GPS. ....	31
Figura 5-9: Localização através do método A-GPS+AFLT. ....	32
Figura 6-1: Locais de teste. ....	34
Figura 6-2: Terminal CDMA com GPS Assistido integrado utilizado em modo teste. ....	36
Figura 6-3: Mapa com a distribuição de sites e seus setores A, B e C. ....	36
Figura 6-4: Arquivo de registro de chamadas de localização. ....	37
Figura 6-5: Triângulo esférico ABC para a determinação do erro da medida (arco BC). ....	38
Figura 6-6: Ângulo do arco BC. ....	39
Figura 6-7: Cálculo do arco BC. ....	40
Figura 6-8: Diferença do arco entre os eixos XY e o arco entre os pontos A e B (linha em azul). ....	41
Figura 6-9: Diferença do arco entre os eixos XZ e o arco entre os pontos A e C (Linha Azul). ....	42
Figura 6-10: Mapa do local do teste centro externo e resultado das medidas de teste separadas por método. ....	45
Figura 6-11: Distribuição das Frequências Relativas de ocorrência de erro de distâncias, em classes de 5 metros. ....	46
Figura 6-12: Distribuição dos métodos utilizados, automaticamente, pelo sistema nas medições. ....	46
Figura 6-13: Exemplo gráfico da distribuição X desempenho dos métodos. ....	47
Figura 6-14: Distribuição das frequências relativas acumuladas de ocorrência de distância, em classes de 5 metros. ....	48
Figura 6-15: Medições realizadas no Centro do Rio de Janeiro em ambiente externo. ....	49
Figura 6-16: Distribuição das frequências relativas de ocorrência de erros de distância. ....	49
Figura 6-17: Distribuição dos métodos utilizados. ....	50
Figura 6-18: Chamada de Teste (Método A-GPS). ....	51
Figura 6-19: Chamadas de teste (método A-GPS+AFLT). ....	52
Figura 6-20: Distribuição de chamadas (método A-GPS + AFLT). ....	52
Figura 6-21: Chamadas de teste (método AFLT). ....	53
Figura 6-22: Distribuição de chamadas (método AFLT). ....	53
Figura 6-23: Ponto definido na BSA para centro de área da BTS. ....	54

Figura 6-24: Eficiência dos métodos de localização nas medições realizadas no Centro do Rio de Janeiro em ambiente externo.....	55
Figura 6-25: Eficiência do sistema.....	56
Figura 6-26: Medições realizadas na Zona Norte do Rio de Janeiro em ambiente externo..	57
Figura 6-27: Distribuição das frequências relativas de ocorrência de erros de distância.....	58
Figura 6-28: Distribuição dos métodos utilizados.....	58
Figura 6-29: Chamadas de teste (método A-GPS).....	59
Figura 6-30: Distribuição de chamadas (método A-GPS).....	59
Figura 6-31: Chamada de teste (método A-GPS+AFLT).....	60
Figura 6-32: Eficiência dos métodos de localização nas medições realizadas na Zona Norte do Rio de Janeiro, em ambiente externo.....	61
Figura 6-33: Eficiência do sistema.....	62
Figura 6-34: Medições realizadas na Zona Sul do Rio de Janeiro, em ambiente externo. ...	63
Figura 6-35: Distribuição das frequências relativas de ocorrência de erros de distância.....	63
Figura 6-36: Distribuição dos métodos utilizados.....	64
Figura 6-37: Chamadas de teste (método A-GPS).....	65
Figura 6-38: Distribuição de chamadas (método A-GPS).....	65
Figura 6-39: Chamadas de teste (método A-GPS+AFLT).....	66
Figura 6-40: Eficiência dos métodos de localização nas medições realizadas na Zona Sul do Rio de Janeiro, em ambiente externo.....	67
Figura 6-41: Eficiência do sistema.....	68
Figura 6-42: Medições realizadas na Zona Oeste do Rio de Janeiro, em ambiente externo.	69
Figura 6-43: Chamadas de teste (método A-GPS).....	70
Figura 6-44: Distribuição de chamadas (método A-GPS).....	70
Figura 6-45: Eficiência do sistema.....	71
Figura 6-46: Medições realizadas em Niterói, em ambiente externo.....	72
Figura 6-47: Distribuição das frequências relativas de ocorrência de erros de distância.....	73
Figura 6-48: Distribuição dos métodos utilizados.....	73
Figura 6-49: Chamadas de teste (método A-GPS).....	74
Figura 6-50: Chamadas de teste (método A-GPS+AFLT).....	75
Figura 6-51: Distribuição de chamadas (método A-GPS + AFLT).....	76
Figura 6-52: Chamadas de teste (método AFLT).....	77
Figura 6-53: Distribuição de chamadas (método AFLT).....	77
Figura 6-54: Centros de área de células X resultado CELL ID.....	78
Figura 6-55: Eficiência dos métodos de localização nas medições realizadas em Niterói em ambiente externo.....	79
Figura 6-56: Eficiência do sistema.....	80
Figura 6-57: Medições realizadas no centro do Rio de Janeiro em ambiente interno.....	81
Figura 6-58: Distribuição das frequências relativas de ocorrência de erros de distância.....	81
Figura 6-59: Distribuição dos métodos utilizados.....	82
Figura 6-60: Chamadas de teste (método A-GPS+AFLT).....	83
Figura 6-61: Chamadas de teste (método AFLT).....	84
Figura 6-62: Distribuição de chamadas (método AFLT).....	84
Figura 6-63: Eficiência dos métodos de localização nas medições realizadas no Centro do Rio de Janeiro, em ambiente interno.....	85
Figura 6-64: Gráfico mostrando o acumulado de frequências relativas.....	86
Figura 6-65: Medições realizadas na Zona Norte do Rio de Janeiro, em ambiente interno..	87
Figura 6-66: Distribuição das frequências relativas de ocorrência de erros de distância.....	88
Figura 6-67: Distribuição dos métodos utilizados.....	88
Figura 6-68: Chamadas de teste (método A-GPS+AFLT).....	89
Figura 6-69: Chamadas de teste (método A-GPS+AFLT).....	90
Figura 6-70: Distribuição de chamadas (método A-GPS + AFLT).....	90
Figura 6-71: Chamadas de teste (método AFLT).....	91
Figura 6-72: Distribuição de chamadas (método AFLT).....	92

Figura 6-73: Eficiência dos métodos de localização nas medições realizadas na Zona Norte do Rio de Janeiro, em ambiente interno. ....	92
Figura 6-74: Eficiência do sistema. ....	93
Figura 6-75: Medições realizadas na Zona Sul do Rio de Janeiro em ambiente interno. ....	94
Figura 6-76: Distribuição das frequências relativas de ocorrência de erros de distância. ....	95
Figura 6-77: Distribuição dos métodos utilizados. ....	95
Figura 6-78: Chamadas de teste (método A-GPS).....	96
Figura 6-79: Distribuição de chamadas (método A-GPS).....	96
Figura 6-80: Chamadas de teste (método A-GPS+AFLT).....	97
Figura 6-81: Distribuição de chamadas (método A-GPS + AFLT).....	98
Figura 6-82: Chamadas de teste (método AFLT).....	99
Figura 6-83: Distribuição de chamadas (método AFLT).....	99
Figura 6-84: Ponto definido na BSA para centro de área da ERB. ....	100
Figura 6-85: Ponto definido na BSA para centro de área da ERB. ....	100
Figura 6-86: Eficiência dos métodos de localização nas medições realizadas na Zona Sul do Rio de Janeiro em ambiente interno.....	101
Figura 6-87: Eficiência do sistema. ....	102
Figura 6-88: Medições realizadas na Zona Oeste do Rio de Janeiro, em ambiente interno. ....	103
Figura 6-89: Distribuição das frequências relativas de ocorrência de erros de distância. ....	103
Figura 6-90: Distribuição dos métodos utilizados. ....	104
Figura 6-91: Chamadas de teste (método A-GPS).....	104
Figura 6-92: Chamadas de teste (método A-GPS+AFLT).....	105
Figura 6-93: Distribuição de chamadas (método A-GPS + AFLT).....	105
Figura 6-94: Chamadas de teste (método AFLT).....	106
Figura 6-95: Distribuição de chamadas (método AFLT).....	106
Figura 6-96: Ponto definido na BSA para centro de área da ERB. ....	107
Figura 6-97: Eficiência dos métodos de localização nas medições realizadas na Zona Oeste do Rio de Janeiro, em ambiente interno. ....	108
Figura 6-98: Eficiência do sistema. ....	109
Figura 6-99: Medições realizadas em Niterói em ambiente interno. ....	109
Figura 6-100: Distribuição das frequências relativas de ocorrência de erros de distância. .	110
Figura 6-101: Distribuição dos métodos utilizados. ....	110
Figura 6-102: Chamadas de teste (método A-GPS+AFLT).....	111
Figura 6-103: Distribuição de chamadas (método A-GPS + AFLT).....	112
Figura 6-104: Chamadas de teste (método AFLT).....	112
Figura 6-105: Distribuição de chamadas (método AFLT).....	113
Figura 6-106: Distribuição de chamadas pelo método Cell Id. ....	113
Figura 6-107: Centros de área de células X resultado Cell Id. ....	114
Figura 6-108: Eficiência dos métodos de localização nas medições realizadas em Niterói em ambiente interno. ....	115
Figura 6-109: Eficiência do sistema. ....	116
Figura 6-110: Distribuição da utilização dos métodos entre os locais de medição. ....	117
Figura 6-111: Influência do ambiente e a presença de obstáculos na escolha do método. .	119

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1: Campos da tabela BSA ( <i>Base Station Almanac</i> ).....	18
Tabela 5-1: Exemplo de inconsistência do parâmetro ExBaselD da tabela BSA.....	26
Tabela 5-2: Exemplo de pelo menos um ExBaselD resolvível. ....	28
Tabela 6-1: Locais de medição. ....	35
Tabela 6-2: Exemplo do arquivo de registro de chamadas de localização, organizados em tabela, para o levantamento das distâncias.....	38
Tabela 6-3: Relação de coordenadas e distância entre as posições real e obtida nas medições. ....	43
Tabela 6-4: Dados agrupados em classes de 5 metros gerando frequências de eventos (número de vezes que ocorre). ....	44
Tabela 6-5: Quadro geral medições em ambiente externo no Centro do Rio de Janeiro.....	55
Tabela 6-6: Eficiência do sistema no local de medição .....	56
Tabela 6-7: Quadro geral de medições em ambiente externo na Zona Norte do Rio de Janeiro. ....	61
Tabela 6-8: Eficiência do sistema no local de medição .....	62
Tabela 6-9: Quadro geral medições em ambiente externo na Zona Sul do Rio de Janeiro. .	67
Tabela 6-10: Eficiência do sistema no local de medição .....	68
Tabela 6-11: Quadro geral medições em ambiente externo na Zona Oeste do Rio de Janeiro. .....	71
Tabela 6-12: Quadro geral medições em ambiente externo em Niterói.....	79
Tabela 6-13: Eficiência do sistema no local de medição. ....	80
Tabela 6-14: Quadro geral medições em ambiente interno no Centro do Rio de Janeiro.....	85
Tabela 6-15: Eficiência do sistema no local de medição .....	86
Tabela 6-16: Quadro geral medidas teste Zona Norte interno.....	93
Tabela 6-17: Eficiência do sistema no local de medição .....	94
Tabela 6-18: Quadro geral medidas Zona Sul externo.....	102
Tabela 6-19: Quadro geral medidas teste Zona Oeste interno.....	108
Tabela 6-20: Quadro geral medidas teste Niterói interno.....	115
Tabela 6-21: Quadro resumo com dados de eficiência. ....	120

## RESUMO

A localização de estações móveis pessoais em sistemas de comunicações celulares vem recebendo grande atenção nos últimos anos.

O sistema GPS (*Global Positioning System*) apresenta precisão adequada na informação da localização, porém possui alguns aspectos que tornam sua utilização restrita, como a indisponibilidade do sistema em ambientes internos de áreas metropolitanas.

Os avanços e a popularidade da telefonia celular têm motivado o desenvolvimento de métodos de localização que, aliados às técnicas existentes de rádio-localização, e ao próprio sistema GPS, são capazes de prover um bom resultado de localização em ambientes externos e internos.

Os métodos de localização utilizados em redes celulares são complementares e atuam no sistema de forma a prover a localização levando em consideração fatores externos, como densidade de edificações e de Estações Rádio Base, presença de obstáculos e o ambiente onde é solicitada a informação de localização, que pode ser no interior de um edifício (ambiente interno), ou em céu aberto, considerado como ambiente externo.

O objetivo deste trabalho é a análise dos fatores que influenciam a ordem de escolha e a frequência de utilização dos métodos de localização, bem como o estudo dos fatores que influenciam sua eficiência em ambientes internos e externos com alta e baixa densidade de edificações e Estações Rádio Base.

Palavras-chaves: Geolocalização, Rádio-localização, A-GPS, AFLT, e GPS

## ABSTRACT

In the recent years, great attention has been paid to the location of the personal mobile stations in cell phone communication systems.

The GPS (*Global Positioning System*) system presents adequate precision presenting information on the location, however there are some aspects of the system that restrict the use, such as the unavailability of the systems in inside environment in metropolitan areas.

The developments and the popularity of cell phones has motivated the development of localization methods that, together with the existing radio-localization techniques, as well as with the GPS system itself, are capable of promoting a good result in the localization in outdoor and indoor environment.

The localization methods used in cell phone networks are complementary and work in the system in a way so as to provide the localization taking into consideration external factors, such as the density of buildings and base stations, the presence of obstacles and the environment where the localization is requested, that can be inside a building (indoor environment), or outdoors, considered as an external environment.

The goal of this work is to analyze the factors that influence the order in which they are chosen and the frequency of use of the localization methods, as well the results of the study of the factors that influence its effectiveness in indoor and outdoor environments of high and low building and base station densities.

Keywords: geolocalization, radio-location, A-GPS, AFLT and GPS

**ABREVIACÕES**

- AFLT** - *Advanced Forward Link Triangulation*
- A-GPS** - *Assisted Global Position System*
- AMPS** - *Advanced Mobile Phone Service*
- ANATEL** - *Agência Nacional de Telecomunicações*
- AoA** - *Angle of Arrival*
- AS** - *Anti-Spoofing*
- BSA** - *Base Station Almanac*
- BSC** - *Base Station Controller*
- BTS** - *Base Station Transceiver*
- C/A** - *Coarse Acquisition*
- CCC** - *Central de Comutação e Controle*
- CDMA** - *Code Division Multiple Access*
- Cell-ID** - *Identificação da Célula*
- CPA** - *Centrais de Programa Armazenado*
- DoD** - *U.S. Department of Defense*
- DS-SS** - *Direct Sequence Spread Spectrum*
- E911** - *Wireless Enhanced 911*
- ERB** - *Estação Rádio Base*
- EIA** - *European Industries Association*
- ESTI** - *European Telecommunications Standards Institute*
- FAA** - *Federal Aviation Agency*
- FDMA** - *Frequency Division Multiple Access*
- GMSC** - *Gateway MSC*
- GPS** - *Global Positioning System*
- GSM** - *Global System for Mobile Communication*
- HLR** - *Home Location Register*
- IS-54** - *Interim Standard*
- m-Commerce** - *Comércio Eletrônico Móvel*
- MEO** - *Medium Earth Orbit*
- MS** - *Mobile Station*
- MSC** - *Mobile Switching Center*
- P** - *Precision code*
- PDE** - *Position Determining Entity*

**PPS** - *Precise Positioning Service*  
**PRNs** - *Pseudo Random Noise codes*  
**RADAR** - *Radio Detection and Ranging*  
**SA** - *Selective Availability*  
**SIM** - *International Mobile Subscriber Identity*  
**SME** - *Short Message Entity*  
**SME** - *Serviço Móvel Especial*  
**SMP** - *Serviço Móvel Pessoal*  
**SMS** - *Short Message Service*  
**SPS** - *Standard Positioning Service*  
**STP** - *Signal Transfer Point*  
**TDMA** - *Time Division Multiple Access*  
**TDoA** - *Differencial Time of Arrival*  
**TIA** - *Telecommunication Industries Association*  
**ToA** - *Time of Arrival*  
**VLR** - *Visitor Location Register*  
**VM** – *Voice Mail*  
**WARN** - *Wide Area Reference Network.*

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Histórico

Desde a pré-história o homem sentia a necessidade de se orientar, e montanhas, árvores e lagos eram utilizados como pontos de referência para se localizar. Centenas de anos depois, na época das Grandes Navegações, com a necessidade de explorar oceanos onde não era possível visualizar esses objetos, conhecer e identificar os astros se tornou cada vez mais essencial para a sobrevivência do homem e, durante anos, o sol, a lua e as estrelas foram os principais pontos de referência para a navegação.

A representação gráfica do espaço através de mapas e cartas traduzia figuras abstratas em novos pontos de referência. A posição relativa dos astros e seu arranjo, visto de pontos diferentes da Terra, definiam para o homem sua localização e, para uma melhor precisão, foram inventados instrumentos especiais para a medida dos ângulos entre as estrelas. Já nesta época se utilizava os conceitos geométricos dos triângulos, onde as estrelas se tornavam os pontos de referência conhecidos e as medidas dos ângulos entre elas definiam a localização da embarcação.

Séculos mais tarde, após a descoberta e colonização de novas terras, a necessidade de se localizar cedia vez à necessidade de se comunicar através de grandes distâncias. Cartas e jornais eram os instrumentos de comunicação utilizados e desde, o seu envio até sua chegada ao destino, tinha atrasos de dias e semanas.

Com o envio da primeira mensagem através de seu sistema de telegrafia, Samuel Morse, em 1844, deu início às pesquisas que resultaram na descoberta futura do telefone. O telégrafo trouxe a imprensa para a idade moderna. Em 1854, a telegrafia já estava disponível como um serviço para o público geral e, com este advento, o fluxo das informações passou a ser quase instantâneo.

Passados 22 anos, Alexander Graham Bell e seu ajudante Thomas A. Watson, trabalhando em um projeto relacionado ao sistema de telegrafia, por acaso, conseguiram produzir uma corrente elétrica na mesma intensidade que o ar variava. Um ano de trabalho após esta descoberta garantiu a Graham Bell, em 14 de fevereiro de 1876, a patente do telefone, descrevendo seu instrumento como "... O aparelho para transmitir voz e outros sons (...) pelas variações da corrente elétrica, similares às variações do ar, acompanhando cada

palavra pronunciada...”. A partir deste ponto da história, a evolução dos sistemas de telecomunicações se confunde com a criação e evolução do sistema telefônico.

Em 1887, o italiano Guilherme Marconi comprovava, na prática, a existência das ondas eletromagnéticas estudada por Hertz. Em 1895, Marconi requereu a primeira patente de um aparelho transmissor sem fio.

Em 1912 surgiu a rádio-navegação. Não era muito precisa, mas funcionou até que, durante a II Guerra, foi desenvolvido o RADAR – Radio Detection and Ranging com a capacidade de medir lapsos de tempo entre emissão/recepção de ondas de rádio. No início dos anos 60, o sistema GPS (*Global Positioning System*) foi concebido pelo Departamento de Defesa dos EUA sob o nome de ‘projeto NAVSTAR’, que consiste de uma constelação de 24 satélites, unidades de monitoração na terra e receptores GPS.

Os anos 80 foram o cenário para um extraordinário progresso da tecnologia móvel. A primeira rede celular foi ativada em Chicago, em 13 de outubro de 1983. As centrais CPA (Centrais de Programa Armazenado) e os enlaces digitais, via rádio ou cabo óptico, tornaram a telefonia móvel mais econômica e seus assinantes podem desfrutar a quase totalidade de serviços de centrais CPA proporcionados aos telefones da rede fixa.

Nos dias de hoje, os avanços da eletrônica e a integração do mundo da telefonia e da informática possibilitam uma variada gama de serviços, entre eles a possibilidade da utilização do terminal móvel para a localização pessoal.

## 1.2 Revisão Bibliográfica

Para que se possa ter uma visão geral das pesquisas já realizadas sobre o tema, os principais trabalhos desenvolvidos e publicados na literatura técnica serão apresentados a seguir:

El-Rabbany [1] apresentou na publicação *“Introduction to GPS: the Global Positioning System”* o sistema GPS mostrando seus segmentos, sua idéia básica de funcionamento, os sinais GPS e possíveis fontes de erro.

Tsui [2], em *“Fundamentals of global positioning system receivers: a software approach”*, apresentou, de forma detalhada, os princípios de funcionamento dos receptores GPS concentrando o foco nos receptores GPS capazes de receber apenas o código C/A. Nesta publicação também é apresentado o sistema GPS, seus segmentos e sua idéia básica de funcionamento.

Grewal e outros [3] apresentaram, de forma detalhada, em *“GPS Global Positioning Systems, Inertial Navigation and Integration”*, o conceito, elementos e modo de funcionamento do sistema GPS.

Giridhar e Jersey [4] apresentaram em *“Third-Generation CDMA Systems for Enhanced Data Services”* a evolução do sistema CDMA desde o início da telefonia móvel até o WCDMA passando pelas tecnologias CDMA 2000 e 1X-EV.

Alencar [5] apresenta em *“Telefonia Digital”* uma visão básica da telefonia digital.

Xavier e outros [6] apresentaram um estudo sobre a *“Evolução da Telefonia Móvel no Brasil”*.

Noldus[7] apresenta em *“CAMEL – Intelligent Networks For the GSM, GPRS and UMTS networks”* o protocolo de rede inteligente CAMEL para redes GSM, GPRS e UMTS.

Guimarães e Grivet[8] apresentam uma visão geral sobre rádio-localização de terminais móveis.

Caffery Jr.[9] apresenta estudo das principais técnicas de localização em redes celulares CDMA mostrando que as técnicas ToA e TDoA apresentaram melhor.

Stuber e Caffery Jr.[10] descreveram os métodos de localização baseados em ângulo de chegada, intensidade de sinal, e métodos baseados em tempos de chegada e aplicação desses métodos em redes celulares para atender requisitos do FCC.

Caffery Jr. [11] apresenta em *“Wireless Location in CDMA Cellular Radio Systems”* técnicas, algoritmos e fontes de erros de localização em redes celular CDMA, principais fontes de erros.

French [12] apresenta uma visão geral do sistema GPS em “*An Introduction to the Global Positioning System*”

Costa [13] realizou simulações de localização de estações móveis em ambientes micro-celulares empregando um programa de traçado de raios pelo método da força bruta (lançamento de raios).

Campos [14] realizou estudo de técnicas de localização, análise de desempenho do método A-GPS e simulações computacionais para avaliar o desempenho dos métodos baseados na identidade da célula.

Barleze [15] apresenta uma solução híbrida, a partir da análise de três técnicas centradas na rede, ângulo de chegada (*Angle of Arrival - AoA*), tempo de chegada (*Time of Arrival - ToA*) e sua variante, tempo diferencial de chegada (*Differential Time of Arrival - DToA*), com uma técnica baseada no mecanismo móvel denominada sistema de posicionamento global assistido (*Assisted Global Positioning System – A-GPS*).

Aatique [17] analisou o desempenho da técnica TDoA em redes CDMA, comparando e avaliação dos diferentes algoritmos para a estimativa e solução de equações hiperbólicas.

Guedes [18] analisou o método híbrido de localização que combina as medidas de diferença do tempo de chegada (TDoA) do sinal às ERB's, com apenas uma medida de ângulo de chegada (AoA).

Krizman e outros [32] mostraram uma visão superficial de técnicas de rádio-localização em redes celulares.

Além dos livros e artigos listados, documentação técnica de equipamentos, artigos de sites como 3GPP, FCC entre outros ligados ao tema foram utilizados neste estudo.

### 1.3 Motivação

A forma mais comum de se obter informação de localização, utilizando técnicas de rádio-localização, é através de terminais GPS. Porém, apesar de razoavelmente preciso, este método possui algumas desvantagens que limitam o seu uso.

A união dos métodos de localização utilizados em redes celulares possibilitando a localização do terminal celular em ambientes internos, com a precisão da localização do sistema GPS, em ambientes externos, se mostrou uma forma eficiente de possibilitar a localização de pessoas, veículos, etc.

O aperfeiçoamento dos métodos de localização utilizando a rede celular tem recebido uma grande atenção em função do crescimento de aplicações baseadas em localização, como por exemplo:

Em muitos países há planos de criação de legislação sobre exigências de precisão para a localização de estações móveis, por razões de segurança. Os sistemas poderiam, também, ser usados para localizar criminosos, produtos roubados ou prestar socorro a pessoas que, por algum motivo estivessem impossibilitadas de informar a sua localização. Nos Estados Unidos, a regulamentação E911 (*Wireless Enhanced 911*) exigiu, em sua segunda fase de implantação, em 01/10/1996, que as operadoras deveriam ser capazes de informar a posição do usuário com uma precisão de 125 metros em, no mínimo, 67 % do tempo [8].

As empresas operadoras de serviços celulares podem usar o posicionamento da MS (*Mobile Station*) para prover novos serviços e, também, para planejamento e monitoração de qualidade e desempenho de sua rede, tornando-a mais eficiente. Com base em medidas precisas de localização geográfica, as operadoras poderiam oferecer chamadas com um menor custo, em certas regiões, para poder competir com a operadora fixa local. As operadoras, ou provedores de serviços a elas associados, poderiam oferecer ao assinante serviços de comércio eletrônico móvel (*m-Commerce*) e serviços de informação de toda a natureza.

A gama de novos serviços acima descrita foi a grande fonte de motivação para a realização deste trabalho.

#### 1.4 Objetivo

O objetivo deste trabalho é a análise dos métodos de localização utilizados em redes celulares e dos fatores que influenciam a ordem de escolha e frequência de utilização destes métodos em ambientes internos e externos, com alta e baixa densidade de edificações e Estações Rádio Base, através de medições realizadas em uma rede celular nas cidades do Rio de Janeiro e Niterói.

#### 1.5 Roteiro

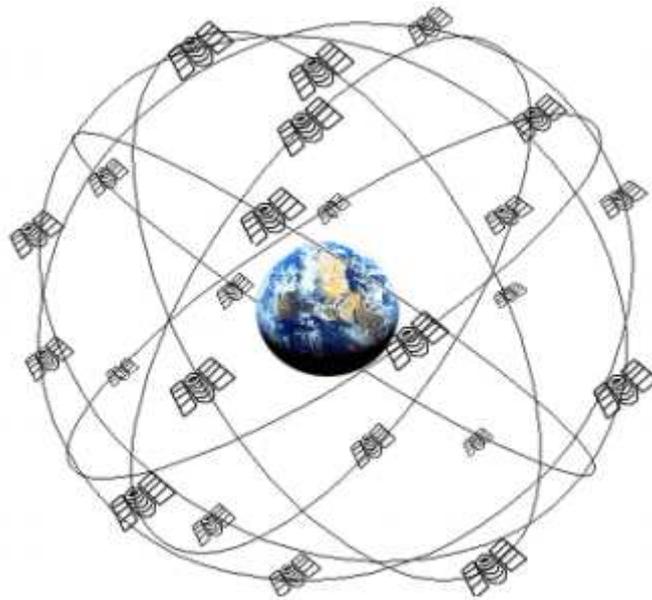
Esta dissertação está organizada como segue:

No capítulo 1 foi feita uma introdução ao problema da rádio-localização. No capítulo 2 é apresentado o conceito e o modo de operação do sistema GPS (*Global Positioning System*). No capítulo 3 é apresentado o Sistema Móvel Celular, mostrando seus elementos e suas funções, no que se refere à localização. No capítulo 4 são descritas as técnicas de rádio-localização. O capítulo 5 contém informações sobre os métodos de localização em Redes Celulares. No capítulo 6, são apresentados os recursos, a metodologia, e os resultados das medições realizadas em campo. Por fim, a conclusão do trabalho é apresentada no capítulo 7.

## 2 SISTEMA GPS (*Global Positioning System*)

O sistema GPS (*Global Positioning System*) é um sistema de rádio-navegação desenvolvido pelo Departamento de Defesa Norte Americano (DoD) no começo dos anos 70. Inicialmente, o propósito único do sistema GPS eram aplicações militares, mas, posteriormente, se tornou disponível para aplicações civis [1]. Em 1994, o GPS foi liberado para a navegação aérea [2].

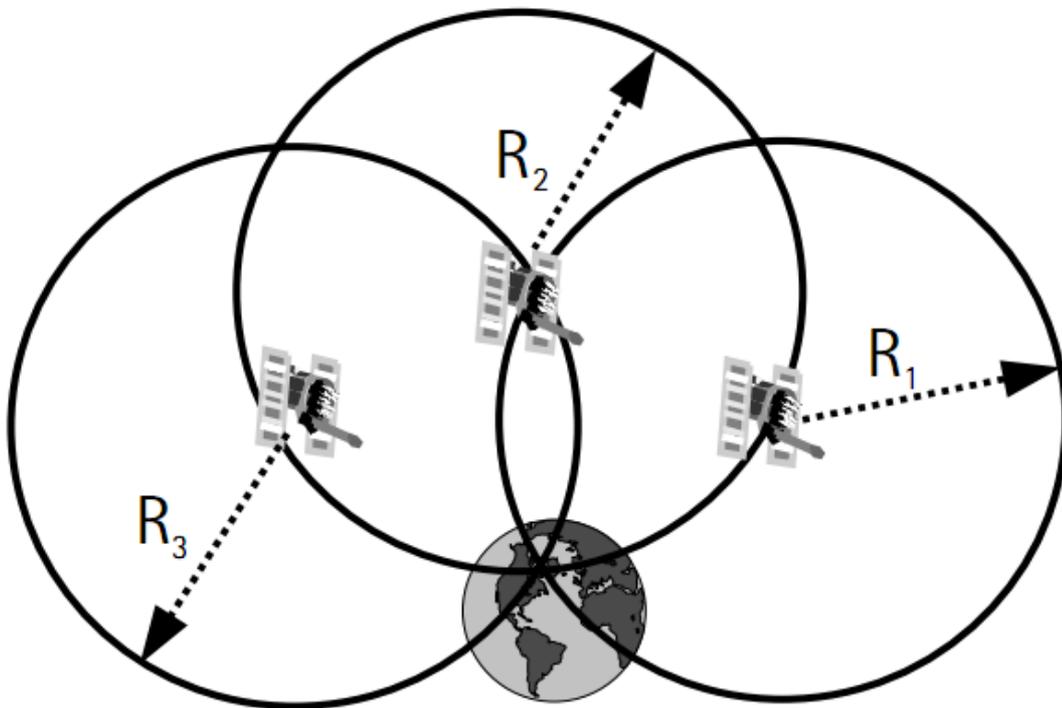
O Sistema GPS é composto de uma constelação de 24 satélites conforme mostrado na Figura 2-1 [3].



**Fonte: Fusão de Dados em Esquemas Híbridos envolvendo A-GPS para Localização de Posicionamento.**

Figura 2-1: Sistema GPS.

O funcionamento do sistema GPS consiste na definição da posição através do cálculo das distâncias ( $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$ ) entre o receptor GPS e três ou mais satélites cujas localizações na órbita da terra são conhecidas conforme está mostrado na Figura 2-2[1]. O receptor do GPS obtém informações sobre os satélites e utiliza essas informações para determinar sua localização e velocidade em qualquer ponto do globo terrestre.



Fonte: Referência [1] EL-RABBANY, Ahmed *“Introduction to GPS: the Global Positioning System”*

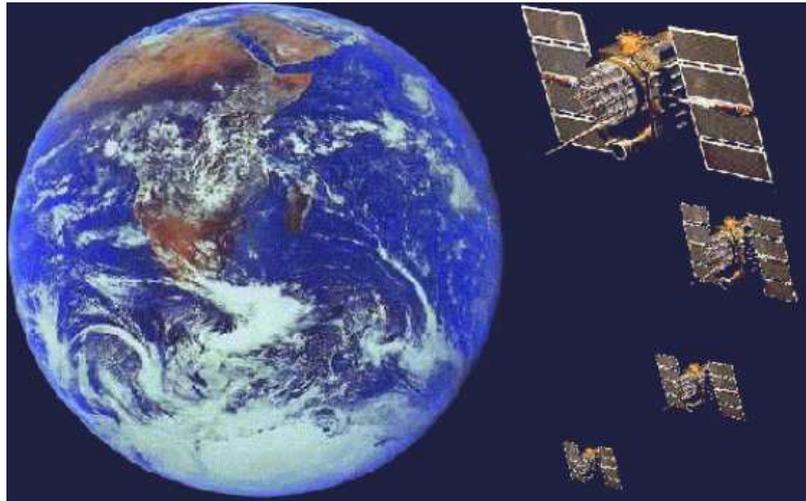
Figura 2-2: Sistema GPS com posição do receptor na interseção das três esferas com centro em cada um dos satélites.

O sistema GPS é composto por três segmentos [1]:

- Segmento Espacial
- Segmento de Controle
- Segmento dos Usuários

### **Segmento Espacial**

O Segmento Espacial é composto, atualmente, pela constelação de 24 satélites de órbita média (MEO - Medium Earth Orbit), sendo 21 operacionais e 3 reservas [3], a uma altitude aproximada de 20.200 km a partir da superfície da terra [2], distribuídos em 6 órbitas, cada uma com 4 satélites, configurados de forma que de 4 a 10 satélites são visíveis a qualquer receptor de GPS [1]. A Figura 2-3 ilustra o Segmento Espacial.



Fonte: BERNARDI, J.V.E. & LANDIM, P.M.B. Aplicação do Sistema de Posicionamento Global (GPS)

Figura 2-3: Segmento espacial formado pela constelação de 24 satélites.

Os satélites transmitem sinais GPS informando a sua identificação e a sua posição na órbita da terra. Cada satélite GPS transmite essas informações em duas ondas portadoras L1 (*Link 1*) e L2 (*Link 2*) [1], com a finalidade de permitir a correção de erros causados pela refração ionosférica.

### **Segmento de Controle**

O segmento de controle é responsável pela operação do sistema GPS. A função principal deste segmento é atualizar a mensagem de navegação transmitida pelos satélites. O segmento de controle consiste das cinco estações de monitoramento (*Ascencion*, *Colorado Springs*, *Diego Garcia*, *Kwajalein* e *Hawaii*) [3] mostradas na Figura 2-4.



Figura 2-4: Estações de monitoramento do sistema GPS.

As estações de monitoramento rastreiam, continuamente, todos os satélites visíveis e estes dados são transmitidos para a estação de controle mestre (*Master Control Station*), em *Colorado Springs*, nos EUA, onde são processados, com a finalidade de determinação das efemérides e das correções dos relógios dos satélites. A mensagem atualizada é, então, transferida para os satélites, para que seja retransmitida aos receptores GPS. Esta transferência pode ocorrer, eventualmente, mais de uma vez por dia [3].

### Segmento dos Usuários

O segmento dos usuários está associado às aplicações do sistema. Refere-se a tudo que se relaciona com a comunidade usuária (receptores, algoritmos, *softwares*, etc.) com vistas à determinação da posição, velocidade e/ou tempo.

Os receptores, de uma forma geral, podem ser classificados segundo as aplicações a que se destinam. Como as aplicações estão intimamente ligadas ao tipo de sinal GPS utilizado, os tipos de receptores diferenciam-se segundo as componentes do sinal que são rastreadas. Por motivos de segurança, nem todos os terminais têm a capacidade de decodificar as informações enviadas nas portadoras L1 e L2.

#### 2.1 Sinais GPS

Os satélites transmitem sinais GPS informando a identificação do satélite e sua posição na órbita da terra. Cada satélite GPS transmite essas informações em duas ondas

portadoras L1 (*Link 1*) e L2 (*Link 2*) derivadas de uma frequência fundamental  $f_0=10,23$  MHz, à qual é multiplicada por 154 e 120 respectivamente [2]. Desta forma, as frequências (L) e os comprimentos de onda ( $\lambda$ ) de L1 e L2 são:

$$L1 = 154 \times f_0 = 1575,42 \text{ MHz}; \lambda = 19 \text{ cm} \quad (2.1)$$

$$L2 = 120 \times f_0 = 1227,60 \text{ MHz}; \lambda = 24 \text{ cm} \quad (2.2)$$

Estas duas frequências são geradas simultaneamente e a finalidade do mesmo sinal ser transportado em duas ondas portadoras é permitir a correção de erros causados pela refração ionosférica. Quando um sinal de rádio percorre a ionosfera está sujeito a atrasos. Sinais de frequências diferentes sofrem atrasos diferentes e, para serem detectados esses atrasos, os satélites enviam seus sinais utilizando essas duas ondas portadoras em diferentes frequências. No destino, os receptores GPS rastreiam ambas as frequências, medem a diferença entre a recepção dos sinais L1 e L2, calculam o atraso, e fazem correções para o efeito da ionosfera [2].

Todos os satélites da constelação utilizam as mesmas frequências. A transmissão simultânea sem interferência é obtida através de espalhamento espectral por sequência direta DS-SS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) [14].

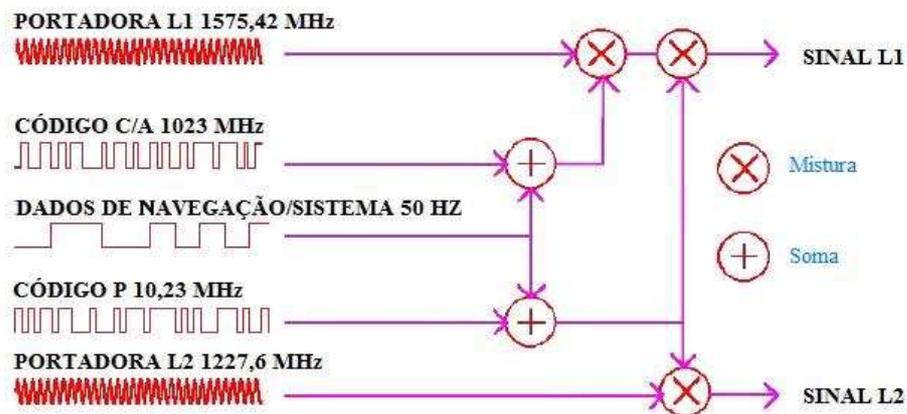
A identificação de cada satélite é enviada nos códigos PRN (*Pseudo Random Noise codes*), que são sinais pseudo-aleatórios, binários, modulados em fase com as portadoras L1 e L2, gerando os códigos C/A (*Coarse/Acquisition code*) e P (*Precision code*) a partir da frequência fundamental  $f_0=10,23$  MHz:

$$\text{Código C/A} \quad f_0 / 10 = 1,023 \text{ MHz}$$

$$\text{Código P} \quad f_0 = 10,23 \text{ MHz}$$

A portadora L1 é modulada com os códigos C/A e P, enquanto L2 apenas com o P.

A Figura 2-5 mostra a formação dos sinais enviados nas Portadoras L1 e L2.



Fonte: Fusão de Dados em Esquemas Híbridos envolvendo A-GPS para Localização de Posicionamento.

Figura 2-5: Formação dos sinais GPS.

No sistema GPS há dois tipos de serviço conhecidos como SPS (*Standard Positioning Service*) e PPS (*Precise Positioning Service*). A diferença entre os dois serviços está na precisão, que é deteriorada propositalmente por motivos de segurança. Os terminais civis, por apenas utilizar o código C/A, têm sua precisão afetada pela técnica SA (*Selective Availability*) cujo objetivo é degradar a precisão por motivos de segurança [2].

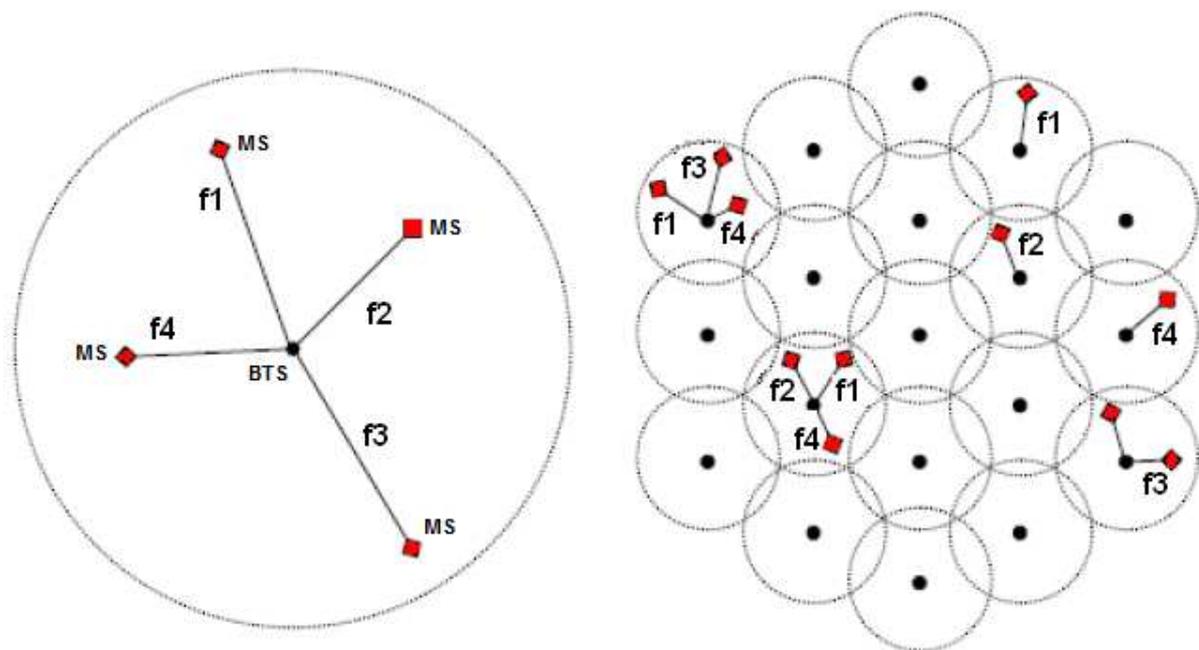
O código P, quando criptografado, torna-se o código Y, ativando a técnica AS (*Anti-Spoofing*), impedindo o acesso ao código P a usuários não autorizados e, por motivos de segurança, apenas receptores GPS militares têm a capacidade de decodificar os códigos P, que estão presentes nas portadoras L1 e L2 [2].

Além da identificação de cada satélite, ambas as portadoras carregam a mensagem de sistema/navegação que transportam dados para correção de relógios, posição e órbita dos satélites. Este conjunto de dados (*Ephemeris*, informações de posição e órbita dos satélites) é chamado de Almanaque, e é enviado do segmento de controle para os satélites e dos satélites para os receptores GPS, contendo informações de todos os satélites [3].

Embora o sistema GPS forneça cobertura global e alta precisão, alguns aspectos tornam inconveniente o seu uso, dentre eles a indisponibilidade do sistema em ambientes internos. A alternativa encontrada foi utilizar a funcionalidade do sistema GPS acrescida de informações auxiliares fornecidas por uma rede de referência. Os dados auxiliares são recebidos por esta rede de referência e enviados para os terminais celulares equipados com receptores GPS, para o cálculo de posição, através da interface de dados com a rede celular. O método de localização A-GPS (*Assisted-GPS*), tema do capítulo 5, utiliza recursos do sistema GPS na localização de terminais celulares.

### 3 SISTEMA MÓVEL CELULAR

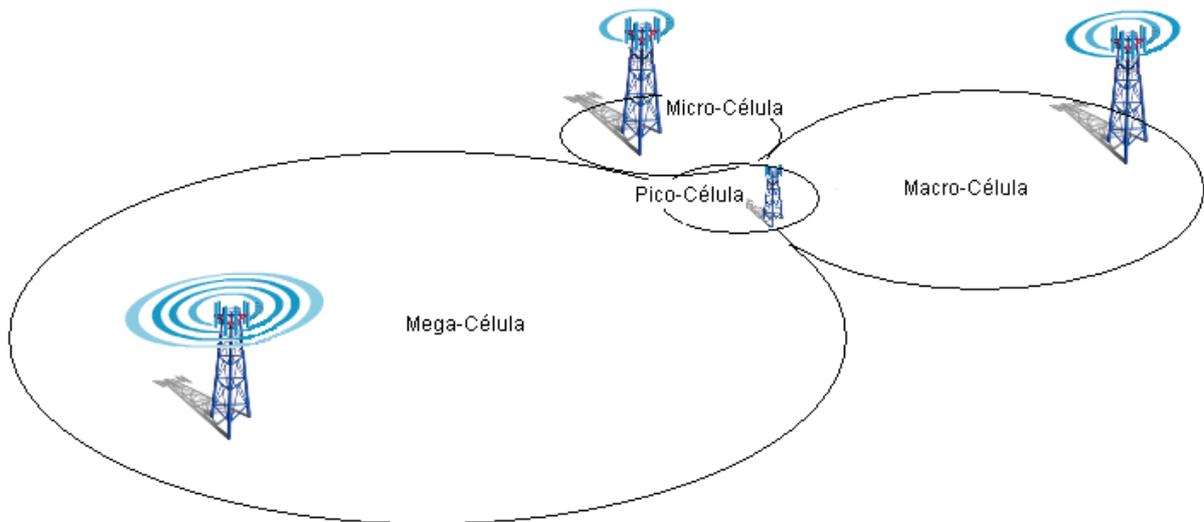
O conceito celular consiste em dividir a área de cobertura do serviço em módulos de atendimento chamados células, cada uma delas é servida por uma BTS (*Base Station Transceiver*). Com isso, a distância entre a BTS e os terminais móveis é menor, usa-se menor potência de transmissão e as frequências utilizadas em uma célula ( $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$  e  $f_4$ ) podem ser reutilizadas em outras células da área de concessão da operadora, conforme mostrado na Figura 3-1 [4].



Fonte: Rede de Comunicações Móveis – Victor Calçada.

Figura 3-1: Conceito celular.

O tamanho da célula é definido, no projeto, em função do tráfego na área. Quanto maior o tráfego, menor o tamanho da célula. A célula é classificada em função do tamanho como Mega-Célula, Macro-Célula, Micro-Célula e Pico-Célula, conforme mostra a Figura 3-2.



**Figura 3-2:** Definição da célula em função do seu raio.

Um sistema celular de segunda geração típico é constituído, basicamente, de três tipos de elementos, além da conexão entre os mesmos. São eles:

**Elementos da rede de acesso:**

- MS – *Mobile Station*
- BTS – *Base Station Transceiver*
- BSC – *Base Station Controller*

**Elementos de comutação e sinalização:**

- MSC – *Mobile Switching Centre*
- GMSC – *Gateway MSC*
- STP – *Signal Transfer Point*

**Plataformas de Serviços:**

- HLR – *Home Local Register*
- SME – *Short Message Entity*
- VM – *Voice Mail*

**Plataformas de serviço de localização:**

- PDE - *Position Determining Entity*
- BSA - *Base Station Almanac*
- REDE WARN - *Wide Area Reference Network*

Estes elementos podem ser visualizados na Figura 3-3

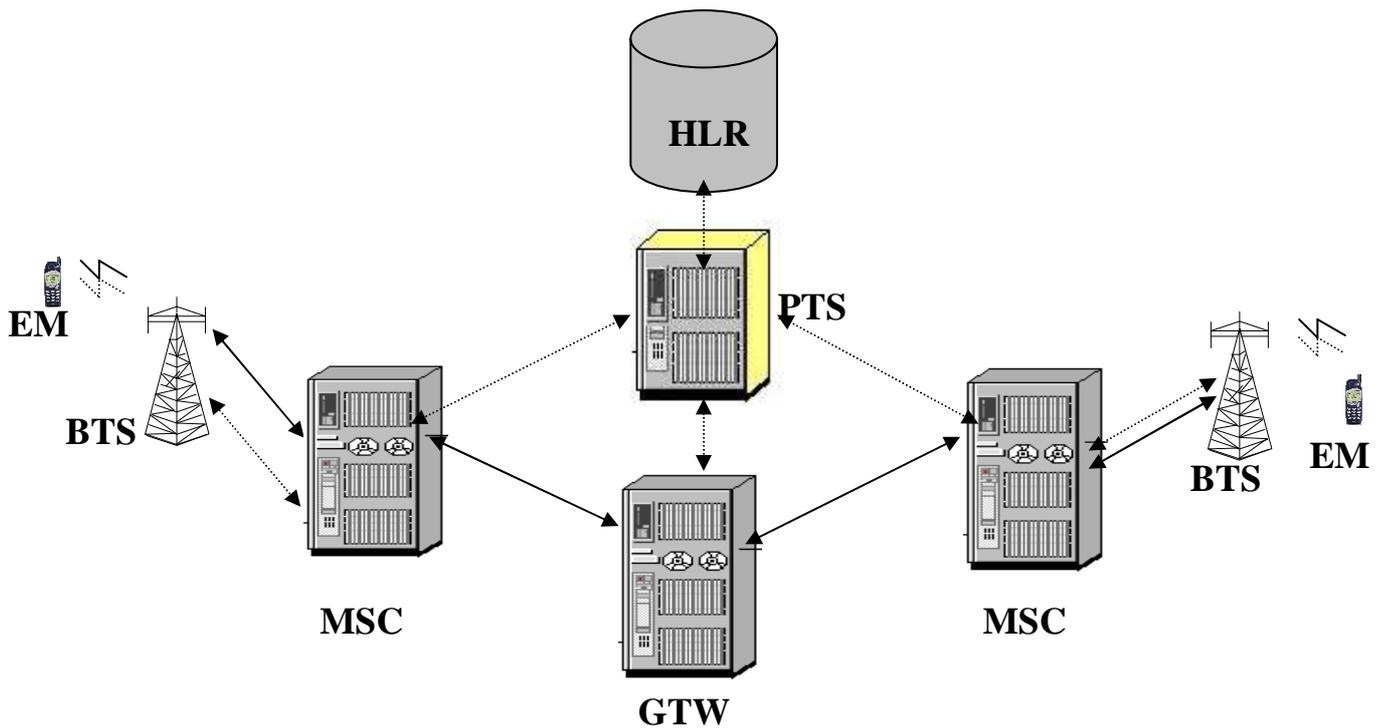


Figura 3-3: Rede celular básica.

### 3.1 Elementos da Rede de Acesso

#### 3.1.1 MS (*Mobile Station*)

A MS (*Mobile Station*) é o elemento que permite que o assinante se conecte à rede celular, através da comunicação com uma BTS (*Base Station Transceiver*). A comunicação é feita por métodos de acesso e pode ser feita de forma analógica ou digital.

#### 3.1.2 BTS (*Base Station Transceiver*)

A BTS (*Base Station Transceiver*) ou ERB (Estação Rádio Base) é o elemento da rede que fornece acesso às MS presentes, em sua área de cobertura, através dos métodos de acesso listados acima. A BTS recebe e transmite informações, via rádio, às MS e repassa sinais às MSC (*Mobile Switching Centre*) para que uma chamada seja controlada [7].

### 3.1.3 BSC (*Base Station Controller*)

A BSC (*Base Station Controller*) conecta a BTS à MSC (*Mobile Switching Centre*) e é responsável pelas funções de controle da BTS, definição de *Vocoder* e cancelamento de eco.

## 3.2 Elementos de Comutação e Sinalização.

### 3.2.1 MSC – (*Mobile Switching Centre*)

A MSC (*Mobile Switching Centre*) é o elemento que controla toda a rede celular, sendo responsável pela coordenação de um conjunto de BTS que lhe enviam sinais de voz, dados ou controle, para que se estabeleça a comunicação entre usuários da própria rede móvel ou com outras redes externas [7].

A MSC possui uma unidade que registra, dinamicamente, em uma base de dados, todos os usuários que estão sendo servidos pelas BTS a ela filiadas. Essa unidade é conhecida como Registro de Localização de Visitantes – VLR (*Visitor Location Register*). O registro no VLR é mantido durante a permanência da EM na área de cobertura das BTS filiadas a MSC. É importante ressaltar que o registro no VLR é realizado, desde que seja autorizado pelo HLR (*Home Local Register*) [7].

### 3.2.2 GMSC (*Gateway MSC*)

A Função da GMSC (*Gateway MSC*) é interligar as diversas MSC de forma otimizar a utilização de transmissão entre as MSC e plataformas, reduzindo custos e melhorando a operação da rede. A GMSC não possui assinantes registrados e se conecta ao HLR com a finalidade de prover a terminação de chamadas e a plataformas de serviços, como VM (*Voice Mail*) e Plataformas de Rede Inteligente provendo serviços de valor agregado. A interconexão com outras Redes também é feita pelas GTWs [7].

### 3.2.3 STP (*Signal Transfer Point*)

O STP (*Signal Transfer Point*) tem a função semelhante à das GMSC. No entanto, ele não comuta chamadas. O papel de um STP numa rede telefônica é tratar e processar a

sinalização entre elementos de rede de forma otimizar a utilização de *links* de sinalização entre essas centrais e plataformas reduzindo custos e melhorando a operação da rede.

### 3.3 Plataformas de Serviços

#### 3.3.1 HLR (*Home Local Register*)

O HLR (*Home Local Register*) é um elemento que possui uma base de dados com informações de todos os assinantes da rede móvel celular. Os registros contêm informações de naturezas variadas, como por exemplo, a MSC na qual o assinante está registrado, seus serviços adicionais agregados, sua situação de adimplência, etc. O HLR é responsável por enviar informações ao VLR (*Visitor Local Register*), entidade localizada na MSC, na qual ficam armazenados temporariamente os dados dos assinantes durante a permanência da EM nas BTS filiadas a MSC [7].

#### 3.3.2 SMS (*Short Message Entity*)

A Plataforma de SMS (*Short Message Entity*) é responsável por receber as mensagens de texto das MSC, identificar e encaminhar para a rede de destino e, no caso da rede de destino ser a sua própria rede, consultar o HLR em qual MSC a EM está registrada. A plataforma de SMS possui interfaces lógicas com os HLR, com as MSC e com as Plataformas de SMS de outras operadoras. Fisicamente, a plataforma de SMS normalmente está conectada a um PTS que também possui interfaces físicas com os demais elementos de rede [7].

#### 3.3.3 VM (*Voice Mail*)

A Plataforma de VM (*Voice Mail*) é responsável pelo armazenamento de mensagens de voz. Sua interface pode ser tanto com as GMSC, como com as MSC. Esta plataforma também pode ter interface com o PTS para transferência de sinalização.

### 3.4 Plataformas de Serviços de Localização

#### 3.4.1 PDE (*Position Determining Entity*)

A PDE (*Position Determining Entity*) é a responsável pelos cálculos e definição do método de localização. Possui interface com o BSA (*Base Station Almanac*), com a rede WARN (*Wide Area Reference Network*) e com a rede celular. A PDE provê a localização em todos os níveis de precisão, desde o menos preciso, através da simples identificação da MSC servidora ou setor de BTS, aos mais precisos, através da interface com a BSA e Rede WARN, viabilizando a utilização dos métodos AFLT e A-GPS que serão descritas no capítulo 6.

#### 3.4.2 BSA (*Base Station Almanac*)

O BSA (*Base Station Almanac*) é um banco de dados de 25 campos que fica localizado no PDE, carregado com dados que identificam características críticas das BTS próximas à EM. No BSA, cada setor de uma BTS é identificado. O BSA é utilizado para iniciar o algoritmo de localização no PDE e sua manutenção é um dos pontos críticos do sistema.

A Tabela 3-1 mostra os campos do BSA com o exemplo de dados de um setor de uma BTS.

Tabela 3-1: Campos da tabela BSA (*Base Station Almanac*).

Nome do Campo (Descrição)	Valor de Exemplo	Unidades
Nome do Setor Piloto	SABC1	ASCII
SIId (Identidade do Sistema)	4112	int
NIId (Identidade da Rede)	1	int
Extend BId (Identidade da Base Estendida)	162070927	int
T-PN (Offset de Canal Piloto)	18	int
Antenna Lati (Latitude da Antena)	-22,90068744	graus
Antenna Longi (Longitude da Antena)	-43,18765928	graus
Antenna Alti (Altitude da Antena)	63,7032	m
Antenna Loc Accu (Precisão de Localização da Antena)	100	cm
Sector Center Lati (Latitude do Centro do Setor)	-22,89971	graus
Sector Center Longi (Longitude do Centro do Setor)	-43,184895	graus
Sector Center Alti (Altitude do Centro do Setor)	63,7032	m

Fonte: Documentação Técnica BSA – Telefônica/VIVO – Versão 1.0 – Março de 2005

### 3.4.3 Rede WARN - (Wide Area Reference Network)

A rede WARN (*Wide Area Reference Network*) é uma rede de receptores GPS organizada sob a área de cobertura da rede de satélites GPS e responsável por receber e transmitir ao PDE as informações de *Almanac* e *Ephemeris* a partir dos satélites. A Figura 3-4 mostra a rede de receptores e suas respectivas áreas de cobertura. As informações de *Almanac* e *Ephemeris* são recebidas por esses receptores e enviadas para um banco de dados no PDE.

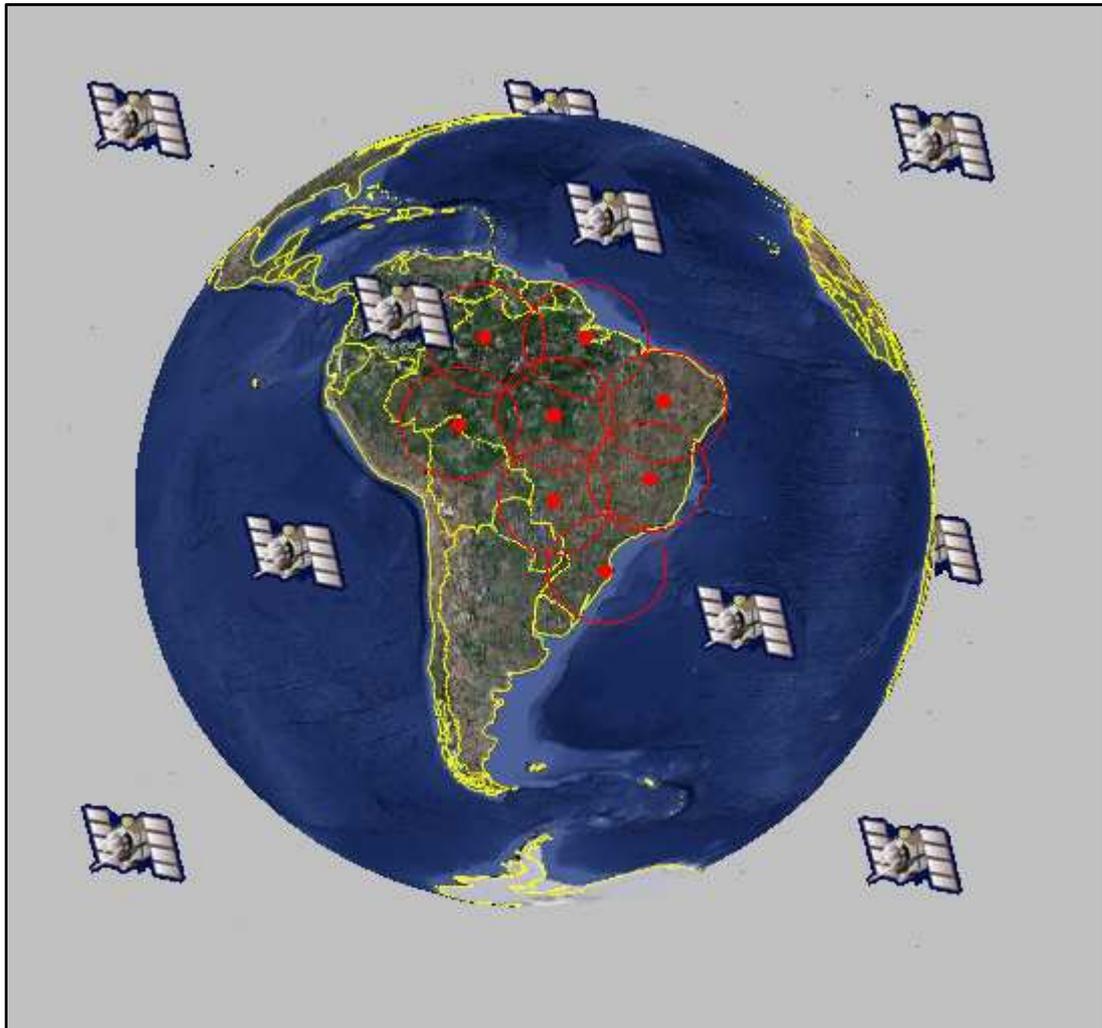


Figura 3-4: Rede WARN - Exemplo de rede de receptores GPS.

## 4 TÉCNICAS DE RÁDIO-LOCALIZAÇÃO

Neste capítulo são descritas as técnicas de rádio-localização mais comuns que, aliadas a técnicas específicas do sistema no qual se deseja obter a localização, resultam nos métodos de localização que será o tema do capítulo 5 deste trabalho.

### 4.1 Técnica Baseada em Medida de Potência

Na medida em que a distância entre a BTS e a MS aumenta, a intensidade do sinal transmitido diminui. A diferença, em decibéis, entre o sinal original transmitido e o sinal recebido é chamada de atenuação [13].

Conhecidos os níveis de sinal transmitido e recebido, é possível determinar a atenuação do sinal. Com base na atenuação do sinal é possível estimar a distância entre a MS e a BTS. A localização da MS é definida ao se envolver, no mínimo, três BTS neste cálculo (intersecção de três círculos) [13]. A Figura 4-1 ilustra o conceito, onde P1, P2 e P3 são os níveis de potência recebidos e a intersecção dos três círculos resultantes define a posição do móvel.

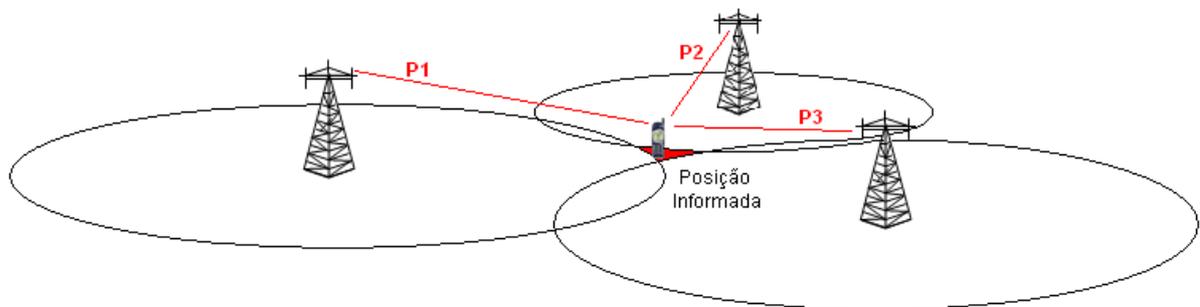


Figura 4-1: Localização da MS pela técnica baseada em Medida de Potência.

Como em outras técnicas, o multipercurso provoca reduções na intensidade do sinal e levam a subestimar a distância entre a MS e a BTS [8]. Outro problema, relacionado a esta técnica, é que alguns sistemas móveis, a partir da 2ª geração, utilizam mecanismos de controle de potência que mascaram a atenuação sofrida pelo sinal no percurso. No sistema CDMA, por exemplo, a potência da MS é controlada para combater o efeito perto-distante já que, nestes sistemas, a separação dos sinais dos diversos terminais móveis em uma BTS requer que sejam recebidos, idealmente, no mesmo nível de potência. Os sistemas TDMA, embora não apresentem este requisito, utilizam o controle de potência para conservar a bateria e reduzir o

nível de interferência na área de cobertura. Em um ambiente com muitos anteparos, tal como o interior de um escritório, medir a distância utilizando-se a atenuação é menos preciso do que o utilizando o tempo de propagação [13].

#### 4.2 Técnica Baseada em Ângulo de Chegada (AoA)

Os métodos de localização AoA (*Angle of Arrival*), ou DoA (*Direction of Arrival*), estimam a posição do terminal móvel através da medição do ângulo de chegada do sinal e utilizam um sistema de antenas inteligentes. Este sistema é constituído, essencialmente, de um ou mais conjuntos de elementos irradiantes denominados matrizes ou *Arrays*. O sinal transmitido é detectado por estes elementos, produzindo diversas versões defasadas do sinal, que são combinadas para determinar a direção de chegada da onda [8].

A estimativa da posição do terminal móvel é obtida pela interseção das linhas de posição de, pelo menos, duas BTS. Estas linhas de posição são retas definidas pela posição da BTS e pelo ângulo de recepção do sinal do MS na BTS conforme mostrado na Figura 4-2. É necessário conhecer, também, a distância entre as BTS, bem como sua localização [8].

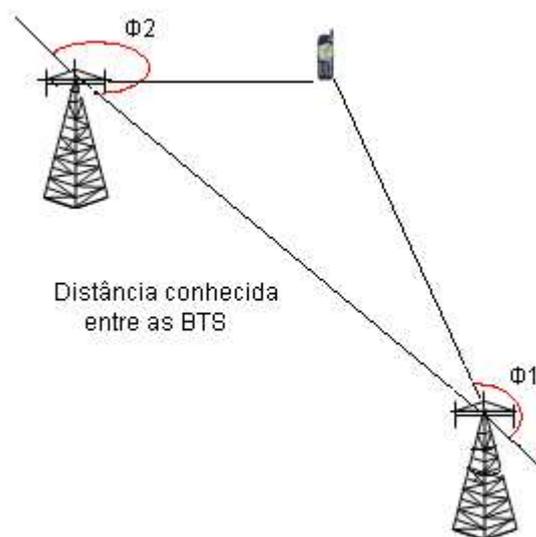


Figura 4-2: Localização da MS pela técnica baseada em Ângulo de Chegada.

Algumas vantagens são visíveis nesta técnica, como a quantidade mínima de duas BTS para estimar a posição da MS, enquanto que a técnica baseada em medida de potência exige, no mínimo, três BTS [8]. Outro fator favorável é que a técnica AoA/DoA é inteiramente baseada na rede, não requerendo substituição da MS ou atualização de *software*

da mesma [14], além de não requerer critérios rigorosos de sincronismo com as BTS, como as exigidas em alguns nos métodos baseados na medida de tempo [8].

Algumas desvantagens também são visíveis nesta técnica. A precisão da técnica AoA diminui com o aumento da distância entre a BTS e a MS. No caso de erro no ângulo medido, quanto maior for a distância entre o transmissor e o receptor, maior será a diferença entre a posição estimada e a real. Esta técnica também é sensível a múltiplos percursos do sinal e seu desempenho depende, significativamente, do ambiente de propagação, uma vez que a presença de espalhadores ou obstáculos próximos da MS e da BTS afetam as medidas de ângulo, produzindo, na recepção, diversas réplicas do sinal transmitido, acarretando erros na estimativa da posição da MS [8]. Além disso, se não houver linha de visada entre a BTS e a MS, a direção do sinal refletido dá uma indicação errada da direção verdadeira da fonte. Outros fatores como manutenção do sistema e custo de implantação torna esta técnica pouco interessante economicamente [17].

### 4.3 Técnica Baseada em Tempo de Chegada

Na técnica baseada em tempos de chegada, ToA (*Time of Arrival*), a distância entre a MS e a BTS é estimada através da medida do tempo de propagação do sinal entre elas.

Esta técnica tem o mesmo princípio da técnica de medida de potência, porém o que é verificado é o tempo de chegada do sinal. Conhecidos os tempos de chegada do sinal e a velocidade que o sinal trafega, é possível estimar a distância da MS em relação à BTS [8]. Assim, na técnica de rádio-localização, baseada em tempos de chegada (ToA), a distância entre a BTS e a MS é obtida determinando-se o tempo de propagação do sinal transmitido entre os dois pontos, multiplicando seu valor pela velocidade da luz. Geometricamente, obtém-se um círculo com centro na BTS, uma vez que a MS pode estar em qualquer ponto a partir da BTS até a distância encontrada. Para estimar a localização da MS são necessárias pelo menos três ERB. A Figura 4-3 ilustra o conceito, onde T1, T2 e T3 são os tempos de chegada do sinal e a intersecção dos três círculos resultantes define a posição do móvel.

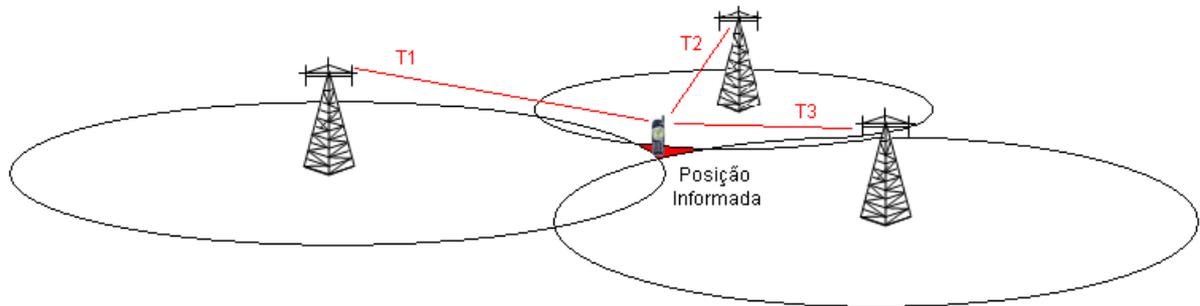


Figura 4-3: Definição da localização do terminal pela técnica TOA.

A técnica baseada em tempos de chegada ToA requer estrita sincronização de relógio entre as Estações Rádio Base e o móvel. Isto é conseguido por meio de bases de tempo padrões, tais como relógios de rubídio ou césio, ou através dos sinais recebidos de satélites GPS, como no sistema IS-95(CDMA) [8].

A técnica ToA tem um grande potencial para prover alta precisão na estimação de localização. Diferentemente da técnica AoA, a técnica baseada no tempo de chegada não se degrada fortemente com o aumento da distância entre a MS e as BTS e não é necessário instalar um novo conjunto de antenas em cada estação. Ainda assim, a propagação em visada direta (*LOS*) é necessária para obter alta precisão [13].

## 5 MÉTODOS DE LOCALIZAÇÃO EM REDES CDMA

Os métodos de localização serão apresentados de forma inversa à sua precisão, ou seja, primeiramente serão apresentados os métodos menos precisos, como o método Centróide de SId, passando, então, por métodos progressivamente mais precisos, até o A-GPS.

Para que os métodos mais precisos funcionem adequadamente, é necessário que os métodos de menor precisão funcionem e forneçam informações básicas ao sistema. Assim, em qualquer chamada de localização, inicialmente são obtidas as informações básicas através dos métodos de menor precisão, por exemplo, a BTS onde a MS está registrada. Estas informações já são úteis para a obtenção de novas informações, com o conjunto de estações vizinhas possibilitando a utilização de métodos mais precisos. Se o método mais preciso falhar, o sistema utiliza o método menos preciso, da tentativa anterior, para a definição da localização.

Neste capítulo serão apresentados os seguintes métodos de localização utilizados em Redes Celulares:

- Centróide de SId (*System Identification*)
- Centróide de Cell Id (*Cell Identification*)
- Centróide de Células Mistas
- AFLT (*Advanced Forward Link Trilateration*)
- HÍBRIDO DE A-GPS + AFLT
- A-GPS (*Assisted GPS*)

Nos métodos descritos acima, apenas os métodos AFLT e A-GPS e o Híbrido de A-GPS+AFLT utilizam algumas das técnicas descritas no capítulo 4.

### 5.1 Método Centróide de Sid

Este método informa ao sistema as coordenadas do centróide da área composta pelas BTS com as quais o terminal móvel pode se comunicar, dentro de uma área de serviço prestada pela operadora de telefonia celular. O PDE usa esta técnica de localização quando a pesquisa da BTS no BSA (*Base Station Almanac*) falha e, neste caso, não é possível seguir com a pesquisa de localização da MS utilizando outros métodos.

O método Centróide de SId não utiliza nenhuma das técnicas de localização mostradas no capítulo anterior, e é baseado em funções e parâmetros de gerenciamento de mobilidade já

existentes nas redes celulares, não sendo necessárias quaisquer modificações na rede ou nos terminais de acesso [17].

SId (*System Identification*) é a identificação do sistema, e é um termo genérico (um parâmetro de rede) que se refere a uma região de serviço de uma operadora. As BTS informam à MS o SId a que pertencem. Normalmente, as operadoras celulares utilizam este parâmetro para demarcar áreas de registro e, através desta informação, a MS pode informar ao usuário se o mesmo se encontra em *Roaming*, ou seja, fora de sua área de registro. O estado do Rio de Janeiro, por exemplo, possui três áreas de registro que são as áreas 21, 22 e 24. Cada uma dessas áreas possui um SId diferente e, conforme está mostrado na Figura 5-1, sua precisão pode variar de dezenas a centenas de quilômetros.



Figura 5-1: Áreas de Registro do Estado do Rio de Janeiro.

O Centróide de SId é um método que o PDE usa quando não consegue resolver os dados de BSA. Se a PDE não consegue identificar no BSA pelo menos uma BTS, ele retorna para o sistema a informação do SId do sistema. Como exemplo, conforme está mostrado na Tabela 5-1, o parâmetro *ExBaseId* (Identificação de Base Estendida) enviado pelo móvel à PDE não é válido para nenhuma das BTS informadas pelo móvel. O parâmetro *ExBaseID* em conjunto com o Código PN (*Pseudo Noise Code*), identificam a BTS no BSA. Como o Código PN pode ser reutilizado dentro de um mesmo SId, a informação do *ExBaseID* é importante para identificação da BTS no BSA e, neste exemplo da Tabela 5-1, o PDE retorna à aplicação o SId da área dos PN listados.

Tabela 5-1: Exemplo de inconsistência do parâmetro ExBaseID da tabela BSA.

<b>Id</b>	<b>ExBaseId</b>	<b>T-PN</b>	<b>Latitude da Antena</b>	<b>Longitude da Antena</b>
309	(não resolvível)	242	-22,90068744	-43,18765928
309	(não resolvível)	140	-22,90118482	-43,18799613
309	(não resolvível)	320	-22,90118482	-43,18799613
309	(não resolvível)	102	-22,90096488	-43,18811952
309	(não resolvível)	280	-22,90096488	-43,18811952
309	(não resolvível)	292	-22,49731751	-44,04719291

Esta inconsistência entre o enviado pelo móvel e o definido no BSA pode ocorrer quando as operadoras lançam redes e não configuram suas estações no BSA, ou quando configuram de forma incorreta os dados no BSA.

Para definir a localização do móvel pelo Método Centróide de SID, a PDE segue os seguintes passos:

- 1) Pesquisa as latitudes e longitudes de todas as BTS dentro daquele SID;
- 2) Calcula a área geográfica representada por essas latitudes e longitudes;
- 3) Calcula o centróide dessa área geográfica;
- 4) Utiliza este centróide como o resultado aproximado de localização.

## 5.2 Método Centróide de Cell Id

No método Cell Id (*Cell Identity*), qualquer que seja a localização do móvel, a posição informada, para o caso da BTS possuir antena Onidirecional, terá a latitude e a longitude da BTS, conforme mostra a Figura 5-2.

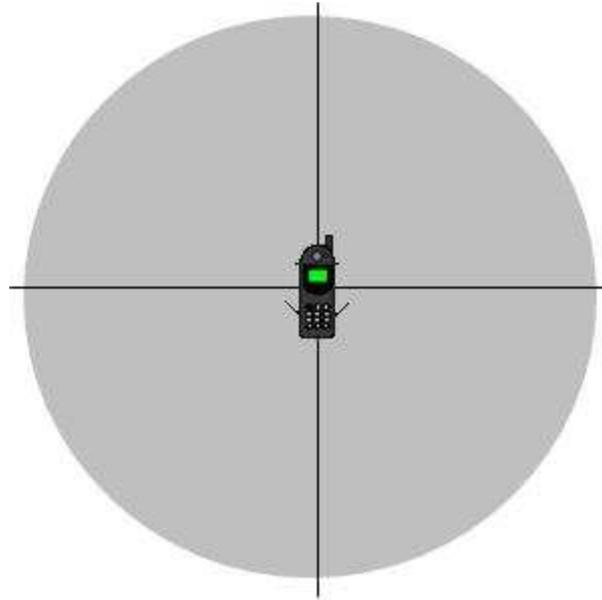


Figura 5-2: Método Cell ID em antenas onidirecionais.

Para o caso de antenas setorizadas, a posição do móvel será as coordenadas do centróide do setor, conforme mostra a Figura 5-3.

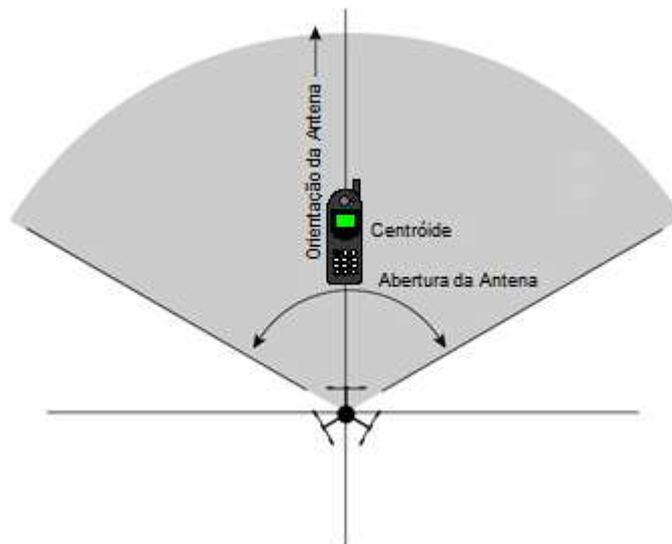


Figura 5-3: Método Cell ID em antenas setorizadas.

Tanto o método Cell Id (*Cell Identity*) como o método Centróide de SId não utilizam nenhuma das técnicas de localização mostradas no capítulo anterior, sendo baseados em funções e parâmetros de gerenciamento de mobilidade, já existentes nas redes celulares, não sendo necessárias quaisquer modificações na rede ou nos terminais de acesso.

Se a PDE puder resolver os dados de BSA de pelo menos um setor, o método Centróide de Cell ID será utilizado para a definição da posição do móvel utilizando as coordenadas de centro de setor informada do BSA, conforme está ilustrado na Tabela 5-2 e na Figura 5-4.

Tabela 5-2: Exemplo de pelo menos um ExBaseID resolvível.

Id	ExBaseID	PN	Latitude da Antena	Longitude da Antena	Latitude do Centro do Setor	Longitude do Centro do Setor
309	(não resolvível)	36	-22,68589749	-43,81058813	-22,691215	-43,777904
309	(não resolvível)	60	-22,88273275	-43,02284115	-22,866358	-43,016372
309	15872588	136	-22,98532287	-43,22602048	-22,983061	-43,225408
309	(não resolvível)	488	-22,98540822	-43,22615938	-22,986028	-43,228509
309	(não resolvível)	164	-22,90352483	-43,26610272	-22,903873	-43,260703
309	(não resolvível)	100	-22,94767798	-43,18409043	-22,94944	-43,186724

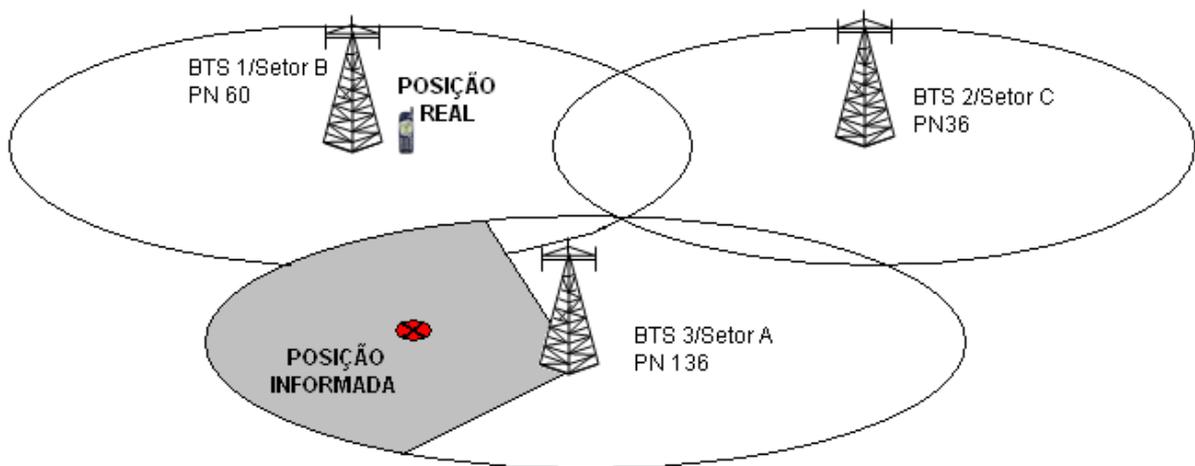


Figura 5-4: Posição dada pelo sistema em função de inconsistência nos dados da estação servidora.

Nota-se, no exemplo Figura 5-4, que a MS pode estar bem mais próxima de outra estação, porém, em função da inconsistência de dados, foi descartada pelo PDE, e a posição informada pelo sistema é a do centro de área do setor de outra estação.

### 5.3 Método Centróide de Células Mistas

O método Centróide de Célula Mista combina casos de múltiplos resultados aproximados de localização do Centróide de Cell ID e, em seguida, retorna o centróide da união dessas áreas conforme está mostrado na Figura 5-5.

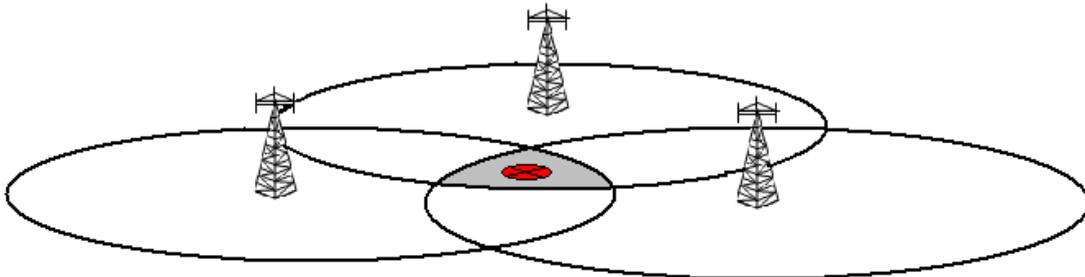


Figura 5-5: Método Centróide de Célula Mista.

### 5.4 Método AFLT (*Advanced Forward Link Trilateration*)

Este método utiliza a rede celular, comparando a medida de intensidade de sinal ou o tempo de chegada dos sinais entre as BTS que estão ao redor da MS. A tecnologia de acesso CDMA utiliza este método de localização através da técnica ToA (*Time of Arrival*). A utilização deste método no CDMA é possível pelo fato das BTS e as MS estarem sincronizadas.

Após sintonizar o Canal Piloto e o Canal de Sincronismo, a MS recebe da BTS os parâmetros PN e os informa à PDE. Esta informação já é suficiente para a determinação da posição através dos métodos anteriores. A MS faz a captura dos PN da BTS com sinal de maior intensidade e das BTS vizinhas e os informa em conjunto com o parâmetro ExBaseID. A PDE pesquisa no BSA o parâmetros ExBaseID e o códigos PN informados pela MS e busca as informações adicionais sobre essas BTS a fim de informar um resultado aproximado de localização de AFLT.

A medida do tempo de chegada do sinal é feita através da defasagem do PNOffset, atraso proposital do código PN para a identificação da BTS, e pelo atraso de propagação do sinal desde a BTS até a MS. Este último gera mais uma defasagem da sequência PN e, através desta defasagem, é possível mensurar o tempo de chegada do sinal. A Figura 5-6 mostra a sequência PN, conhecida pela MS utilizada como parâmetro para a comparação do sinal, com o atraso causado pelo PNOffset e pela propagação do sinal.

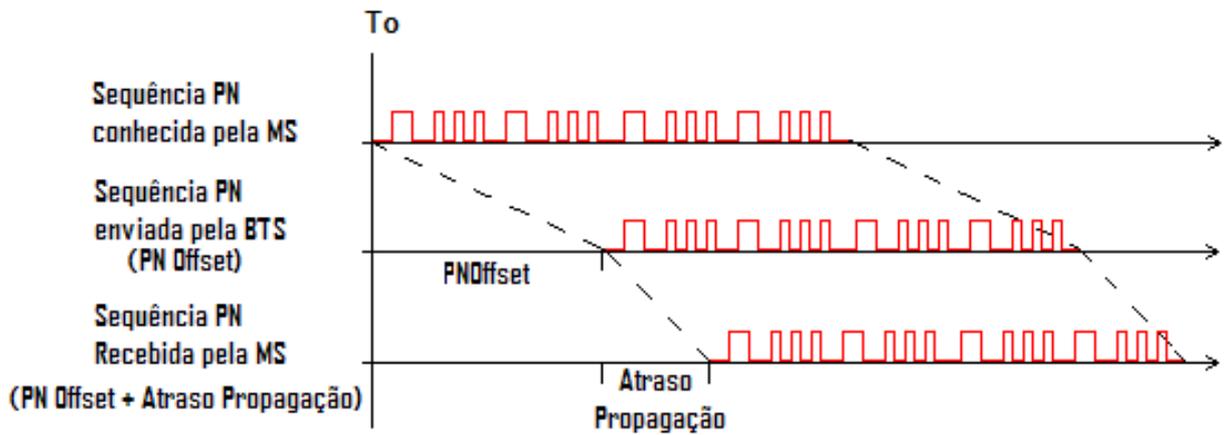


Figura 5-6: Defasagem do PNOffset e atraso causado na propagação do sinal.

Com valor do PNOffset mais o atraso causado pela distância da BTS à MS, multiplicado pela velocidade da luz, é possível obter a distância da MS à BTS. A PDE tenta selecionar os PN de, no mínimo, três BTS para fazer a triangulação conforme mostra a Figura 5-7. Com as informações de localização das BTS obtidas pela consulta ao BSA e da distância entre as BTS e a MS, o PDE define a localização da MS.

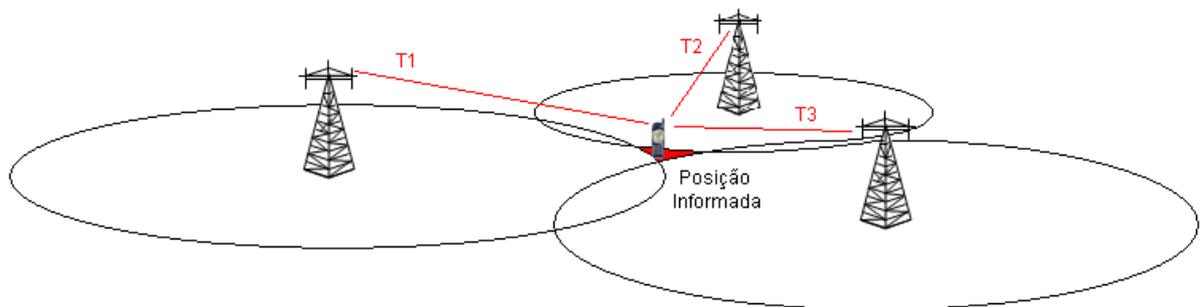


Figura 5-7: Localização através do método AFLT.

### 5.5 Método A-GPS (*Assisted GPS*)

Embora o sistema GPS forneça cobertura global e alta precisão, alguns aspectos tornam inconveniente a integração de receptores GPS convencionais em terminais móveis. O tempo para produzir a primeira localização é longo, podendo chegar a vários minutos. O sistema não opera em ambientes indoor. A inclusão de um receptor GPS convencional em um MS aumentaria seu tamanho, consumo de bateria e custo. A alternativa encontrada foi utilizar a funcionalidade do sistema GPS acrescida de informações auxiliares fornecidas por uma rede de referência. Os dados auxiliares são empregados pelos receptores GPS modificados incorporados aos MS para o cálculo de posição [14].

O A-GPS (Assisted GPS) é um método de localização assistido pelo terminal e utiliza a técnica de rádio-localização ToA (Time of Arrival). Este método utiliza a tecnologia GPS, o servidor de rede (PDE) e uma rede de receptores, a rede WARN, mencionados no capítulo 3, para diminuir o longo tempo causado pela recepção dos dados de Ephemeris e Almanac, ao produzir a primeira localização [14].

A rede de referência, conhecida como WARN (Wide Area Reference Network), opera continuamente com receptores GPS em posições fixas. A rede WARN gera as informações que assistirão o MS na aquisição da posição. Estas informações incluem a defasagem do código PN e informações de Ephemeris e Almanac. Sem estes dados, apenas um receptor GPS no instalado na MS teria que percorrer todo o espaço de código<sup>28</sup> e frequência<sup>29</sup> para identificar quais sinais são recebidos. Ao restringir a janela de busca, esta informação auxiliar reduz o tempo para primeiro cálculo de posição de até 10 minutos em um receptor GPS convencional para poucos segundos em um receptor A-GPS. Além disso, os dados fornecidos pela rede WARN auxiliam a decodificação da mensagem de navegação quando os sinais dos satélites recebidos pelo MS estão muito fracos para correta demodulação. Isto explica porque receptores A-GPS podem obter a posição do MS mesmo em ambientes indoor, situação na qual receptores GPS convencionais tipicamente são incapazes de funcionar [14].

A Figura 5-8 ilustra o funcionamento do método A-GPS.

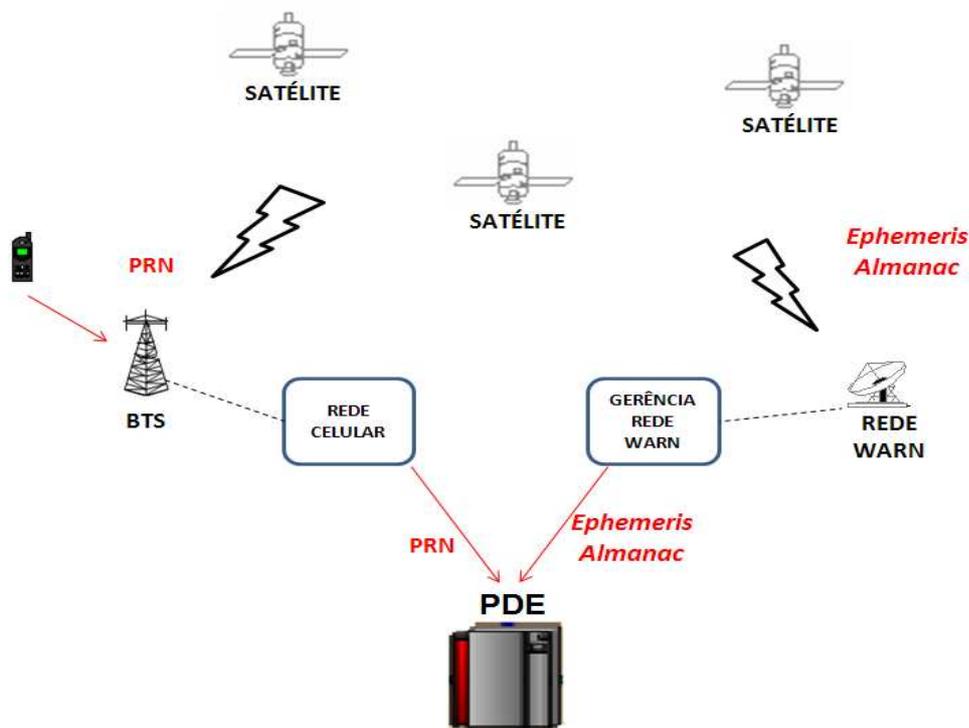


Figura 5-8: Localização através do método A-GPS.

Em relação ao sistema GPS, a principal melhoria obtida com o A-GPS são a redução do tempo na aquisição da informação da localização, e a disponibilidade do sistema em ambientes internos. Uma desvantagem em relação ao sistema GPS é a necessidade da assinatura de serviço com uma operadora celular.

### 5.6 Método Híbrido de A-GPS + AFLT

Para a definição da localização, através dos métodos A-GPS e AFLT, o sistema de localização deve, contar, no mínimo, com três satélites ou três BTS respectivamente. O método híbrido de A-GPS + AFLT provê a localização utilizando satélites e BTS, de forma que, caso o sistema tenha disponível no mínimo um satélite e duas BTS ou dois satélites e uma BTS, já seja possível a definição da localização através deste método. A principal vantagem deste método é prover a definição de localização em ambientes não totalmente internos e externos, como por exemplo, um “*canyon urbano*”.

A Figura 5-9 ilustra o funcionamento do método A-GPS.

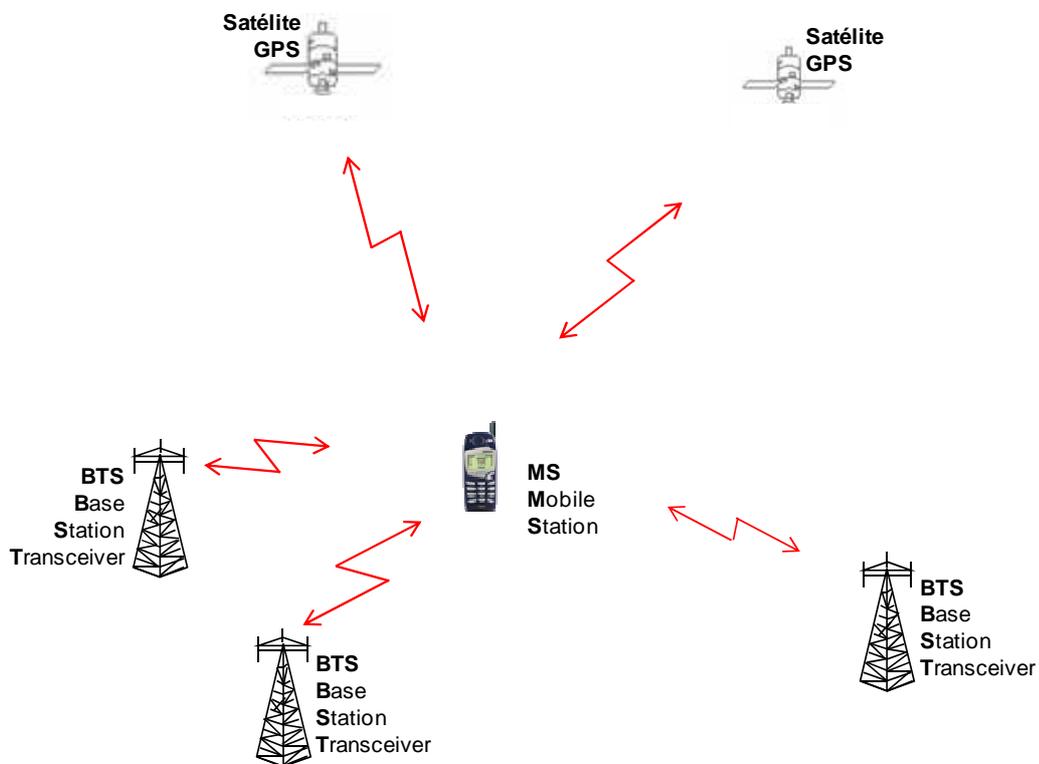


Figura 5-9: Localização através do método A-GPS+AFLT.

## 6 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DOS MÉTODOS DE RÁDIO-LOCALIZAÇÃO EM SISTEMAS CELULARES

A análise da eficiência dos métodos de localização foi realizada em pontos de baixa e alta densidade de BTS e edificações, nas cidades do Rio de Janeiro e Niterói, durante o período de outubro de 2008 a janeiro de 2009, com a finalidade de atingir os objetivos listados abaixo:

- Estudar os fatores que influenciam a ordem de escolha e frequência de utilização dos métodos;
- Estudar os fatores que influenciam na eficiência dos métodos de localização;
- Verificar a disponibilidade do sistema em ambientes externos e internos.

Para atingir esses objetivos, foi necessário o conhecimento das técnicas de rádio-localização e dos métodos de localização, implementados na rede celular onde foram realizadas as medições. Antes da execução das medições em campo, foi realizado um planejamento no qual foram definidos os locais de medição baseando-se nos critérios descritos no item 6.1. Os recursos utilizados nas medições são descritos no item 6.2 e a metodologia aplicada, no item 6.3. A apresentação das medições em campo, sob forma de mapas, tabelas e gráficos é mostrada no item 6.4 e, no item 6.5, são apresentados os seus resultados.

### 6.1 Locais de Medições

As medições foram realizadas em locais pré-definidos, com a finalidade de se atingir dois objetivos:

- Verificar o comportamento do sistema nos cenários de alta e baixa densidade de Estações Rádio Base (BTS) e edifícios;
- Verificar o comportamento do sistema em ambientes internos e externos, ou seja, com ou sem “visada” direta para satélites GPS.

As medições foram realizadas nas cidades do Rio de Janeiro e Niterói, onde foram definidas cinco áreas: Centro e Zonas Norte, Sul e Oeste do Rio de Janeiro e o Campus da UFF em Niterói. Para cada uma dessas áreas foi definido um local de medição, cujos critérios de escolha foram função do tamanho da região, densidade de BTS instaladas e densidade de

edificações. Em cada uma dessas áreas foi definido, pelo menos, um local de medição em ambiente externo e interno.

Com os recursos disponíveis, para a realização deste trabalho, não é possível definir o método de localização, sendo o sistema o responsável em optar pelo mesmo. Por isso, onde o sinal GPS é captado pela MS, as chances de obter dados gerados pelos métodos AFLT e Cell ID tornam-se cada vez menores, uma vez que, tendo pelo menos o sinal de um satélite GPS e o sinal de duas BTS, o sistema já tem a possibilidade de utilizar o método híbrido, A-GPS+AFLT, para a definição da localização. Com uma quantidade maior de sinais dos satélites GPS, a possibilidade de o sistema utilizar o método A-GPS aumenta.

Para que seja gerado um volume aceitável de chamadas de localização, que utilize os métodos AFLT ou Cell ID, foi necessário a realização dos testes em locais muito fechados, de forma que não fosse possível a recepção do sinal de satélites GPS, como por exemplo, no interior de grandes edifícios.

Outro ponto importante, observado na escolha do local de teste, foi a presença de BTS instaladas no interior do prédio utilizado nas medições. Caso existam, a informação da localização não será definida sob as condições da área onde está o local de medição, e sim, a localização do prédio. Neste caso, a precisão poderá ser muito boa, porém foge o objetivo deste trabalho.

Na Figura 6-1 é mostrado um mapa identificando os cinco locais de medição, onde os marcadores na cor vermelha representam os locais de medição.



Figura 6-1: Locais de teste.

A Tabela 6-1 mostra a relação dos locais de medição.

Tabela 6-1: Locais de medição.

Local de Teste	Ambiente	Endereço	Detalhes	Longitude	Latitude	Densidade de Estações	Densidade de Edifícios
Centro RJ	Externo	R. Uruguaiana (Prox. R. do Rosário) - Centro - RJ	Calçada da Rua	-43,180333	-22,903980	Alta	Alta
Centro RJ	Interno	R. Goncalves Dias 32 - Centro - RJ	Interior do Prédio	-43,178780	-22,905199	Alta	Alta
Z. Norte RJ	Externo	Av. Maracanã, 882 - Tijuca	Cobertura do prédio	-43,236075	-22,921833	Média	Alta
Z. Norte RJ	Interno	Av. Maracanã, 882 - Tijuca	Interior do Prédio	-43,236075	-22,921833	Média	Alta
Z.Sul RJ	Externo	Av. Borges de Medeiros (Prox. R. Gal Fragoso) - Lagoa	Margem da Lagoa	-43,209712	-22,963251	Baixa	Média
Z.Sul RJ	Interno	R. General Tasso Fragoso, 65 - Lagoa	Interior do Prédio	-43,209809	-22,962603	Baixa	Média
Z. Oeste RJ	Externo	Av. Ayrton Senna 2150 - Barra da Tijuca	Exterior do Prédio	-43,362612	-22,992783	Baixa	Baixa
Z. Oeste RJ	Interno	Av. Ayrton Senna 2150 - Barra da Tijuca	Interior do Prédio	-43,362724	-22,992668	Baixa	Baixa
UFF Niteroi	Externo	R. Passo da Pátria, 156 (UFF) - Niterói	Campus UFF	-43,132441	-22,905090	Baixa	Baixa
UFF Niteroi	Interno	R. Passo da Pátria, 156 (UFF) - Niterói	Interior do Prédio Eng.	-43,131626	-22,904672	Baixa	Baixa

## 6.2 Recursos Utilizados

Para a realização das medições foram necessários alguns recursos como:

- Terminal CDMA com GPS assistido integrado para a requisição da localização;
- *Software* para mapear as posições informadas pela rede, comparando-as com a posição real;
- Arquivo de registro de chamadas de localização, gerado pela plataforma de localização, com horário, método utilizado e as coordenadas das chamadas.

Nas medições foi utilizado um terminal com GPS assistido integrado operando em modo teste, no qual é possível a visualização da posição do móvel, data/horário da medição, quantidade de satélites visíveis e suas PRN e quantidade de BTS próximas a MS e seus PN *Offset*. O *software* gratuito *Google Earth* foi utilizado para a apresentação das BTS (ERB) envolvidas nas medições e das informações de localização geradas nas medições.

A Figura 6-2 mostra o terminal utilizado, em seu modo teste, e a Figura 6-3 mostra um exemplo de mapa com as bandeiras que representam as Estações Rádio Base (ERB).



Figura 6-2: Terminal CDMA com GPS Assistido integrado utilizado em modo teste.

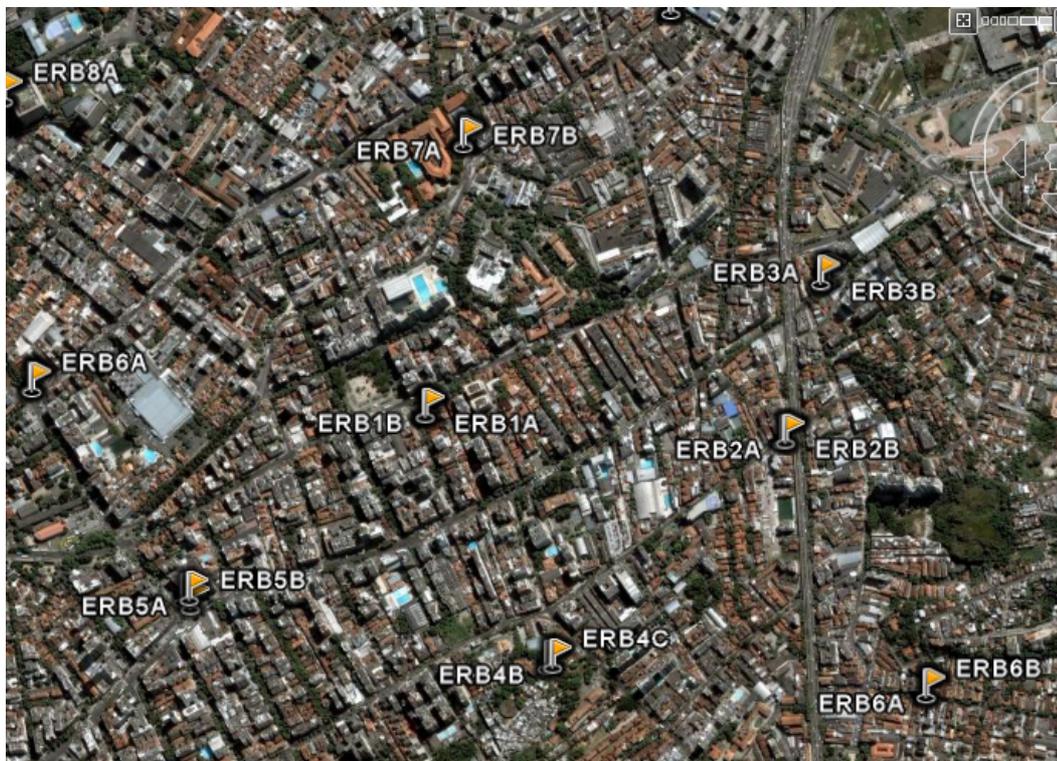


Figura 6-3: Mapa com a distribuição de sites e seus setores A, B e C.

Além da apresentação das informações de localização na tela do terminal móvel, em modo de teste, foram utilizados os arquivos de registro de chamadas de localização gerados pela plataforma de localização (PDE) que fornecem, além das informações de latitude e longitude adquiridas nas medições, o método utilizado para a definição da localização, possibilitando futuramente, a separação das chamadas de localização pelo método utilizado.

A Figura 6-4 mostra um exemplo de arquivo de registro de chamadas de localização, onde o quarto campo da direita para a esquerda, na cor vermelha, representa o método utilizado. Nesta figura, a tabela informa a legenda com os possíveis valores deste campo e o



Tabela 6-2: Exemplo do arquivo de registro de chamadas de localização, organizados em tabela, para o levantamento das distâncias.

Posição Real (Local da Medição)		Posição Informada pelo Sistema		Erro de Distância (m)
Latitude	Longitude	Latitude	Longitude	
40,816667	-73,966667	-22,900000	-43,166667	<b>Não conhecida</b>

Para a obtenção da distância a partir das coordenadas, foi utilizada a Lei dos Cossenos da trigonometria esférica sobre a esfera mostrada na Figura 6-5, que representa a superfície da Terra. O triângulo esférico formado pelo ponto A (Pólo Norte), pelo ponto B (posição real do teste) e pelo ponto C (resultado do teste dado pelo sistema), auxilia a encontrar o arco BC que representa a distância entre a posição onde foi realizada a medição e a posição informada pelo sistema, que é o erro da medida.

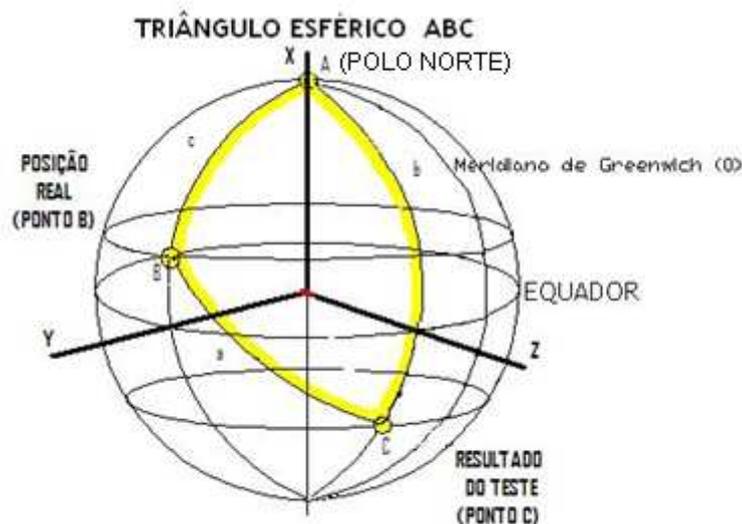


Figura 6-5: Triângulo esférico ABC para a determinação do erro da medida (arco BC).

Sendo o tamanho do arco entre os pontos B e C a distância entre a posição real e a posição informada pelo sistema, para a sua obtenção é necessário comparar a medida em graus do ângulo entre as retas vermelhas a partir do centro da terra, mostrado na Figura 6-6. A medida de 1 grau de um arco na superfície da Terra corresponde a um comprimento de 111,12 km. Por isso, é necessário encontrar o ângulo entre essas retas utilizando a Lei dos Cossenos.

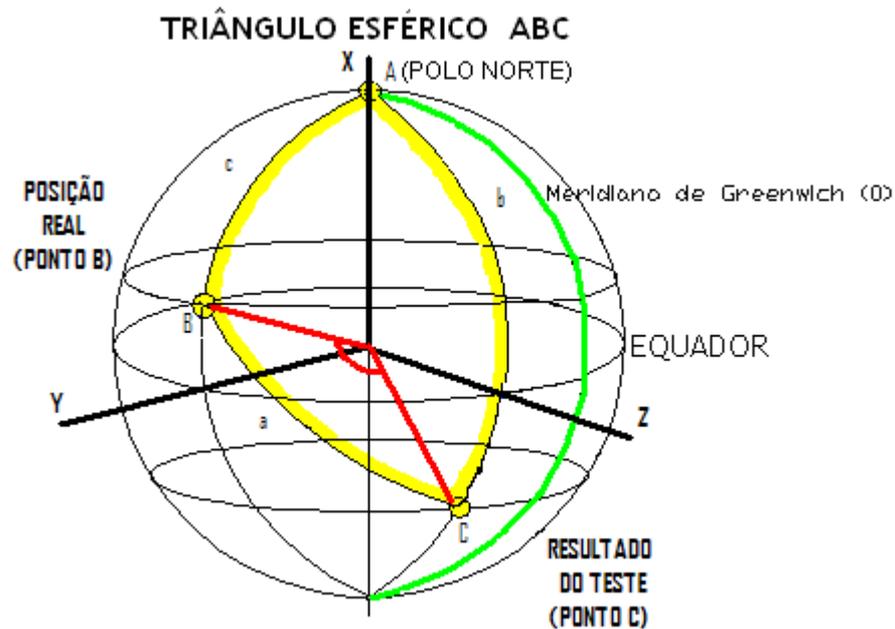


Figura 6-6: Ângulo do arco BC.

Para aplicar a Lei dos Cossenos é necessário o conhecimento das medidas dos arcos BC, AB e AC. O exemplo didático apresentado a seguir para demonstrar o cálculo do arco  $a$ , utiliza coordenadas fictícias que foram definidas de forma a facilitar a sua representação na esfera.

Neste exemplo, o ponto B corresponde ao local de medição (posição real); o ponto C, ao local informado pelo sistema e o ponto A, ao Pólo Norte da Terra. Inicialmente serão calculados os arcos BC, AB e AC.

#### Cálculo do arco BC (arco $a$ ):

O arco  $a$  é igual à diferença entre os arcos das longitudes dos pontos B e C. Então:

$$\text{arco } a = (-73,966667) - (-43,166667) = (-30,800001) \text{ graus.} \quad (6.1)$$

$$\text{arco } a = (-30,800001) \text{ graus.} \quad (6.2)$$

A Figura 6-7 ilustra o arco BC sendo a diferença das linhas vermelhas a partir do meridiano de Greenwich, mostrado na cor verde.

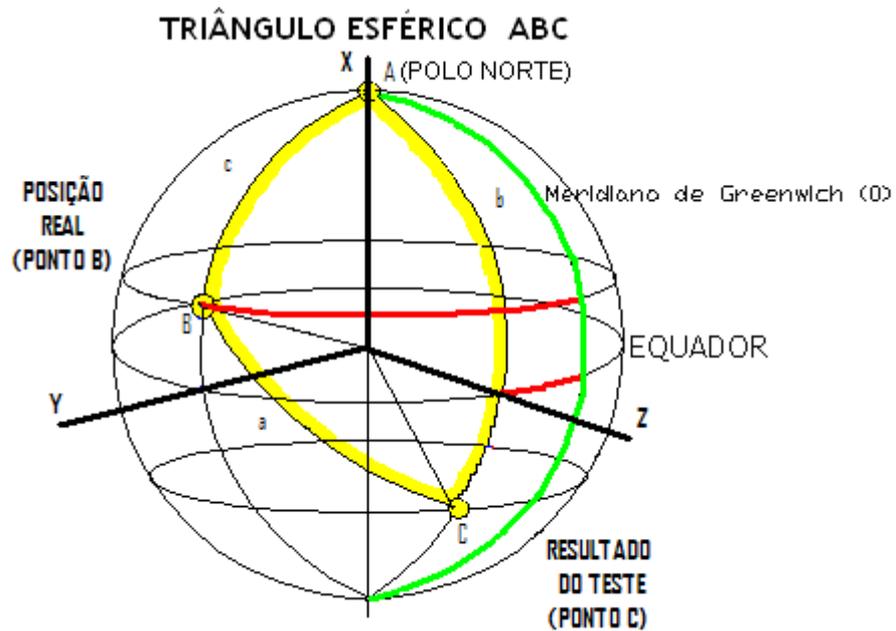


Figura 6-7: Cálculo do arco BC.

#### Cálculo do Arco AB (arco $c$ ):

O arco  $c$  é a diferença da latitude linha do Equador ( $90^\circ$  em relação ao Polo Norte) ao ponto B. Então:

$$\text{arco } c = 90 - (40,816667) = (49,183333) \text{ graus.} \quad (6.3)$$

Na Figura 6-8 a linha em azul representa a diferença do arco entre os eixos XY e o arco entre os pontos A e B.

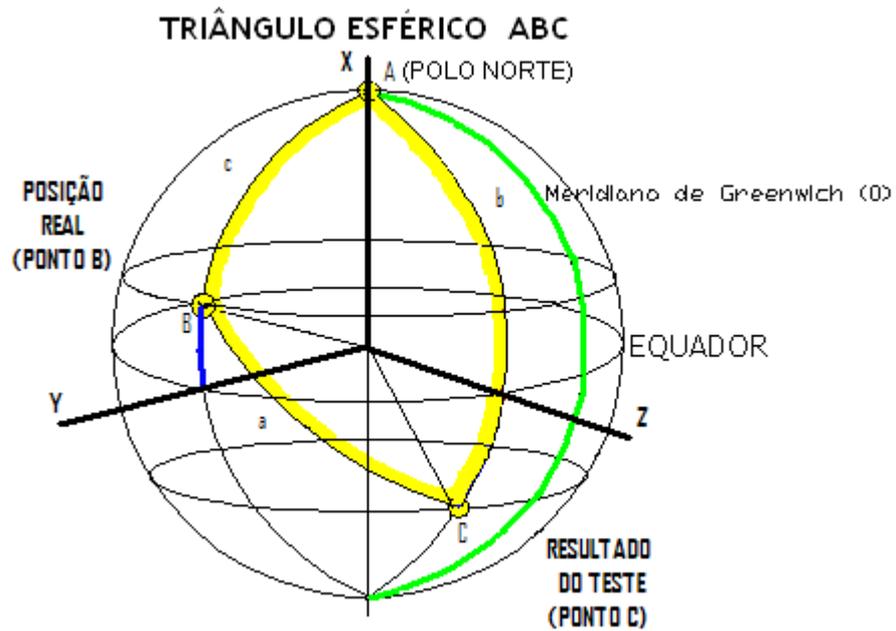


Figura 6-8: Diferença do arco entre os eixos XY e o arco entre os pontos A e B (linha em azul).

#### Cálculo do Arco AC (arco *b*):

O arco *b* é a diferença da latitude linha do Equador ( $90^\circ$  em relação ao Polo Norte) ao ponto C. Então:

$$\text{arco } b = 90 - (-22,9) = (112,9)\text{ graus} \quad (6.4)$$

Na Figura 6-9 a linha em azul representa a diferença do arco entre os eixos XZ e o arco entre os pontos AC.

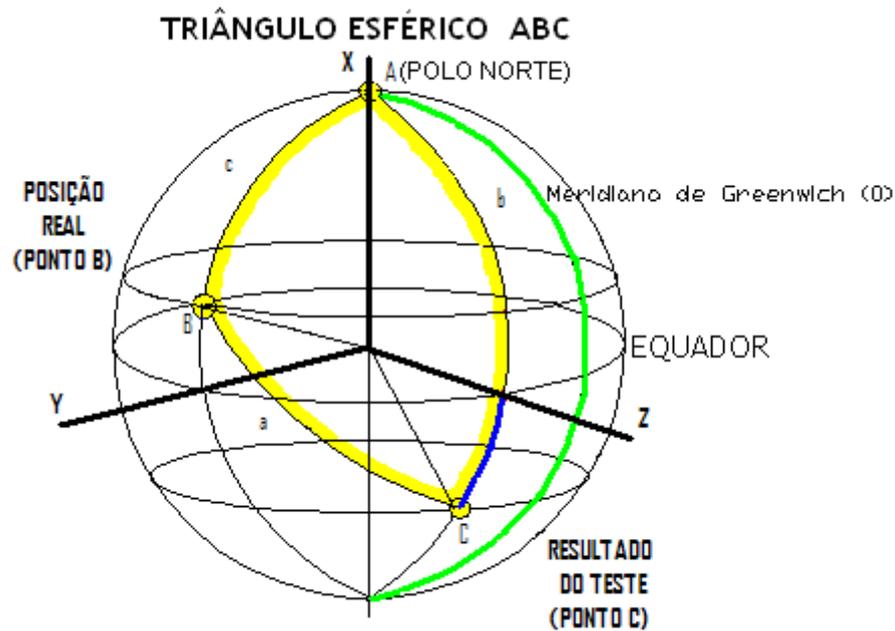


Figura 6-9: Diferença do arco entre os eixos XZ e o arco entre os pontos A e C (Linha Azul).

Aplicando a Lei dos Cossenos tem-se:

$$\cos(a) = \cos(b) \times \cos(c) + \text{sen}(b) \times \text{sen}(c) \times \cos(A) \quad (6.5)$$

$$\cos(a) = \cos(112,9) \times \cos(49,183333) + \text{sen}(112,9) \times \text{sen}(49,183333) \times \cos(-30,8) \quad (6.6)$$

$$\cos(a) = 0,3444832 \quad (6.7)$$

$$\text{arc cos}(0,3444832) = 69,849748 \text{ graus} \quad (6.8)$$

Sendo o Raio da Terra = 6.371 km, calcula-se o arco completo da circunferência da Terra.

$$C = 2 \times \pi \times \text{Raio da Terra} = 2 \times \pi \times 6.371 = 360 \text{ graus} \rightarrow 40.030 \text{ km} \quad (6.9)$$

Comparando-se os ângulos, tem-se o comprimento do arco = 7.766,9078 km que é a distância entre os dois pontos (erro de distância).

Este cálculo foi realizado em cada chamada de localização representada em cada linha da Tabela 6-3 dada como exemplo com os dados, de algumas chamadas, retirados nos testes em ambiente interno no centro do Rio de Janeiro.

Tabela 6-3: Relação de coordenadas e distância entre as posições real e obtida nas medições.

Posição Real		Posição Informada pelo Sistema		Distância (m)
Latitude	Longitude	Latitude	Longitude	
-22,903980	-43,180333	-22,903037	-43,181689	174
-22,903980	-43,180333	-22,903302	-43,181450	137
-22,903980	-43,180333	-22,903539	-43,180871	74
-22,903980	-43,180333	-22,903750	-43,181304	103
-22,903980	-43,180333	-22,903602	-43,181245	102
-22,903980	-43,180333	-22,904421	-43,181400	120
-22,903980	-43,180333	-22,904570	-43,180765	79
-22,903980	-43,180333	-22,904107	-43,181094	79
-22,903980	-43,180333	-22,903989	-43,181655	135
-22,903980	-43,180333	-22,904009	-43,180866	55
-22,903980	-43,180333	-22,904117	-43,180991	69
-22,903980	-43,180333	-22,904048	-43,181062	75
-22,903980	-43,180333	-22,904104	-43,180998	69
-22,903980	-43,180333	-22,904106	-43,181007	70
-22,903980	-43,180333	-22,904102	-43,180999	70
-22,903980	-43,180333	-22,903599	-43,180595	50
-22,903980	-43,180333	-22,903996	-43,181052	74
-22,903980	-43,180333	-22,904082	-43,180980	67
-22,903980	-43,180333	-22,904075	-43,181010	70
-22,903980	-43,180333	-22,903821	-43,180019	37
-22,903980	-43,180333	-22,904338	-43,180892	70
-22,903980	-43,180333	-22,904079	-43,181028	72
-22,903980	-43,180333	-22,904060	-43,181016	70

### 6.3.2 Frequência de Ocorrência

Após o cálculo das distâncias, foram montadas tabelas com as frequências (número de vezes) de ocorrência dos tipos absoluta e relativa, separadas por classes de cinco metros, conforme ilustra a Tabela 6-4 a título de exemplo.

Tabela 6-4: Dados agrupados em classes de 5 metros gerando frequências de eventos (número de vezes que ocorre).

<b>Classes de Erros de Distância(Metros)</b>	<b>Frequência Absoluta</b>	<b>Frequência Absoluta Acumulada</b>	<b>Frequência Relativa</b>	<b>Frequência Relativa Acumulada</b>
0-5	0	0	0%	0,0%
5-10	0	0	0%	0,0%
10-15	0	0	0%	0,0%
15-20	0	0	0%	0,0%
20-25	0	0	0%	0,0%
25-30	0	0	0%	0,0%
30-35	1	1	1%	0,9%
35-40	2	3	2%	2,6%
40-45	3	6	3%	5,1%
45-50	4	10	3%	8,5%
50-55	5	15	4%	12,8%
55-60	5	20	4%	17,1%
60-65	2	22	2%	18,8%
65-70	33	55	28%	47,0%
70-75	28	83	24%	70,9%
75-80	11	94	9%	80,3%
80-85	5	99	4%	84,6%
85-90	1	100	1%	85,5%
90-95	0	100	0%	85,5%
95-100	1	101	1%	86,3%
100-105	3	104	3%	88,9%
105-110	2	106	2%	90,6%
110-115	2	108	2%	92,3%
115-120	1	109	1%	93,2%
120-125	0	109	0%	93,2%
125-130	0	109	0%	93,2%
130-135	1	110	1%	94,0%
135-140	2	112	2%	95,7%

140-145	0	112	0%	95,7%
145-150	1	113	1%	96,6%
150-155	0	113	0%	96,6%
155-160	0	113	0%	96,6%
160-165	0	113	0%	96,6%
165-170	1	114	1%	97,4%
170-175	2	116	2%	99,1%
175-180	0	116	0%	99,1%
180-185	0	116	0%	99,1%
185-190	1	117	1%	100,0%

### 6.3.3 Formas de Apresentação dos Resultados

Os resultados das medidas serão apresentados, separadamente, no item 6.4, para cada um dos locais, nas seguintes formas:

1) Mapa mostrando, no local de medição, os resultados das medidas (pinos) separados por cores, em função do método utilizado, e as BTS, representadas por bandeiras, conforme ilustra a Figura 6-10.

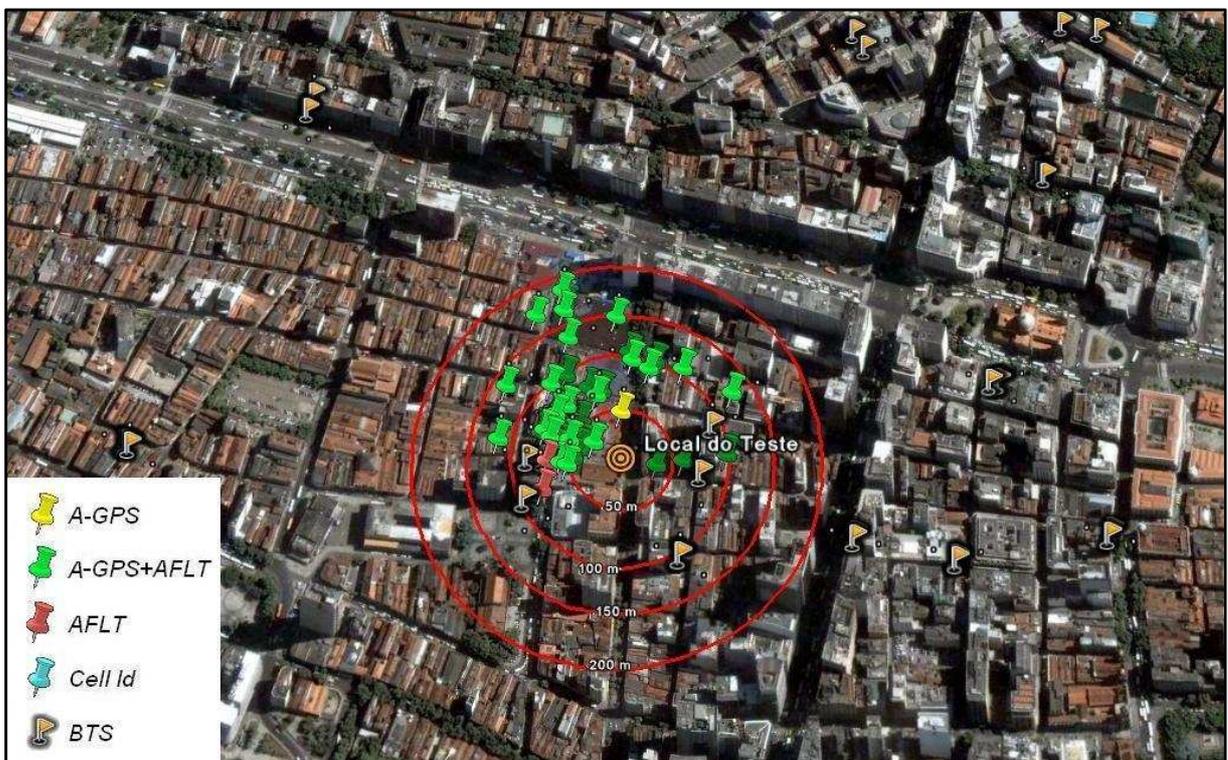


Figura 6-10: Mapa do local do teste centro externo e resultado das medidas de teste separadas por método.

2) Gráfico mostrando a distribuição de frequências relativas dos erros de distância separadas em classes de 5 metros, conforme está ilustrado na Figura 6-11.

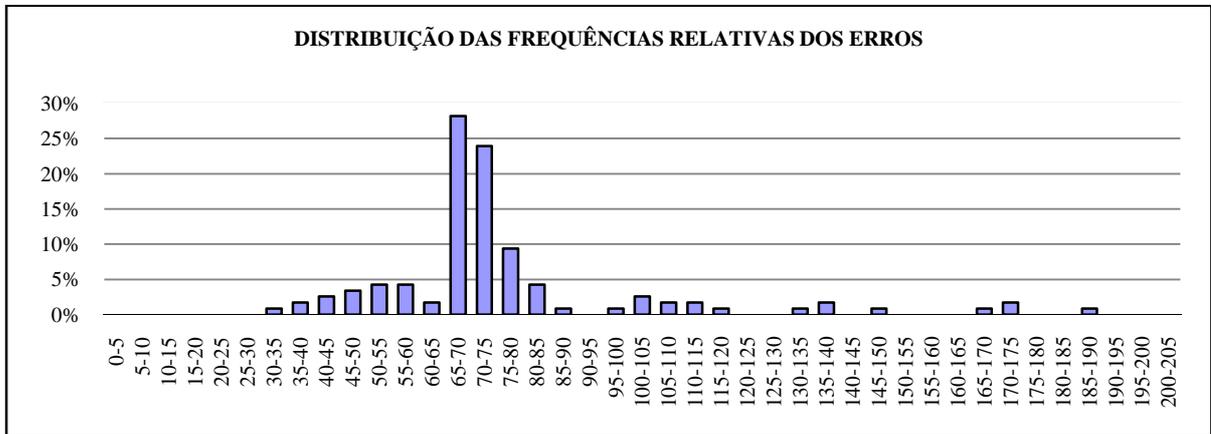


Figura 6-11: Distribuição das Frequências Relativas de ocorrência de erro de distâncias, em classes de 5 metros.

3) Gráfico contendo a distribuição dos métodos utilizados automaticamente pelo sistema para a obtenção da localização, conforme está mostrado na Figura 6-12.

### Métodos de Localização

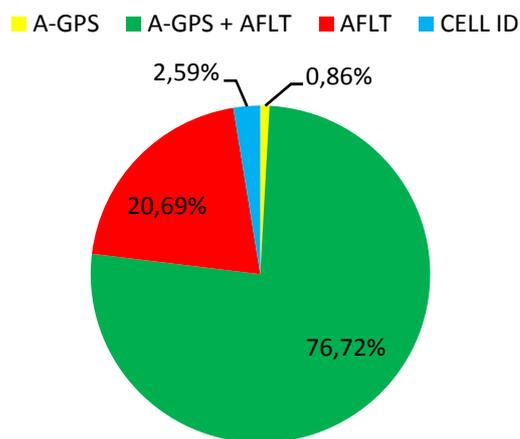


Figura 6-12: Distribuição dos métodos utilizados, automaticamente, pelo sistema nas medições.

4) Gráfico da eficiência dos métodos de localização. Para a análise da eficiência dos métodos foram utilizados gráficos semelhantes ao da Figura 6-13, onde o eixo vertical

representa o percentual de chamadas de teste, para cada um dos métodos utilizados, e o eixo horizontal, o valor central (erro médio) e o desvio padrão das medidas coletadas, representado pela barra horizontal.

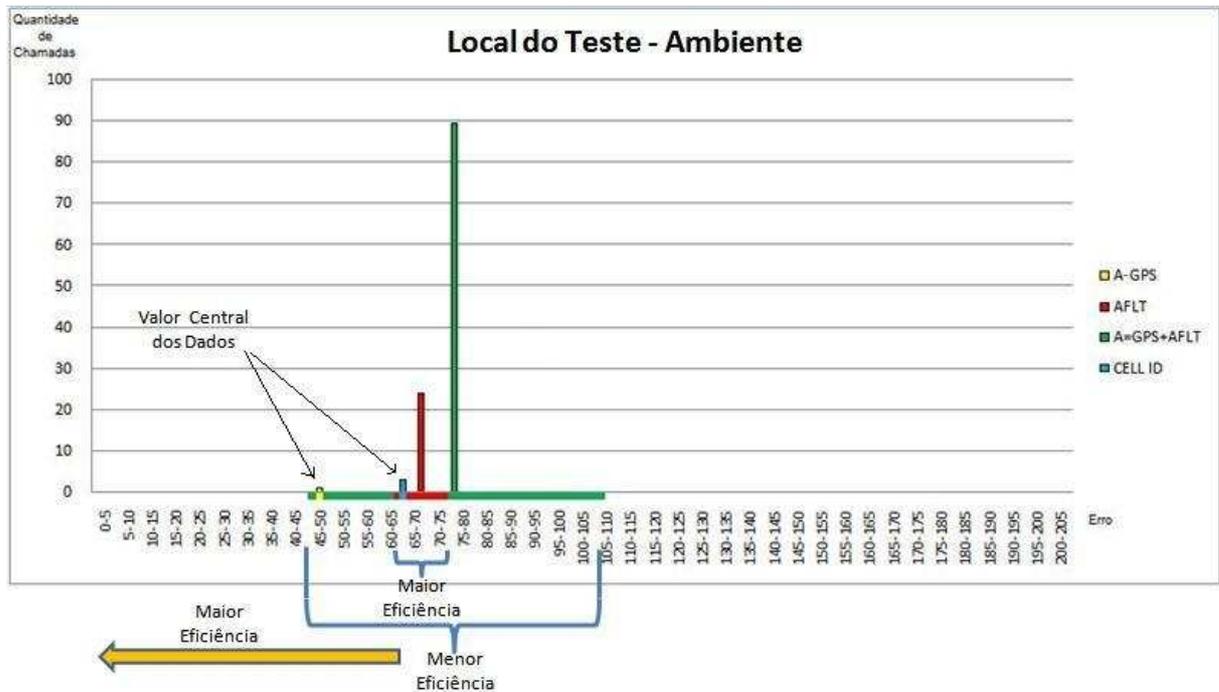


Figura 6-13: Exemplo gráfico da distribuição X desempenho dos métodos.

Através dos gráficos semelhantes ao da Figura 6-13 é possível visualizar o método mais eficiente para cada um dos locais medidos. Foi definido, neste trabalho, como mais eficiente, o método com menores erro médio e desvio padrão. Os métodos onde não foi possível realizar o cálculo do desvio padrão, em função da pequena quantidade de amostras, não foram utilizados na comparação de eficiência. Nestes casos, no gráfico não será mostrada a barra horizontal indicando o desvio padrão, sendo apenas mostrada o valor central dos dados (erro médio ou mediana).

5) Gráfico para a análise da eficiência do sistema independentemente do método. Foram utilizados gráficos de frequências relativas acumuladas semelhantes ao mostrado na Figura 6-14, indicando o percentual de chamadas de localização em função da distância. Neste gráfico é mostrado, também, o intervalo de maior concentração das medidas (intervalo de desvio padrão).

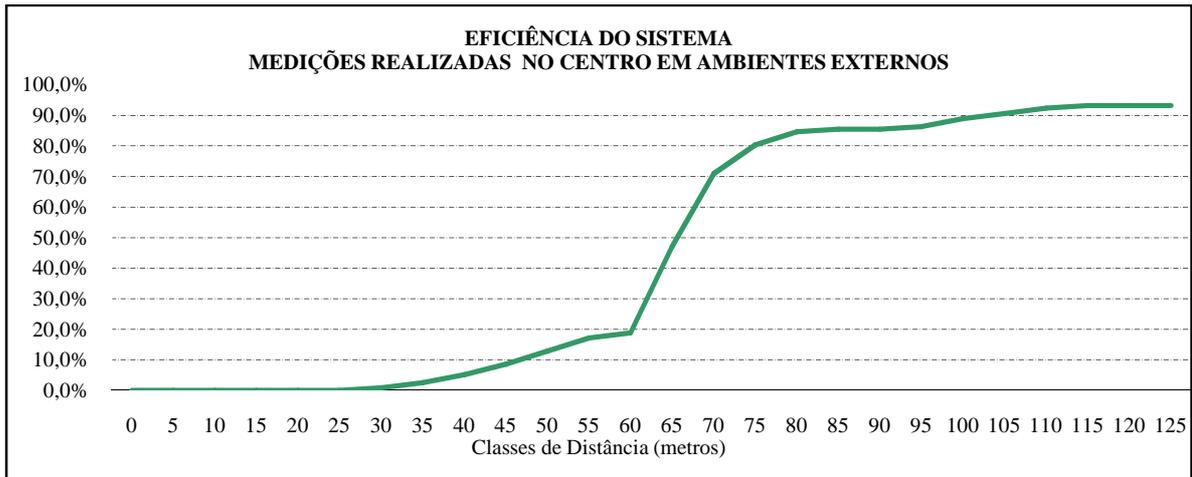


Figura 6-14: Distribuição das frequências relativas acumuladas de ocorrência de distância, em classes de 5 metros.

No item 6.4 serão analisadas as medições realizadas em campo e os resultados são apresentados de forma a atingir os objetivos estabelecidos neste trabalho.

#### 6.4 Medições em Campo.

Neste item serão apresentados os resultados das medidas realizadas em cada um dos locais. Primeiramente serão apresentadas as medidas coletadas em ambientes externos e, em seguida, as medidas coletadas em ambientes internos, na seguinte ordem:

- Centro do Rio de Janeiro;
- Zona Norte do Rio de Janeiro;
- Zona Sul do Rio de Janeiro;
- Zona Oeste do Rio de Janeiro;
- *Campus* da UFF, em Niterói.

Em cada local de medição serão apresentados os resultados das medidas, separadas por método utilizado, iniciando pelo de maior precisão conforme a seguinte ordem:

A-GPS -> A-GPS+AFLT -> AFLT -> CELL ID.

### 6.4.1 Medições Realizadas em Ambiente Externo no Centro do Rio de Janeiro

As medições foram realizadas em local aberto com alta densidade de edifícios e de Estações Rádio Base, na Rua Uruguaiana, ao lado de um edifício de aproximadamente 10 metros de altura. A Figura 6-15 mostra o local de medição, os resultados das medidas separadas por cores, conforme legenda, e as Estações Rádio Base representadas por bandeiras.

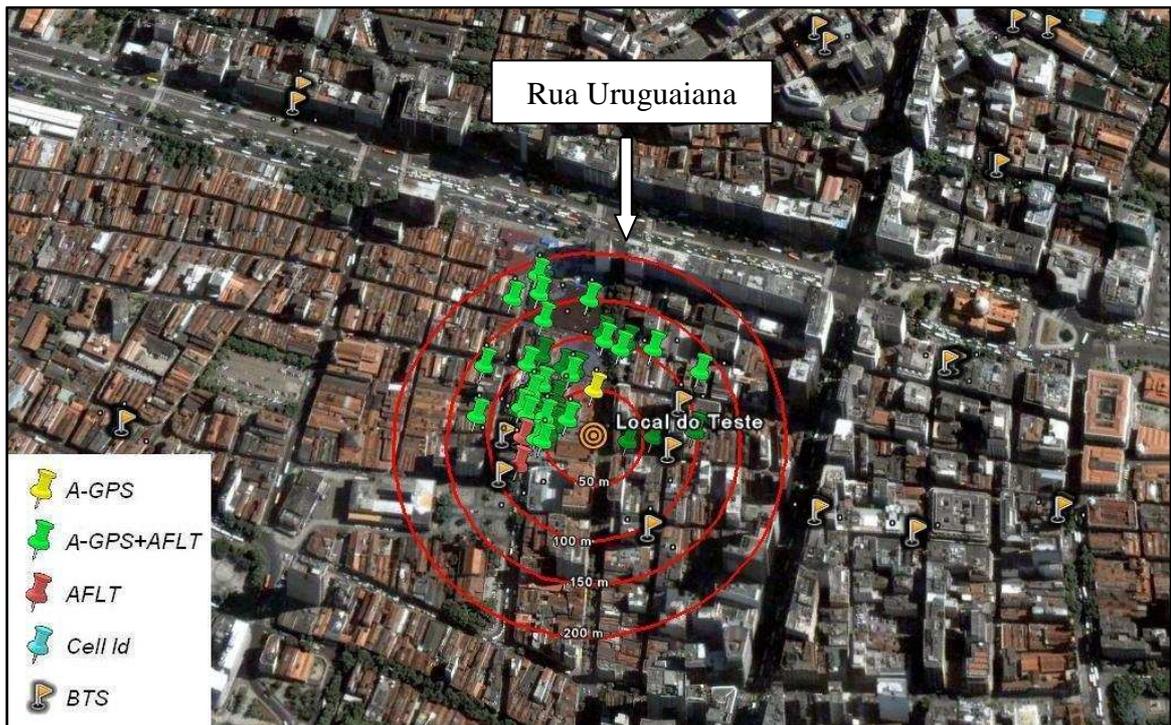


Figura 6-15: Medições realizadas no Centro do Rio de Janeiro em ambiente externo.

Foram realizadas 117 chamadas de localização. A distribuição de frequências relativas dos erros em classes de 5 metros é mostrada na Figura 6-16.

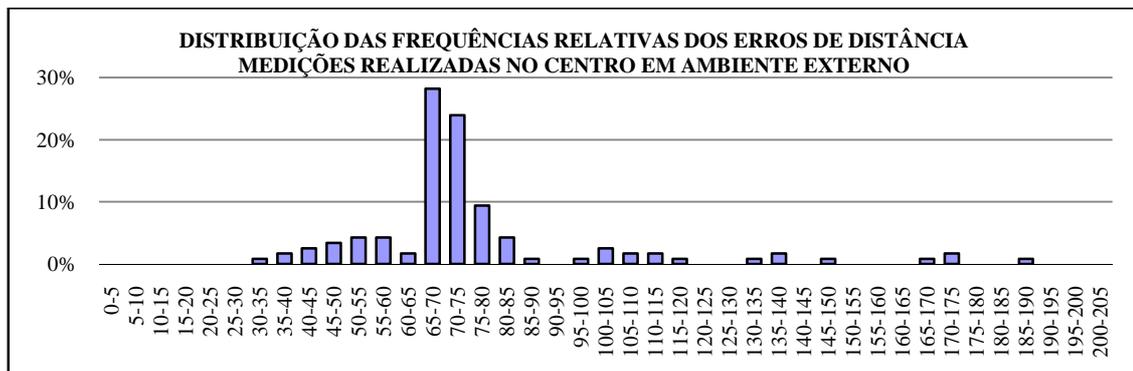


Figura 6-16: Distribuição das frequências relativas de ocorrência de erros de distância. Classes de Distância (metros)

Neste local de medição, o sistema utilizou os métodos A-GPS, A-GPS+AFLT, AFLT e o CELL ID, conforme distribuição indicada no gráfico da Figura 6-17.

## Métodos de Localização

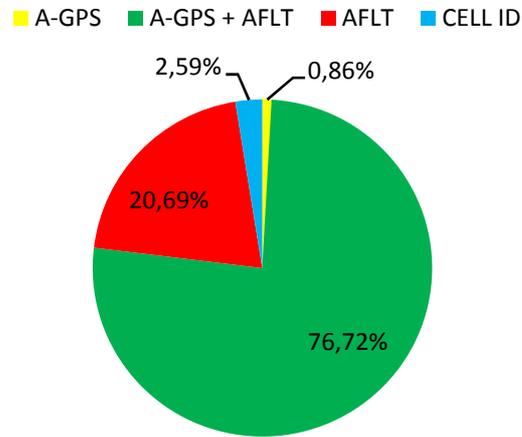


Figura 6-17: Distribuição dos métodos utilizados.

### 6.4.1.1 Método A-GPS

Apenas uma chamada de localização utilizou o método A-GPS. Por esse motivo, não foram gerados gráficos para este método neste local de medição. A Figura 6-18 mostra, na cor amarela, o resultado do teste com um erro de 50 metros.



Figura 6-18: Chamada de Teste (Método A-GPS).

Embora tenha sido realizado em ambiente externo, onde normalmente a utilização do método A-GPS prevalece na escolha do sistema, este método foi pouco utilizado em função da alta densidade de edifícios e do local de medição ser muito próximo a um prédio de, aproximadamente, 10 metros de altura, dificultando a visibilidade dos sinais dos satélites GPS.

#### 6.4.1.2 Método A-GPS+AFLT

O método predominante neste local de medição foi o A-GPS + AFLT com uma grande quantidade de chamadas de localização agrupadas bem próximas ao local de medição e algumas mais dispersas, porém não ultrapassando 200 metros de erro. As medições realizadas com este método obtiveram um erro médio de 78 metros e um desvio padrão de 30 metros, e 77,53% se posicionaram entre 48 e 109 metros de distância do local de medição. A Figura 6-19 mostra mapa com os resultados das medições e a Figura 6-20, o gráfico com a distribuição das frequências relativas dos erros nas chamadas de localização que utilizaram o método A-GPS+AFLT, neste local de medição.



Figura 6-19: Chamadas de teste (método A-GPS+AFLT).

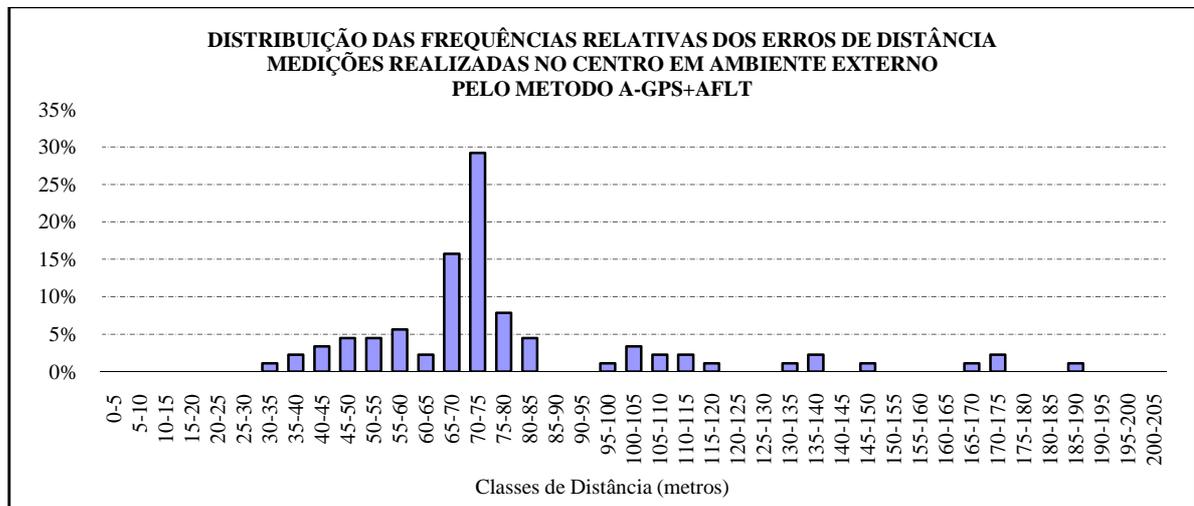


Figura 6-20: Distribuição de chamadas (método A-GPS + AFLT).

#### 6.4.1.3 Método AFLT

O método AFLT, com 20,69% das chamadas de localização, contribuiu para a boa eficiência neste local de medição. Para o erro médio de 72 metros e o desvio padrão de 5 metros, 79,17% das chamadas de localização se concentraram entre 66 e 77 metros de distância do local de medição. A Figura 6-21 mostra mapa com resultado das medidas e a Figura 6-22, o gráfico

com a distribuição das frequências relativas dos erros de localização nas chamadas que utilizaram o método AFLT.

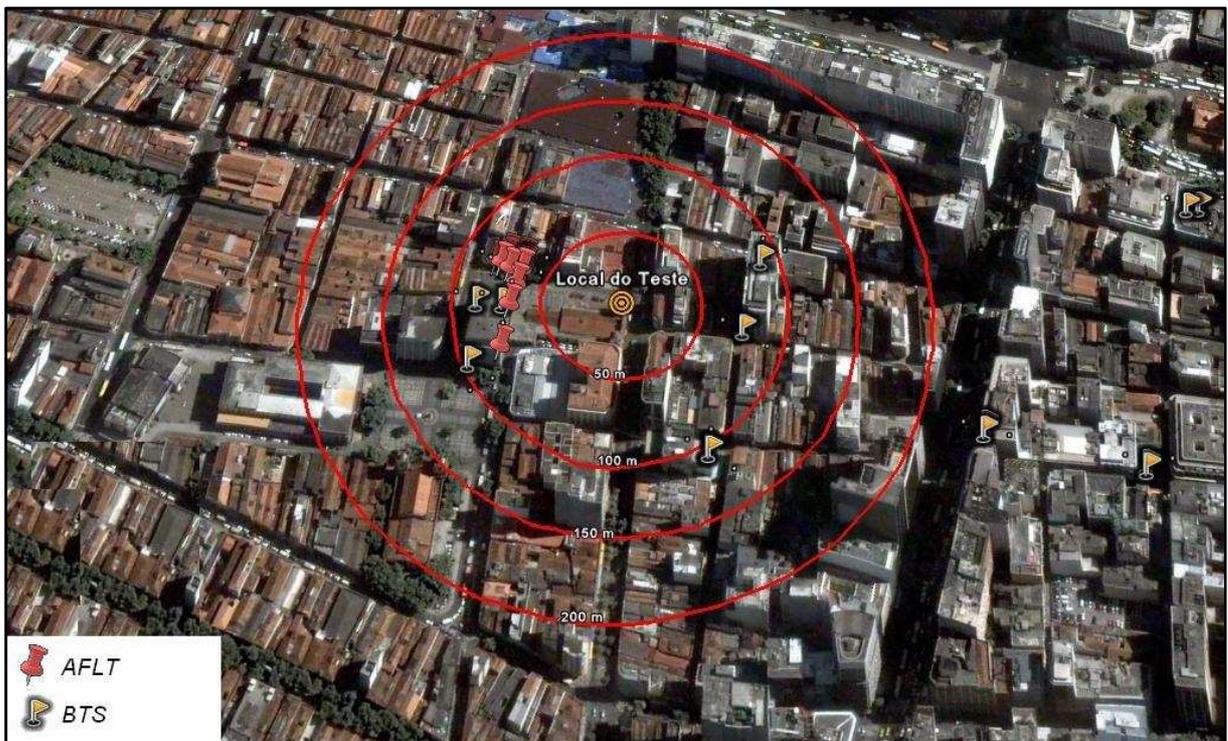


Figura 6-21: Chamadas de teste (método AFLT).

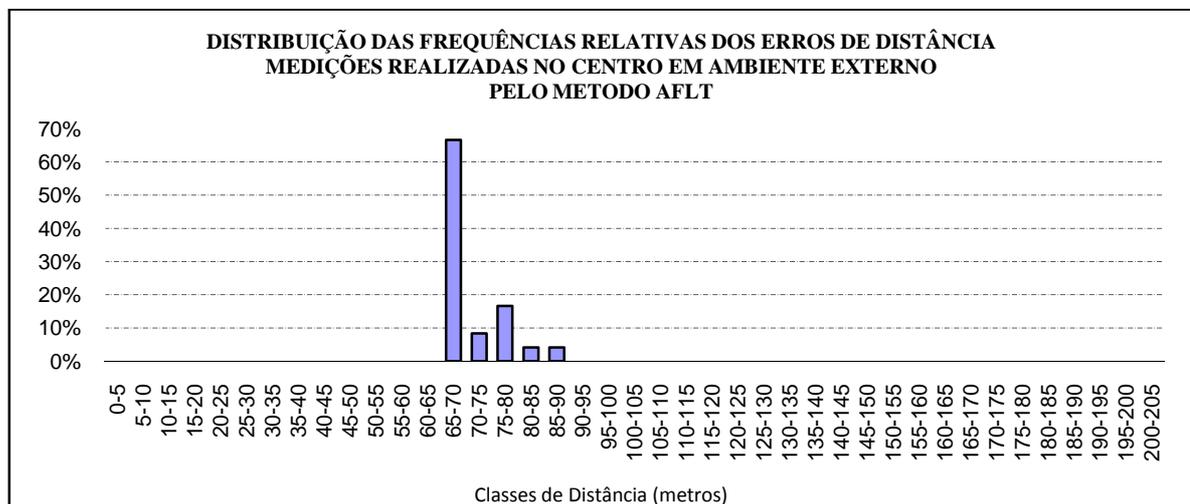


Figura 6-22: Distribuição de chamadas (método AFLT).

#### 6.4.1.4 Método CELL ID

O método Cell ID foi representado neste local de medição com apenas três chamadas de localização, não sendo aplicável a utilização de gráficos. Conforme diretriz do método, as

três localizações informadas pelo sistema se posicionaram exatamente no mesmo ponto, definido na tabela BSA como o centro de área de cobertura da BTS em destaque, na Figura 6-23. Em locais com grande densidade de BTS, este método, a princípio, de baixa precisão, pode apresentar uma boa precisão, conforme mostrado neste exemplo, onde o resultado informado estava a apenas 60 metros do local da medição.



Figura 6-23: Ponto definido na BSA para centro de área da BTS.

#### 6.4.1.5 Análise da Eficiência

Neste local de medição foram comparadas as eficiências dos métodos A-GPS+AFLT e AFLT. Estes métodos foram os mais utilizados em função da grande densidade de edifícios e da realização das medições em local muito próximo a um prédio de 10 metros de altura, o que comprova a influência de obstáculos na definição do método pelo sistema. Não foram

comparadas as eficiências dos métodos A-GPS e Cell ID em função do baixo volume de chamadas de localização.

Entre os métodos comparados foram analisados os valores de média e desvio padrão dos erros, através do gráfico da Figura 6-24, que mostra o desempenho dos métodos neste local de medição. O método AFLT obteve os menores resultados de erro médio e desvio padrão, sendo considerado o mais eficiente neste local de medição, comprovando a influência da quantidade de Estações Radio Base na eficiência da definição da localização.

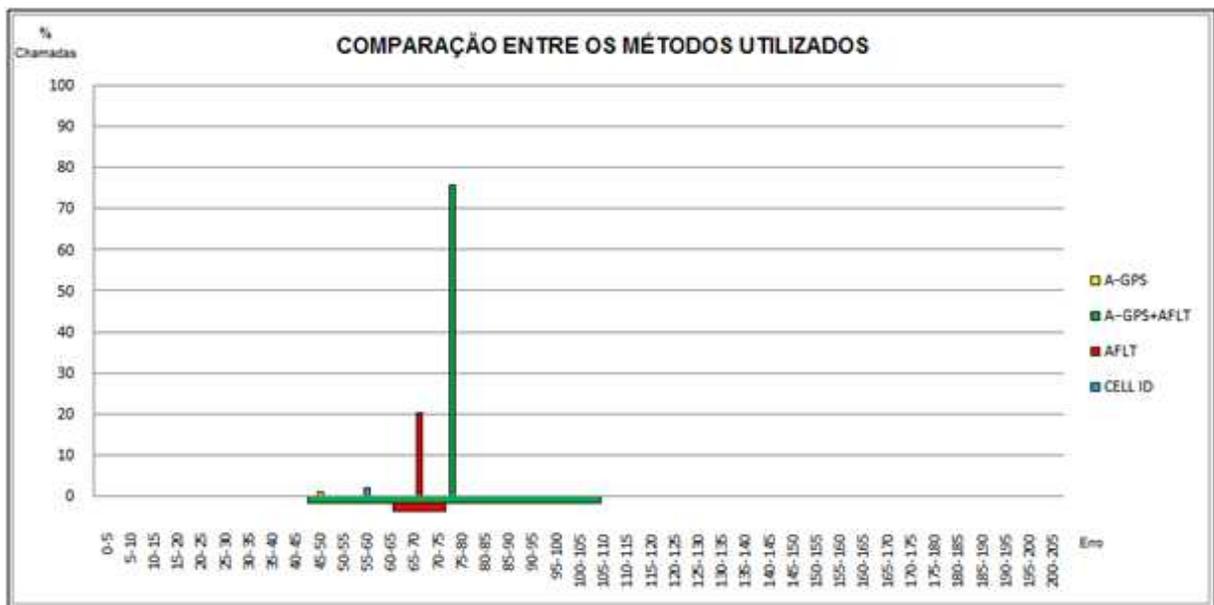


Figura 6-24: Eficiência dos métodos de localização nas medições realizadas no Centro do Rio de Janeiro em ambiente externo.

A Tabela 6-5 detalha os valores do gráfico da Figura 6-24.

Tabela 6-5: Quadro geral medições em ambiente externo no Centro do Rio de Janeiro

EFICIÊNCIA ENTRE OS MÉTODOS NAS MEDIÇÕES REALIZADAS EM AMBIENTE EXTERNO NO CENTRO DO RIO DE JANEIRO						
Método	Quantidade de chamadas	Percentual de chamadas	Erro Médio (Metros)	Desvio Padrão (Metros)	Intervalo de Erro para 1 Desvio (Metros)	Percentual de Chamadas no Intervalo de 1 Desvio
A-GPS	1	0,86%	50	Não Medido	Não Medido	Não Medido
A-GPS + AFLT	89	76,72%	78	30	48 à 109	77,53%
AFLT	24	20,69%	72	5	66 à 77	79,17%
CELL ID	3	2,59%	60	Não Medido	Não Medido	Não Medido

Quanto à eficiência do sistema, independente do método utilizado, foi verificado que as estimativas de localização se concentraram próximas do local de medição, com um erro médio de 76 metros, estando 79,49% das chamadas de localização entre 49 e 103 metros de distância do local de medição, conforme mostra os dados da Tabela 6-6.

Tabela 6-6: Eficiência do sistema no local de medição

EFICIÊNCIA INDEPENDENTEMENTE DO MÉTODO UTILIZADO NAS MEDIÇÕES REALIZADAS EM AMBIENTE EXTERNO NO CENTRO DO RIO DE JANEIRO					
Quantidade de chamadas	Erro Médio (Metros)	Desvio Padrão (Metros)	Intervalo de Erro para 1 Desvio (Metros)		% de Chamadas no Intervalo de 1 Desvio
117	76	27	49	à 103	79,49

A Figura 6-25 mostra o gráfico de frequências relativas acumuladas, indicando percentual de chamadas dentro do intervalo de um desvio padrão.

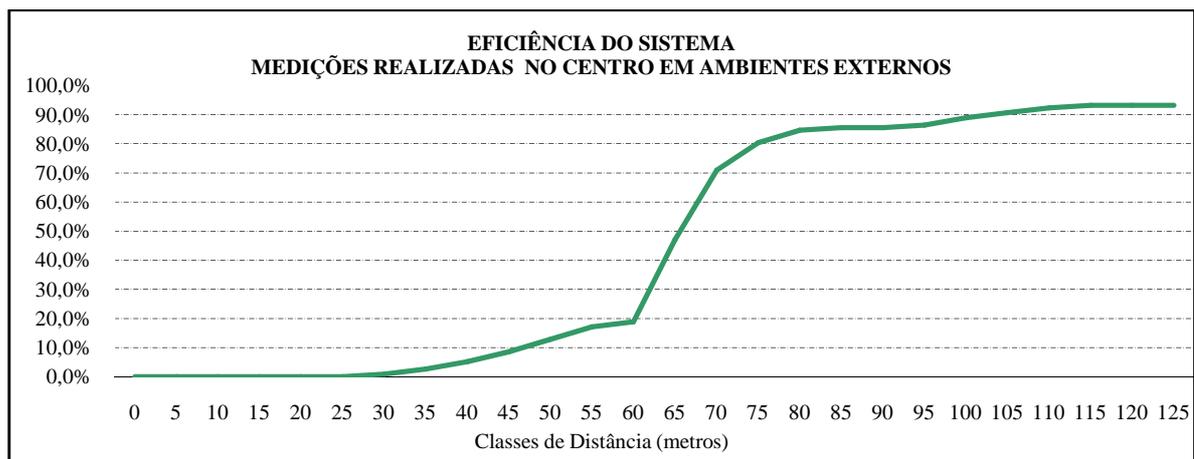


Figura 6-25: Eficiência do sistema.

Neste local de medição foi observado que a escolha dos métodos está relacionada à presença de obstáculos e que a ordem de escolha dos métodos segue do mais preciso para o menos preciso. Foi verificado, também, que o método Cell ID, apesar de ser considerado o método menos preciso, devido a grande densidade de Estações Radio Base e a consistência dos dados armazenados na tabela BSA, pode garantir uma boa precisão na falta de dados que possibilitem a escolha de um método mais preciso.

#### 6.4.2 Medições Realizadas em Ambiente Externo na Zona Norte do Rio de Janeiro

As medições foram realizadas na cobertura de um prédio, localizado em área de média densidade de Estações Rádio Base e alta densidade de edifícios, de altura média de 10 andares. A Figura 6-26 mostra o local de medição, os resultados das medidas separadas por cores, conforme legenda, e as Estações Rádio Base representadas por bandeiras.

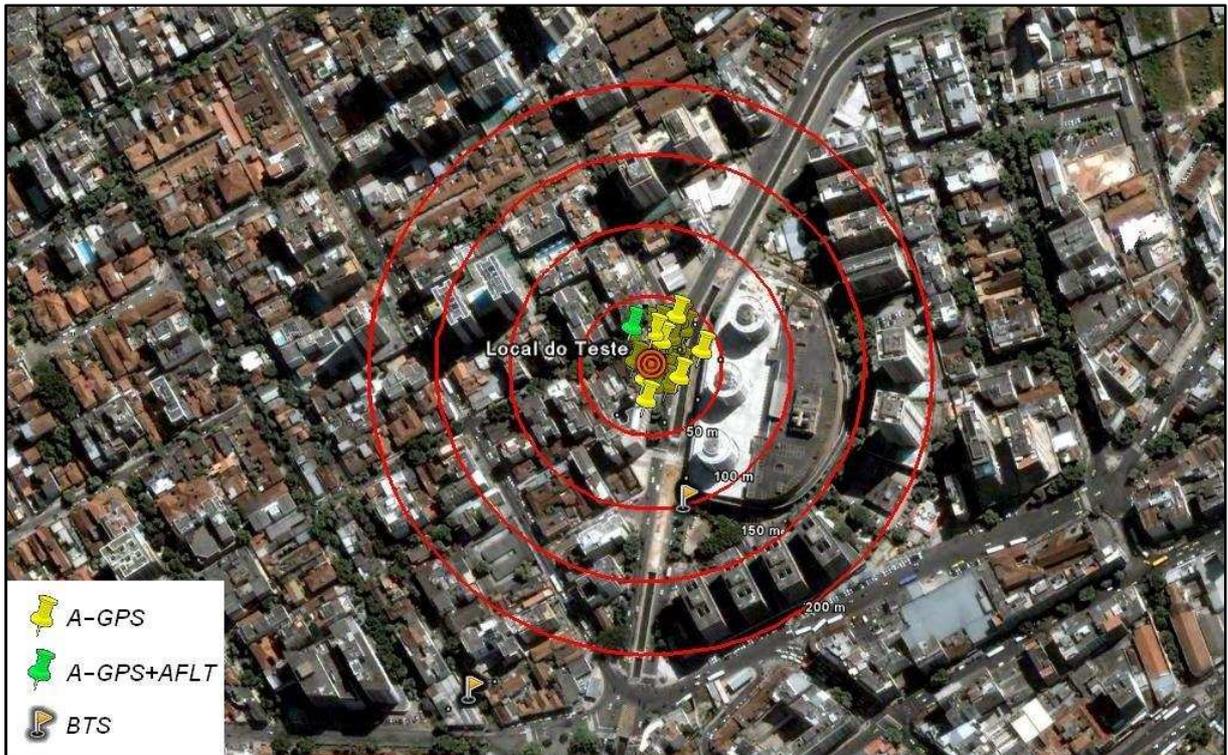


Figura 6-26: Medições realizadas na Zona Norte do Rio de Janeiro em ambiente externo.

Foram realizadas 216 chamadas de localização. A distribuição de Frequências Relativas dos erros, em classes de 5 metros, é mostrada na Figura 6-27.

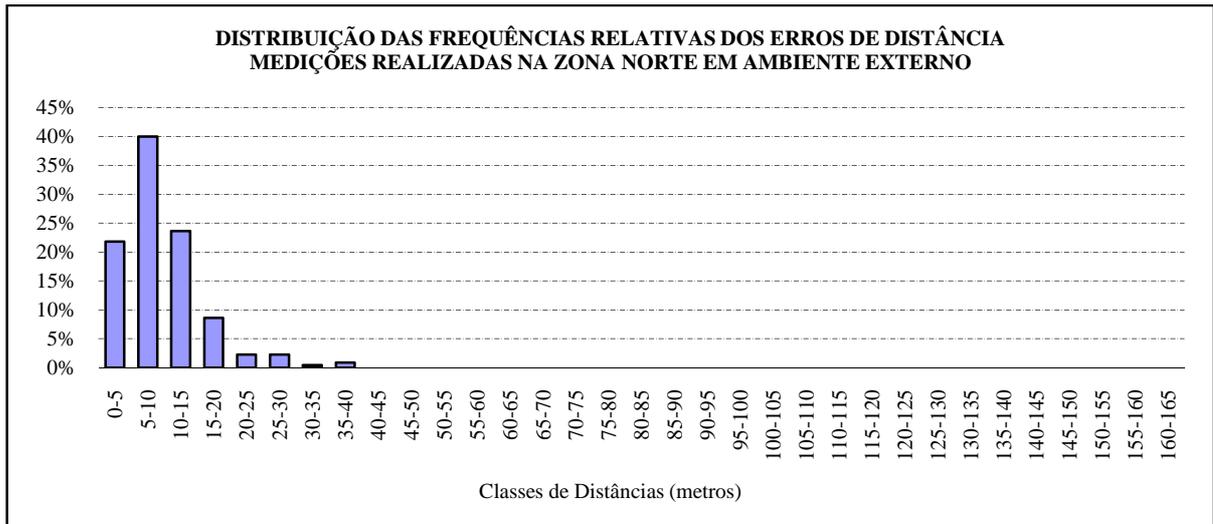


Figura 6-27: Distribuição das frequências relativas de ocorrência de erros de distância.

Neste local de medição, o sistema utilizou os métodos A-GPS e A-GPS+AFLT, conforme distribuição indicada no gráfico da Figura 6-28. Os métodos AFLT e CELL ID não foram escolhidos pelo sistema.

### Métodos de Localização

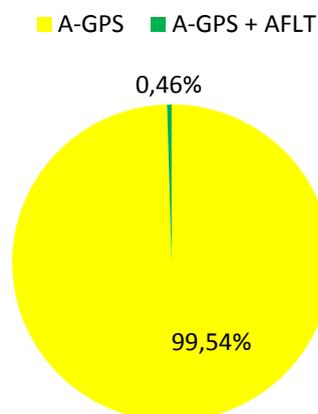


Figura 6-28: Distribuição dos métodos utilizados.

#### 6.4.2.1 Método A-GPS

O método predominante neste local de medição foi o A-GPS. Com 99,54% das chamadas de localização, este método obteve um erro médio de 10 metros, um desvio padrão de 6 metros, e 76,28% dessas chamadas de localização se posicionaram entre 4 e 6 metros de distância do local de medição. A Figura 6-29 mostra mapa com os resultados das medições e a

Figura 6-30, o gráfico com a distribuição das frequências relativas dos erros nas chamadas de localização, que utilizaram o método A-GPS neste local de medição.

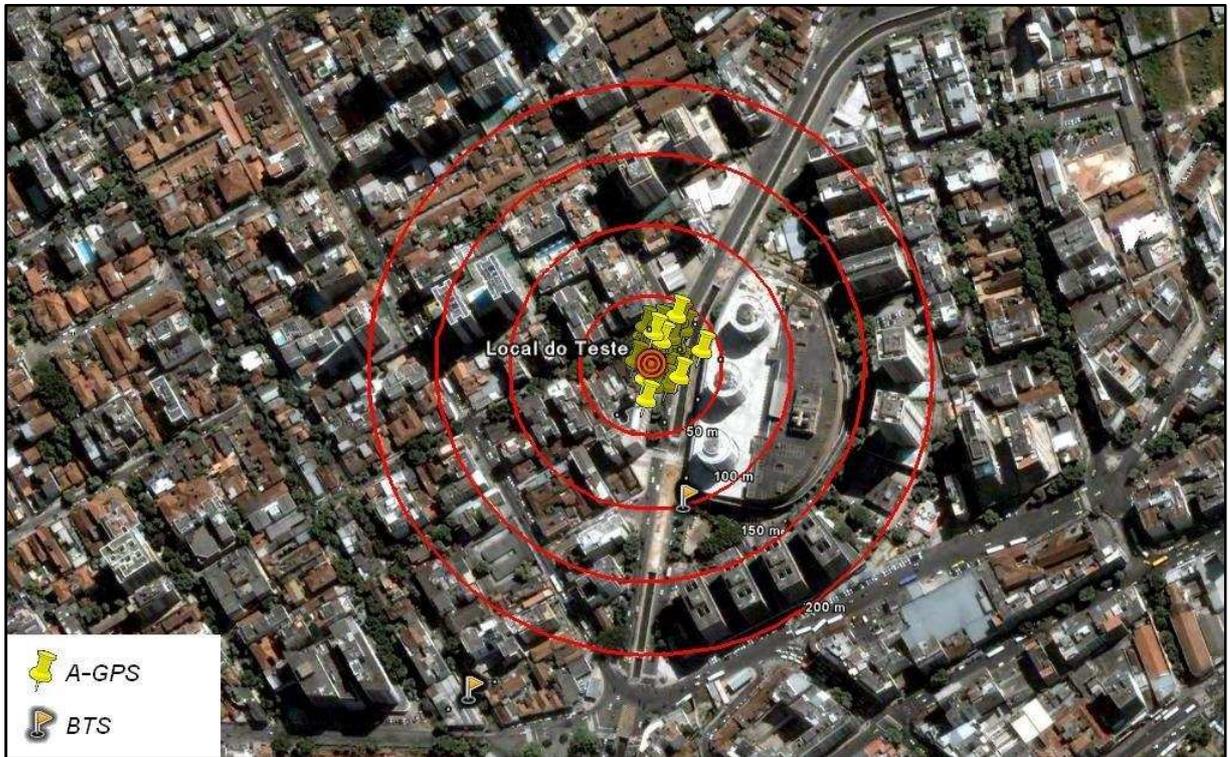


Figura 6-29: Chamadas de teste (método A-GPS).

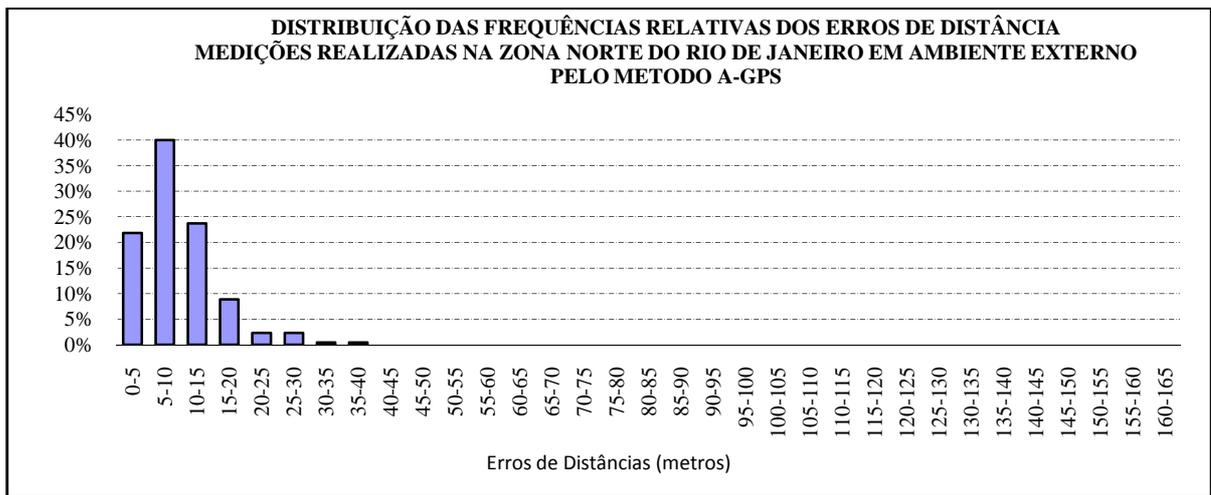


Figura 6-30: Distribuição de chamadas (método A-GPS).

#### 6.4.2.2 Método A-GPS+AFLT

O método híbrido A-GPS+AFLT com apenas 1 chamada de localização, informou sua localização a uma distância de 35 metros do local de medição. Não foram gerados gráficos para este método neste local de medição. A Figura 6-31 mostra resultado da medição.



Figura 6-31: Chamada de teste (método A-GPS+AFLT).

#### 6.4.2.3 Análise da Eficiência

Neste local de medição, como praticamente o método A-GPS foi o único utilizado, não houve comparação entre os métodos. Para o método A-GPS+AFLT, com apenas 1 chamada de localização, e os métodos AFLT e CELL ID, não utilizados pelo sistema neste local de medição, não foram calculadas medidas de dispersão, e seus desempenhos não foram utilizados na comparação entre os métodos.

A Figura 6-32 mostra a distribuição e o desempenho dos métodos neste local de medição.



Figura 6-32: Eficiência dos métodos de localização nas medições realizadas na Zona Norte do Rio de Janeiro, em ambiente externo.

Praticamente, o A-GPS foi o único método utilizado neste local de medição, confirmando a primeira opção de escolha pelo sistema em ambientes externos e sem obstáculos. A Tabela 6-7 mostra o resumo neste local de medição.

Tabela 6-7: Quadro geral de medições em ambiente externo na Zona Norte do Rio de Janeiro.

EFICIÊNCIA ENTRE OS MÉTODOS NAS MEDIÇÕES REALIZADAS EM AMBIENTE EXTERNO NA ZONA NORTE DO RIO DE JANEIRO						
Método	Quantidade de chamadas	Percentual de chamadas	Erro Médio (Metros)	Desvio Padrão (Metros)	Intervalo de Erro para 1 Desvio (Metros)	Percentual de Chamadas no Intervalo de 1 Desvio
A-GPS	215	99,54%	10	6	4 à 16	76,28%
A-GPS + AFLT	1	0,46%	35	Não Medido	Não Medido	Não Medido
AFLT	0	0,00%	Não Medido	Não Medido	Não Medido	Não Medido
CELL ID	0	0,00%	Não Medido	Não Medido	Não Medido	Não Medido

Quanto à eficiência do sistema, independente do método utilizado, foi verificado que as estimativas de localização neste local de medição foram as apresentadas pelo método A-GPS, sofrendo apenas uma pequena queda no percentual de chamadas dentro do intervalo de erro para 1 desvio padrão, em consequência da chamada de localização realizada pelo método A-GPS+AFLT. A Tabela 6-8 e o gráfico da Figura 6-33 mostram os dados de todas as chamadas de localização, independentemente do método utilizado.

Tabela 6-8: Eficiência do sistema no local de medição

EFICIÊNCIA INDEPENDENTEMENTE DO MÉTODO UTILIZADO NAS MEDIÇÕES REALIZADAS EM AMBIENTE EXTERNO NA ZONA NORTE DO RIO DE JANEIRO					
Quantidade de chamadas	Erro Médio (Metros)	Desvio Padrão (Metros)	Intervalo de Erro para 1 Desvio (Metros)		% de Chamadas no Intervalo de 1 Desvio
216	10	5	4	à 15	75,93

A Figura 6-33 mostra o gráfico de Frequências Relativas Acumuladas, indicando percentual de chamadas dentro do intervalo de um desvio padrão.

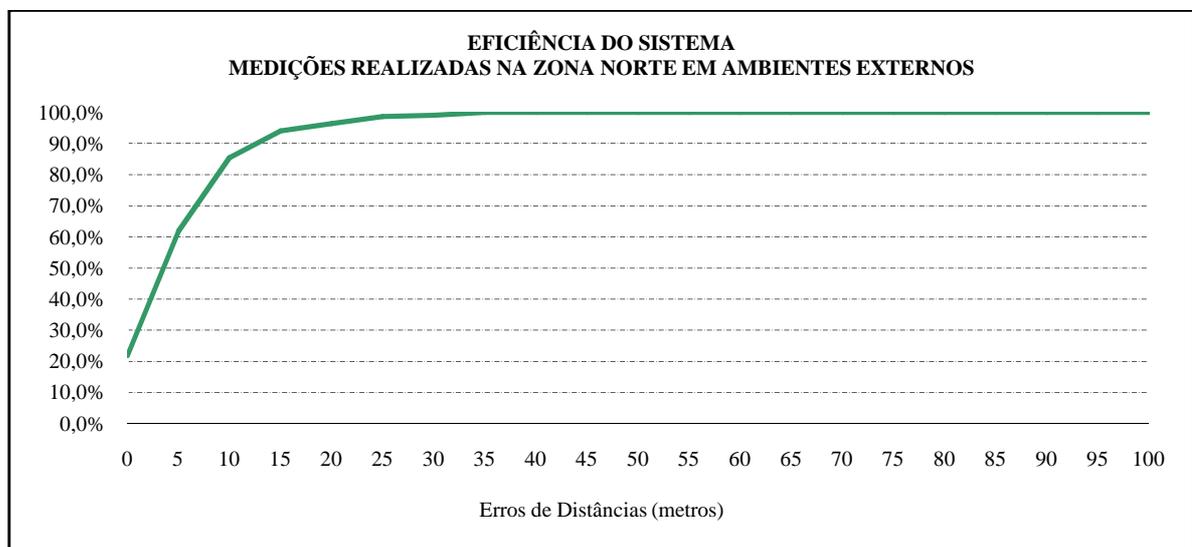


Figura 6-33: Eficiência do sistema.

#### 6.4.3 Medições Realizadas em Ambiente Externo, na Zona Sul do Rio de Janeiro

As medições foram realizadas em local aberto com média densidade de edifícios e baixa densidade de Estações Rádio Base, às margens da lagoa Rodrigo de Freitas, com prédios de altura média de 10 andares e o “espelho d’água” formado pela lagoa. A Figura 6-34 mostra o local de medição, os resultados das medições separados por cores, conforme legenda, e as Estações Rádio Base representadas por bandeiras.



Figura 6-34: Medições realizadas na Zona Sul do Rio de Janeiro, em ambiente externo.

Foram realizadas 99 chamadas de localização. A distribuição de Frequências Relativas dos erros, em classes de 5 metros, é mostrada na Figura 6-35.

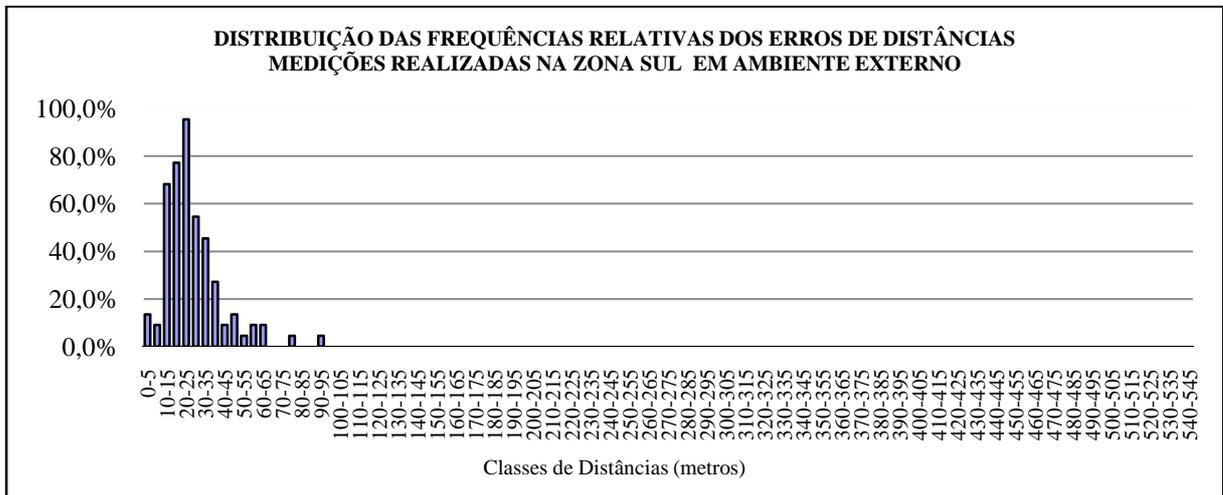


Figura 6-35: Distribuição das frequências relativas de ocorrência de erros de distância.

Neste local de medição, de acordo com o esperado em um ambiente externo e sem obstáculos, os métodos utilizados foram o A-GPS com 98,99% e o A-GPS+AFLT com 1,01% das chamadas de localização, conforme distribuição indicada na Figura 6-36. Os métodos AFLT e CELL ID não foram escolhidos pelo sistema.

## Métodos de Localização

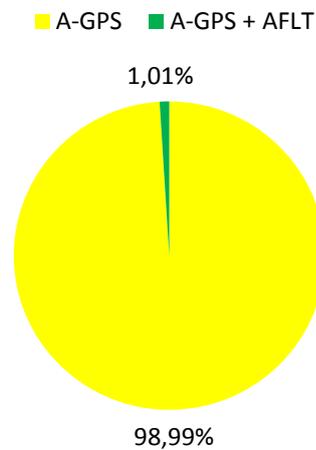


Figura 6-36: Distribuição dos métodos utilizados.

### 6.4.3.1 Método A-GPS

O método predominante neste local de medição foi o A-GPS. Com 98,99% das chamadas de localização, obteve um erro médio de 26 metros e um desvio padrão de 15 metros, onde, 81,63% das chamadas de localização, se posicionaram entre 11 e 41 metros de distância do local de medição. A Figura 6-37 mostra distribuição no mapa e a Figura 6-38 mostra o gráfico com a distribuição das chamadas que utilizaram este método.



Figura 6-37: Chamadas de teste (método A-GPS).

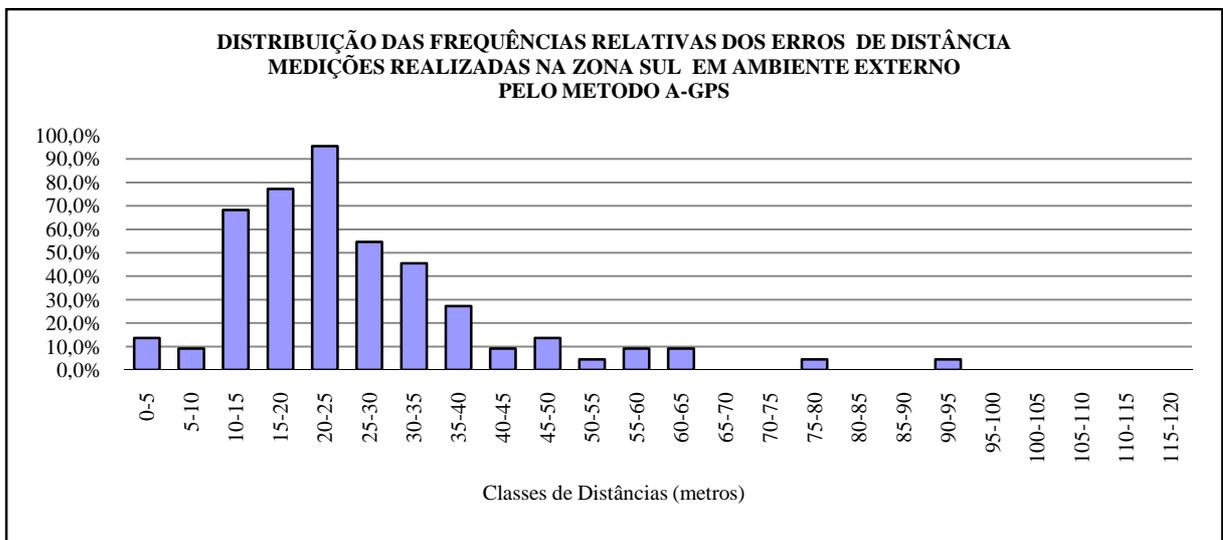


Figura 6-38: Distribuição de chamadas (método A-GPS).

#### 6.4.3.2 Método A-GPS+AFLT

O método híbrido A-GPS+AFLT com apenas 1 chamada de localização, informou sua localização a uma distância de 507 metros do local de medição. Não foram gerados gráficos para este método, neste local de medição. A Figura 6-39 mostra resultado da medição.



Figura 6-39: Chamadas de teste (método A-GPS+AFLT).

#### 6.4.3.3 Análise da Eficiência

Neste local de medição, como praticamente o método A-GPS foi único utilizado, não houve comparação entre os métodos. Para o método A-GPS+AFLT, com apenas 1 chamada de localização, e os métodos AFLT e CELL ID, não utilizados pelo sistema neste local de medição, não foram calculadas medidas de dispersão, e seus desempenhos não foram utilizados na comparação entre os métodos.

A Figura 6-40 mostra a distribuição e o desempenho dos métodos neste local de medição.



Figura 6-40: Eficiência dos métodos de localização nas medições realizadas na Zona Sul do Rio de Janeiro, em ambiente externo.

Praticamente o A-GPS foi o único método utilizado neste local de medição, confirmando a primeira opção de escolha pelo sistema em ambientes externos e sem obstáculos. A Tabela 6-9 mostra quadro resumo neste local de medição.

Tabela 6-9: Quadro geral medições em ambiente externo na Zona Sul do Rio de Janeiro.

EFICIÊNCIA ENTRE OS MÉTODOS NAS MEDIÇÕES REALIZADAS EM AMBIENTE EXTERNO NA ZONA SUL DO RIO DE JANEIRO						
Método	Quantidade de chamadas	Percentual de chamadas	Erro Médio (Metros)	Desvio Padrão (Metros)	Intervalo de Erro para 1 Desvio (Metros)	Percentual de Chamadas no Intervalo de 1 Desvio
A-GPS	98	98,99%	26	15	11 à 41	81,63%
A-GPS + AFLT	1	1,01%	507	Não Medido	Não Medido	Não Medido
AFLT	0	0	Não Medido	Não Medido	Não Medido	Não Medido
CELL ID	0	0	Não Medido	Não Medido	Não Medido	Não Medido
<b>TOTAL</b>	<b>99</b>	<b>100%</b>	<b>26</b>	<b>15</b>	<b>11 à 41</b>	<b>81,63%</b>

Quanto à eficiência do sistema independente do método utilizado, foi verificado que as estimativas de localização neste local de medição foram as apresentadas pelo método A-GPS, sofrendo apenas uma pequena queda no percentual de chamadas dentro do intervalo de erro para 1 desvio padrão, em consequência da chamada de localização realizada pelo método A-

GPS+AFLT. A Tabela 6-10 e o gráfico da Figura 6-41 mostram os dados de todas as chamadas de localização independentemente do método utilizado.

Tabela 6-10: Eficiência do sistema no local de medição

EFICIÊNCIA INDEPENDENTEMENTE DO MÉTODO UTILIZADO NAS MEDIÇÕES REALIZADAS EM AMBIENTE EXTERNO NA ZONA SUL DO RIO DE JANEIRO					
Quantidade de chamadas	Erro Médio (Metros)	Desvio Padrão (Metros)	Intervalo de Erro para 1 Desvio (Metros)		% de Chamadas no Intervalo de 1 Desvio
99	26	15	11	à 41	80,81%

A Figura 6-41 mostra o gráfico de Frequências Relativas Acumuladas, indicando percentual de chamadas, dentro do intervalo de um desvio padrão.

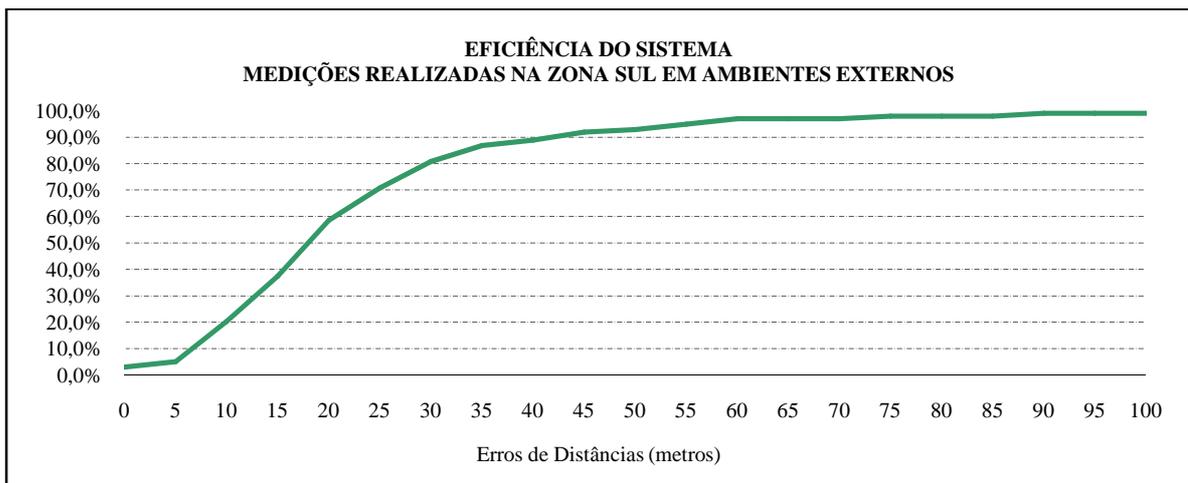


Figura 6-41: Eficiência do sistema.

#### 6.4.4 Medições Realizadas em Ambiente Externo na Zona Oeste do Rio de Janeiro

As medições foram realizadas na parte exterior de um *Shopping Center* localizado em área de baixa densidade de edificações e de Estações Rádio Base. A Figura 6-42 mostra o local de medição, os resultados dos testes separados por cores, conforme legenda, e as BTS representadas por bandeiras.

No interior deste shopping não existe a presença Estações Rádio Base.



Figura 6-42: Medições realizadas na Zona Oeste do Rio de Janeiro, em ambiente externo.

Foram realizadas 107 chamadas de localização. O A-GPS foi o único método utilizado neste local de medição.

#### 6.4.4.1 Método A-GPS

As medições realizadas com o método A-GPS obtiveram um erro médio de 19 metros e um desvio padrão de 9 metros, onde, 71,03% das chamadas se posicionaram entre 10 e 28 metros de distância do local de medição. A Figura 6-43 mostra a distribuição no mapa e a Figura 6-44 mostra o gráfico com a distribuição das chamadas que utilizaram este método.

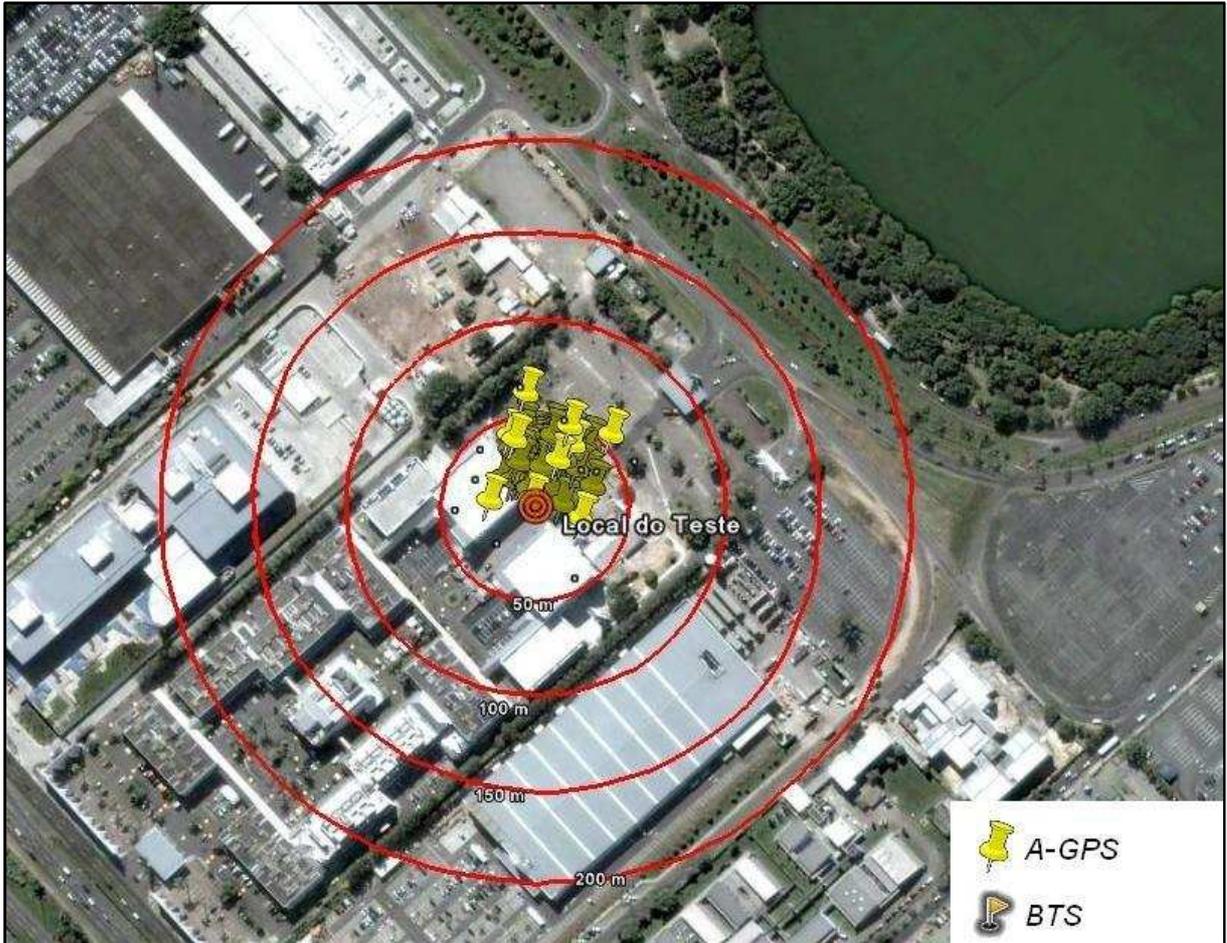


Figura 6-43: Chamadas de teste (método A-GPS).

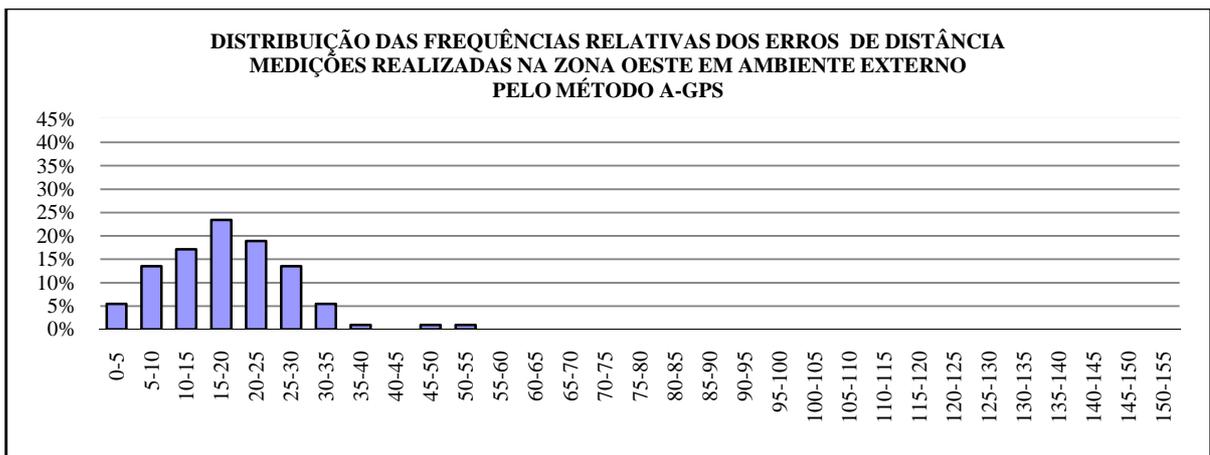


Figura 6-44: Distribuição de chamadas (método A-GPS).

#### 6.4.4.2 Análise da Eficiência

Conforme esperado em um local aberto e sem obstáculos, o método A-GPS foi o único método utilizado e obteve uma excelente eficiência, como mostra a Figura 6-45. A Tabela 6-11 mostra os dados neste local de medição.

Tabela 6-11: Quadro geral medições em ambiente externo na Zona Oeste do Rio de Janeiro.

EFICIÊNCIA ENTRE OS MÉTODOS NAS MEDIÇÕES REALIZADAS EM AMBIENTE EXTERNO NA ZONA OESTE DO RIO DE JANEIRO						
Método	Quantidade de chamadas	Percentual de chamadas	Erro Médio (Metros)	Desvio Padrão (Metros)	Intervalo de Erro para 1 Desvio (Metros)	% de Chamadas no Intervalo de 1 Desvio
A-GPS	107	100%	19	9	10 à 28	71,03%
A-GPS + AFLT	0	0%	Não Medido	Não Medido	Não Medido	Não Medido
AFLT	0	0%	Não Medido	Não Medido	Não Medido	Não Medido
CELL ID	0	0%	Não Medido	Não Medido	Não Medido	Não Medido

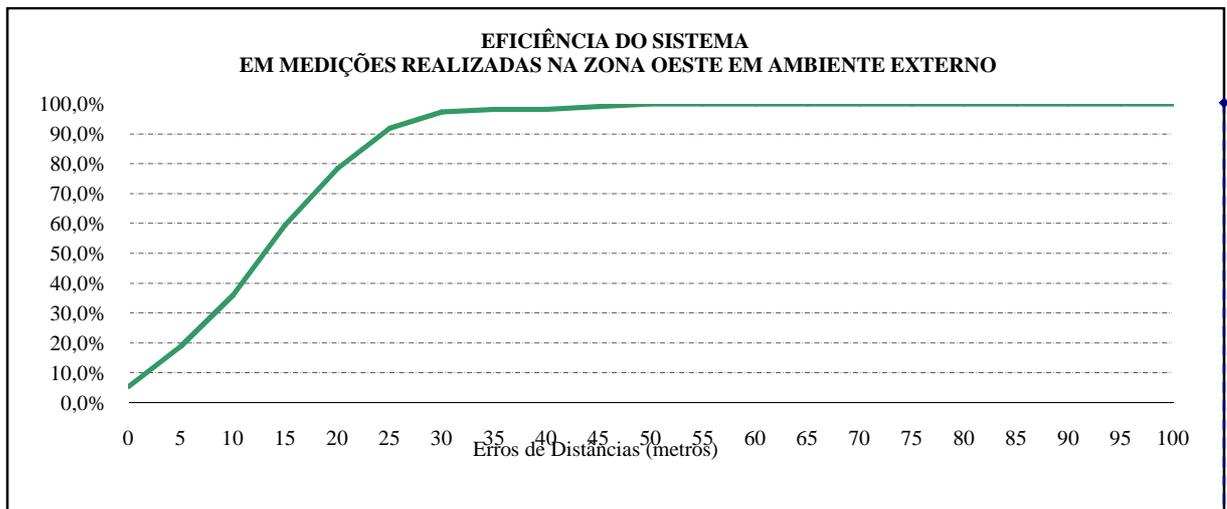


Figura 6-45: Eficiência do sistema.

#### 6.4.5 Medições Realizadas em Ambiente Externo em Niterói

As medições foram realizadas na parte externa do prédio da escola de engenharia no campus da UFF em Niterói. Local com baixa densidade de Estações Rádio Base e de edificações. A Figura 6-46 mostra o local de medição, os resultados das medidas separadas por cores, conforme legenda, e as Estações Rádio Base representadas por bandeiras.



Figura 6-46: Medições realizadas em Niterói, em ambiente externo.

Foram realizadas 212 chamadas de localização, A distribuição de frequências relativas dos erros em classes de 5 metros é mostrada na Figura 6-47.

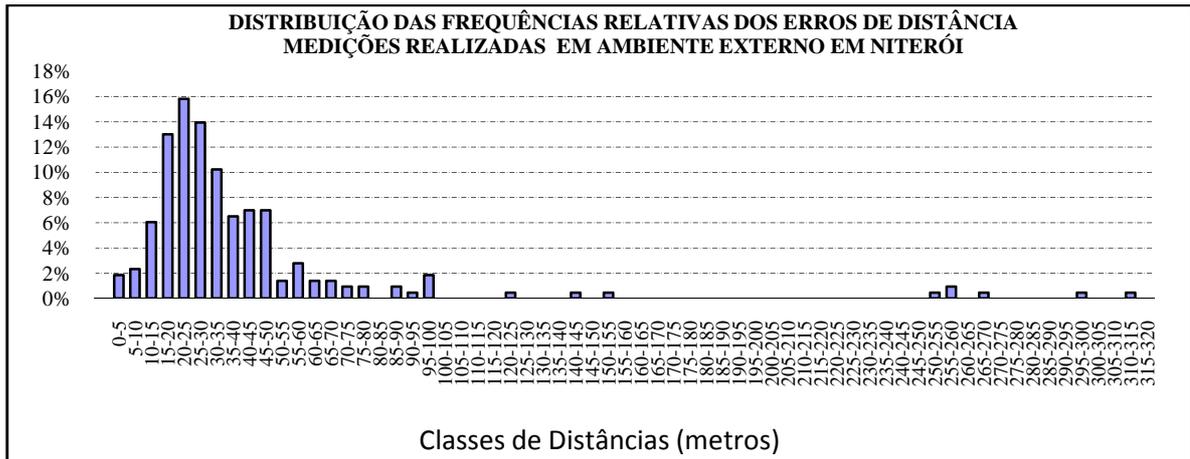


Figura 6-47: Distribuição das frequências relativas de ocorrência de erros de distância.

Neste local de medição o sistema utilizou os métodos A-GPS, A-GPS+AFLT, AFLT e o CELL ID, conforme distribuição indicada no gráfico da Figura 6-48.

### Métodos de Localização

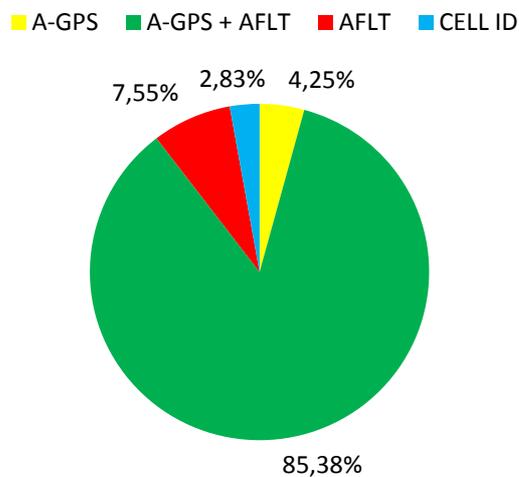


Figura 6-48: Distribuição dos métodos utilizados.

#### 6.4.5.1 Método A-GPS

O método A-GPS com 4,25% das chamadas de localização, obteve um erro médio de 36 metros, um desvio padrão de 33 metros estando 77,78% das chamadas entre 3 e 70 metros de distância do local do teste. A Figura 6-49 mostra a distribuição das chamadas de teste no mapa. A maior parte das chamadas se manteve concentrada próximo do local do teste.



Figura 6-49: Chamadas de teste (método A-GPS).

Embora tenha sido realizado em ambiente externo, onde normalmente a utilização do método A-GPS prevalece na escolha do sistema, este método foi pouco utilizado. O mesmo ocorreu nas medições realizadas no Centro do Rio de Janeiro em ambiente externo. Em ambos os locais de medição a MS estava bem próxima a um edifício o que provavelmente dificultou a visibilidade dos sinais dos satélites GPS.

#### 6.4.5.2 Método A-GPS+AFLT

O método predominante neste local de medição foi o A-GPS+AFLT, com uma grande quantidade de chamadas de localização, agrupadas bem próximas ao local de medição. As medições realizadas por este método obtiveram um erro médio de 33 metros, um desvio padrão de 19 metros e 79,56% das chamadas de localização se posicionou entre 14 e 52 metros de distância do local de medição. A Figura 6-50 mostra mapa com os resultados das medições e a Figura 6-20 o gráfico com a distribuição das frequências relativas dos erros nas chamadas de localização que utilizaram o método A-GPS+AFLT.

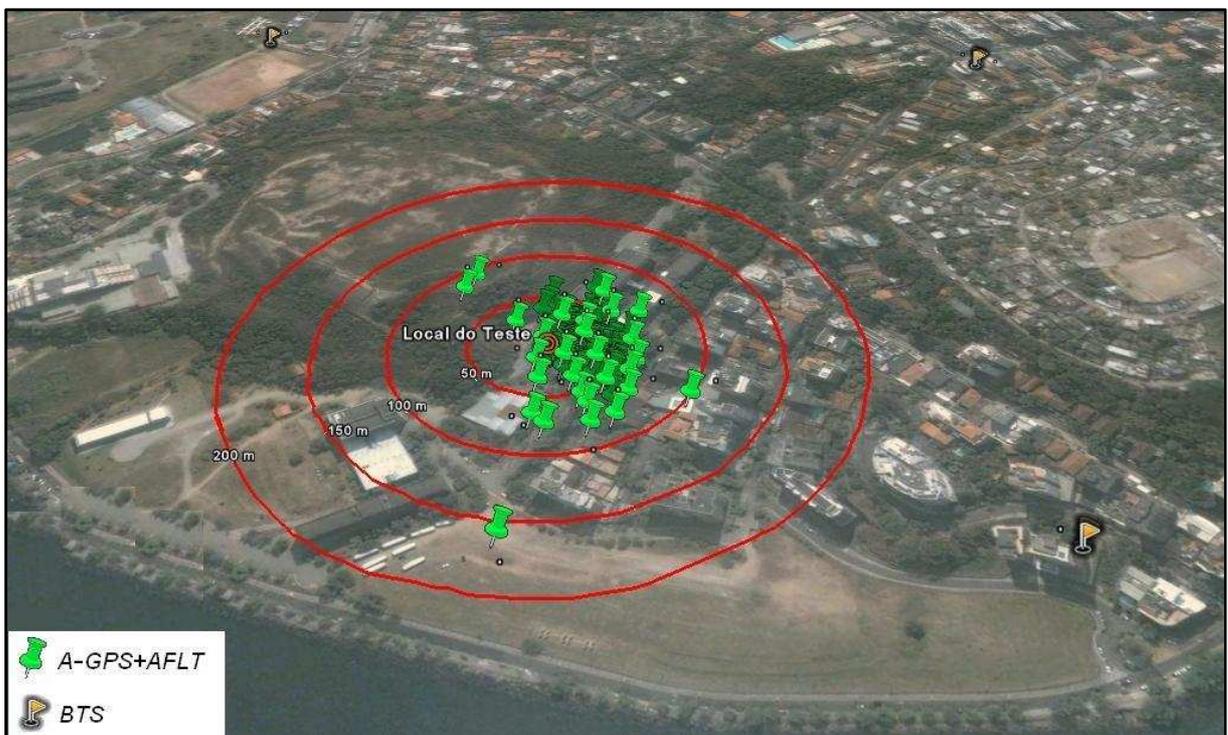


Figura 6-50: Chamadas de teste (método A-GPS+AFLT).

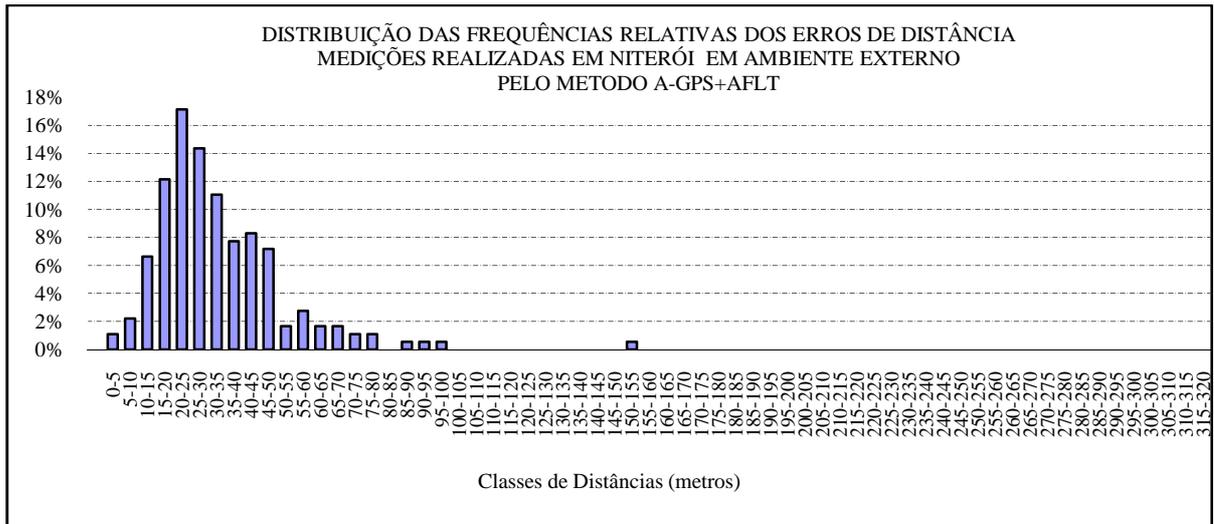


Figura 6-51: Distribuição de chamadas (método A-GPS + AFLT).

#### 6.4.5.3 Método AFLT

Apenas 7,55% das chamadas de localização utilizaram o método AFLT.

Das chamadas de localização através do método AFLT, 68,75% se mantiveram com o erro médio em torno dos 26 metros. Porém, apenas 4 chamadas restantes, se mantiveram acima dos 100 metros, deslocando o erro médio para 96 metros e o desvio padrão para 118 metros. A Figura 6-52 mostra mapa com resultado das medidas e, a Figura 6-53, o gráfico com a distribuição das frequências relativas dos erros de localização nas chamadas que utilizaram o método AFLT.



Figura 6-52: Chamadas de teste (método AFLT).

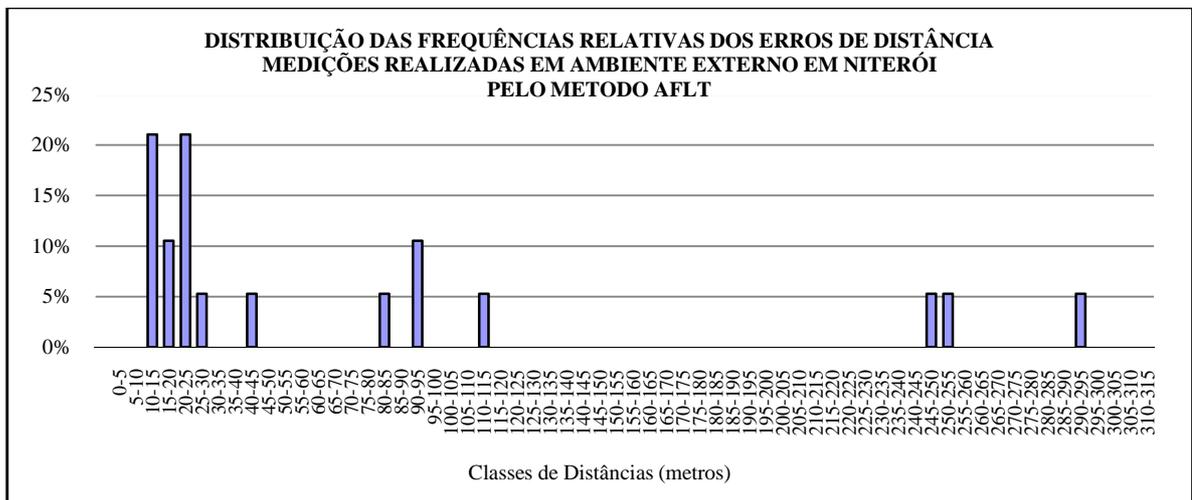


Figura 6-53: Distribuição de chamadas (método AFLT).

#### 6.4.5.4 Método CELL ID

As chamadas que utilizaram o método Cell ID, tiveram suas estimativas ao redor do local do teste, porém, a localização informada pelo sistema, apesar de próximas do local não

refletem as respectivas latitude/longitude informadas na tabela BSA. Isso demonstra uma possível desatualização nos dados da BSA, sendo este um ponto crítico para o sistema.

A Figura 6-54 mostra os pontos de centro de célula indicados na BSA e os pontos identificados pelo sistema.

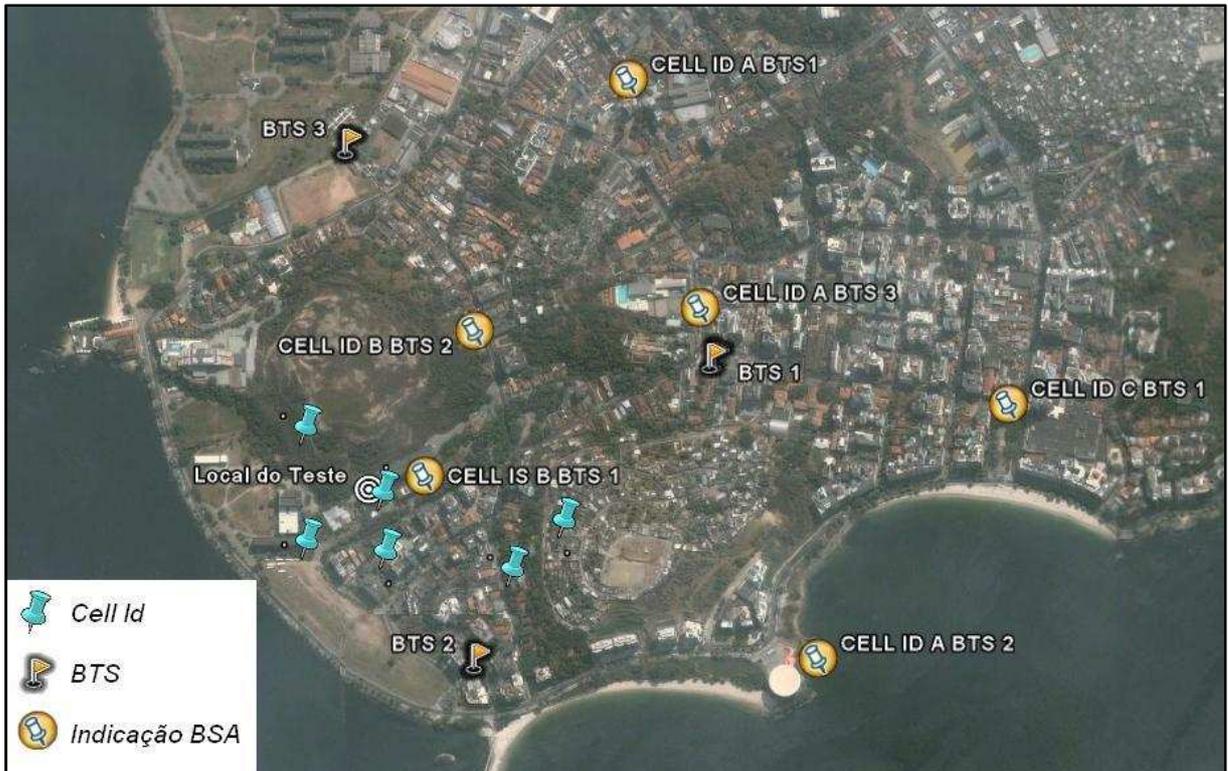


Figura 6-54: Centros de área de células X resultado CELL ID.

#### 6.4.5.5 Análise da Eficiência

Quanto aos métodos utilizados neste local de medição, o método A-GPS+AFLT foi o que obteve a maior quantidade de chamadas, com um total bem acima dos demais métodos.

Quanto à eficiência entre os métodos foram comparados o A-GPS, o A-GPS+ AFLT e o AFLT. O método CELL ID não foi utilizado na comparação entre os métodos.

Entre os métodos comparados, foram analisados os valores de medidas centrais e desvio padrão. O método A-GPS+AFLT obteve os menores resultados de erro médio e desvio padrão para um maior percentual de chamadas, sendo considerado o mais eficiente neste local de medição.

A Figura 6-55 mostra a distribuição e o desempenho dos métodos neste local de medição.

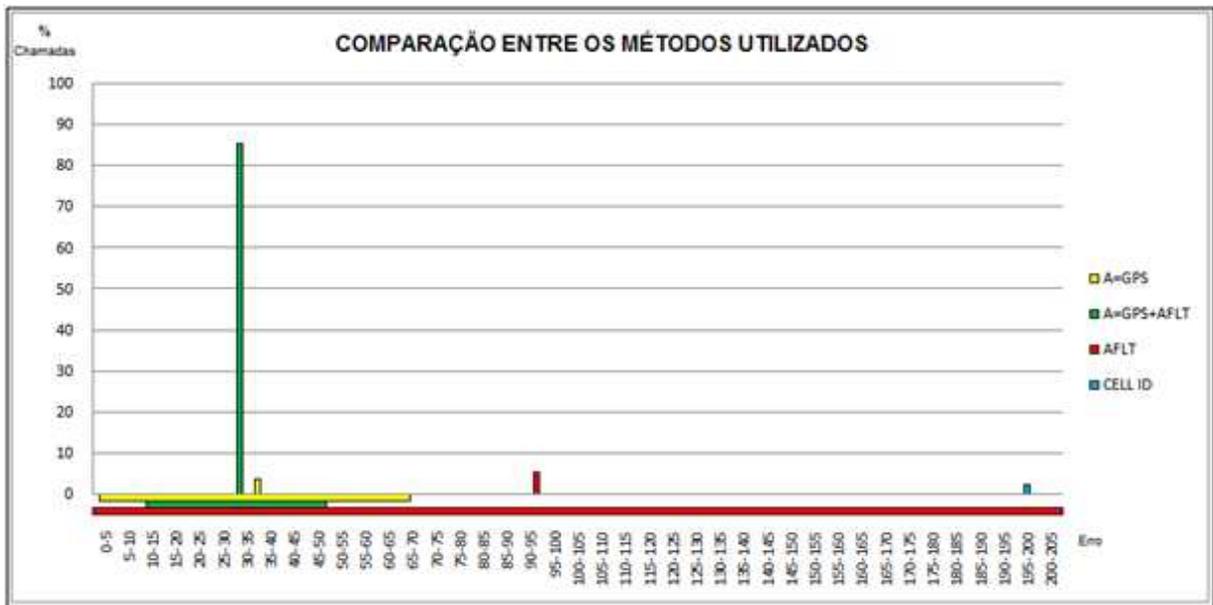


Figura 6-55: Eficiência dos métodos de localização nas medições realizadas em Niterói em ambiente externo.

A Tabela 6-12 detalha os valores do gráfico da Figura 6-55.

Tabela 6-12: Quadro geral medições em ambiente externo em Niterói.

EFICIÊNCIA ENTRE OS MÉTODOS NAS MEDIÇÕES REALIZADAS EM AMBIENTE EXTERNO EM NITERÓI						
Método	Quantidade de chamadas	Percentual de chamadas	Erro Médio (Metros)	Desvio Padrão (Metros)	Intervalo de Erro para 1 Desvio (Metros)	% de Chamadas no Intervalo de 1 Desvio
A-GPS	9	4,25%	36	33	3 à 70	77,78%
A-GPS + AFLT	181	85,38%	33	19	14 à 52	79,56%
AFLT	16	7,55%	96	118	0 à 214	75,00%
CELL ID	6	2,83%	200	Não Medido	Não Medido	Não Medido

Quanto à eficiência de uma forma geral, neste local de medição, foi verificada uma boa eficiência. Apesar de um erro médio de 60 metros, 92,92% das chamadas de teste se concentraram entre 0 e 84 metros, conforme mostrado na Tabela 6-13 e na Figura 6-56.

Tabela 6-13: Eficiência do sistema no local de medição.

EFICIÊNCIA INDEPENDENTEMENTE DO MÉTODO UTILIZADO NAS MEDIÇÕES REALIZADAS EM AMBIENTE EXTERNO EM NITERÓI				
Quantidade de chamadas	Erro Médio (Metros)	Desvio Padrão (Metros)	Intervalo de Erro para 1 Desvio (Metros)	% de Chamadas no Intervalo de 1 Desvio
212	38	41	0 à 79	94,69%

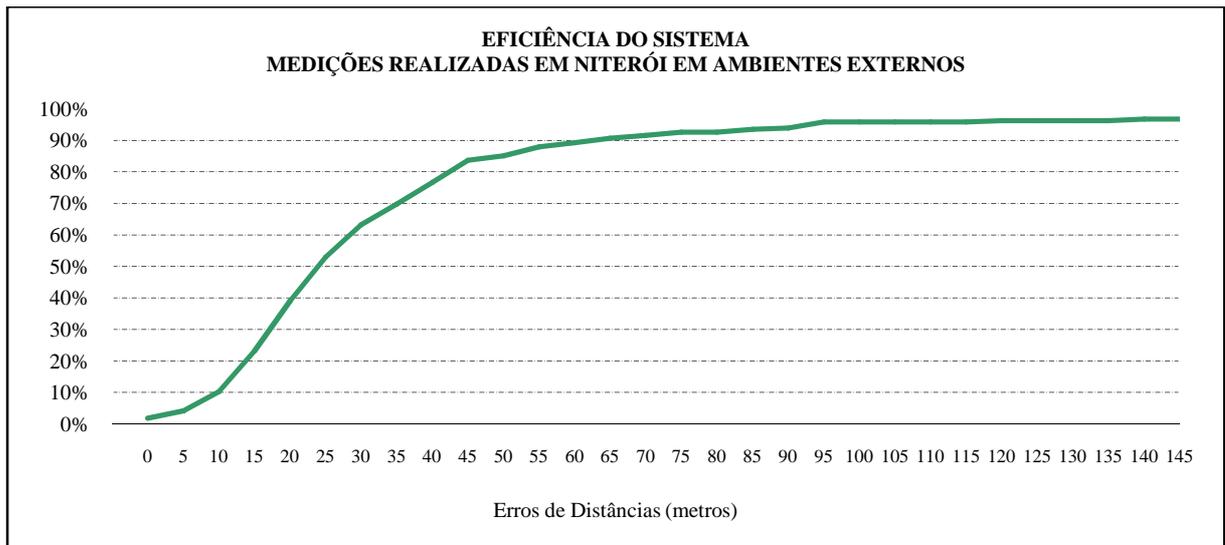


Figura 6-56: Eficiência do sistema.

#### 6.4.6 Medições Realizadas em Ambiente Interno no Centro do Rio de Janeiro

As medições foram realizadas em local fechado no interior de uma galeria com abertura para a Rua Gonçalves Dias, uma rua estreita no centro do Rio de Janeiro com prédios com altura média de cinco andares. A Figura 6-57 mostra o local do teste, os resultados das medidas separadas por cores, conforme legenda, e as Estações Rádio Base representadas por bandeiras.

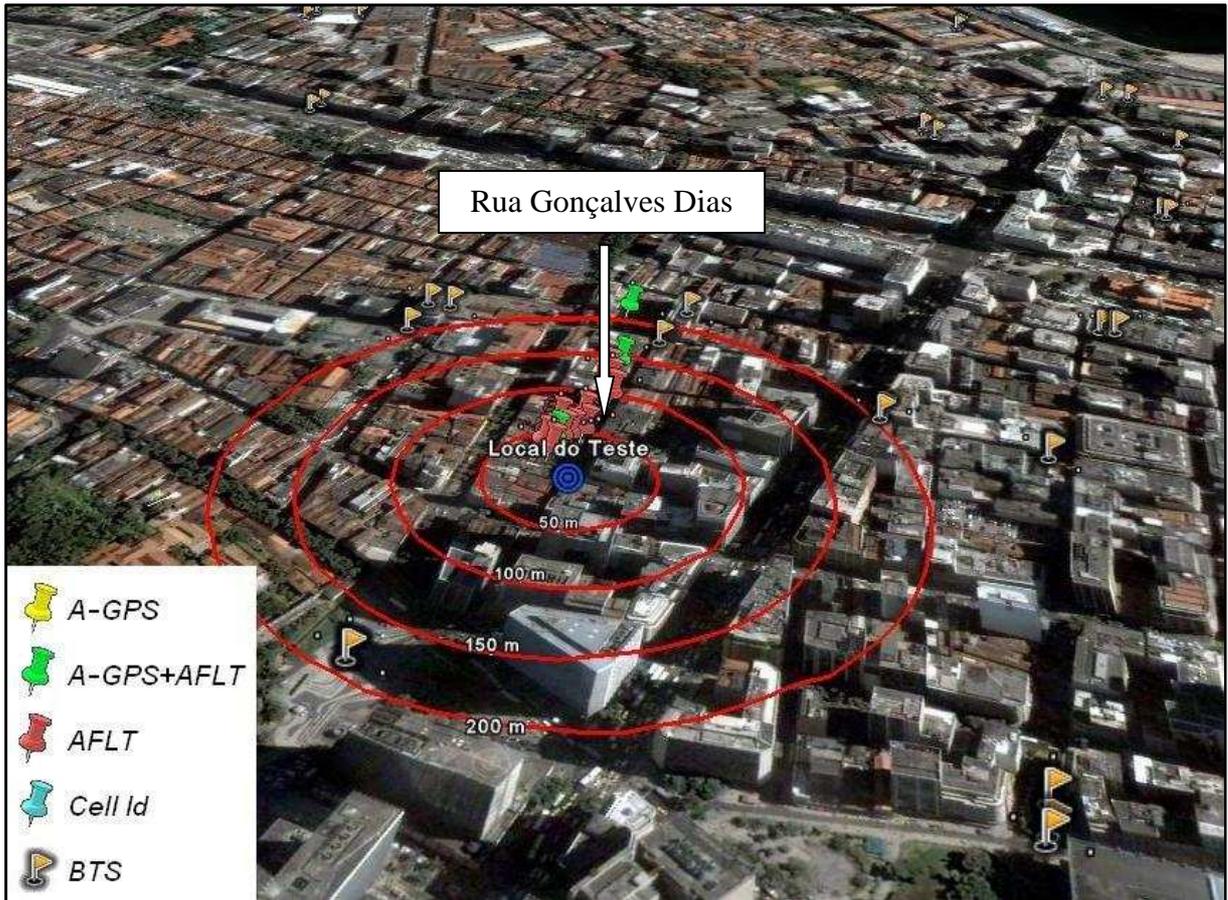


Figura 6-57: Medições realizadas no centro do Rio de Janeiro em ambiente interno.

Foram realizadas 113 chamadas, cuja distribuição de frequências separadas em classes de 5 metros é mostrada na Figura 6-58.

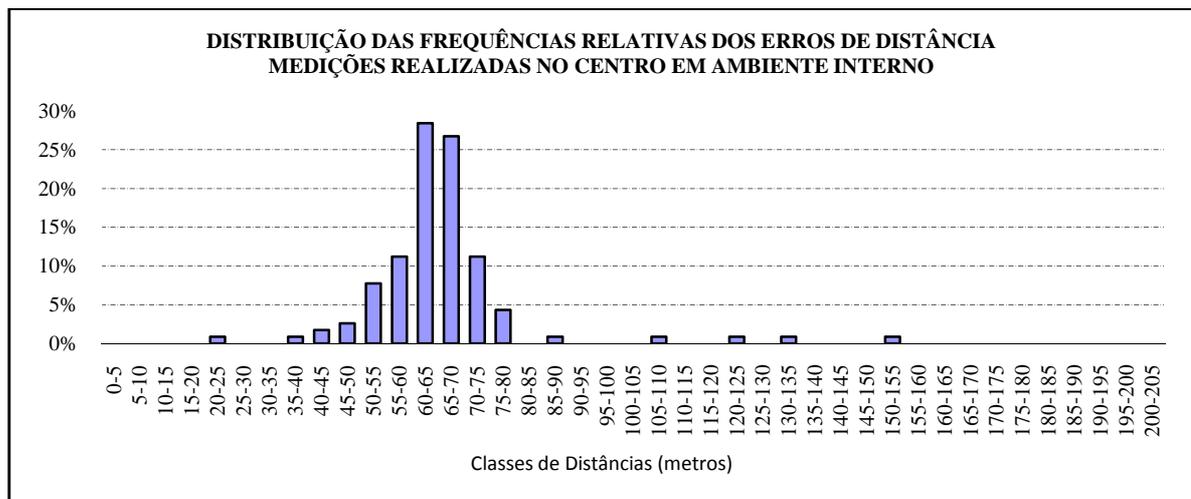


Figura 6-58: Distribuição das frequências relativas de ocorrência de erros de distância.

Neste local de medição foram utilizados os métodos A-GPS+AFLT, AFLT. O método AFLT foi o método predominante com 106 chamadas, e o A-GPS+AFLT com 7. Os métodos A-GPS e Cell Id não foram escolhidos pelo sistema para a definição da localização. A Figura 6-59 mostra a distribuição dos métodos.

## Métodos de Localização

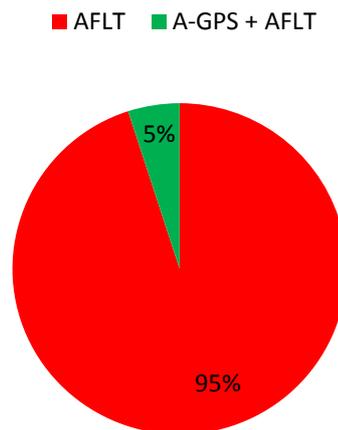


Figura 6-59: Distribuição dos métodos utilizados.

### 6.4.6.1 Método A-GPS+AFLT

No método híbrido A-GPS + AFLT com uma quantidade de chamadas muito pequena em relação ao AFLT, o valor de erro médio pode ser distorcido (entre 150 m e 250 m) em função das medidas indicadas nas setas na cor vermelha. Por esse motivo foi utilizada a mediana para o cálculo de centro de dados cujo valor ficou nos 82 metros. Com apenas 7 chamadas não foi viável a elaboração de gráfico de distribuição. A Figura 6-60 mostra a distribuição das chamadas de localização pelo método A-GPS+AFLT.

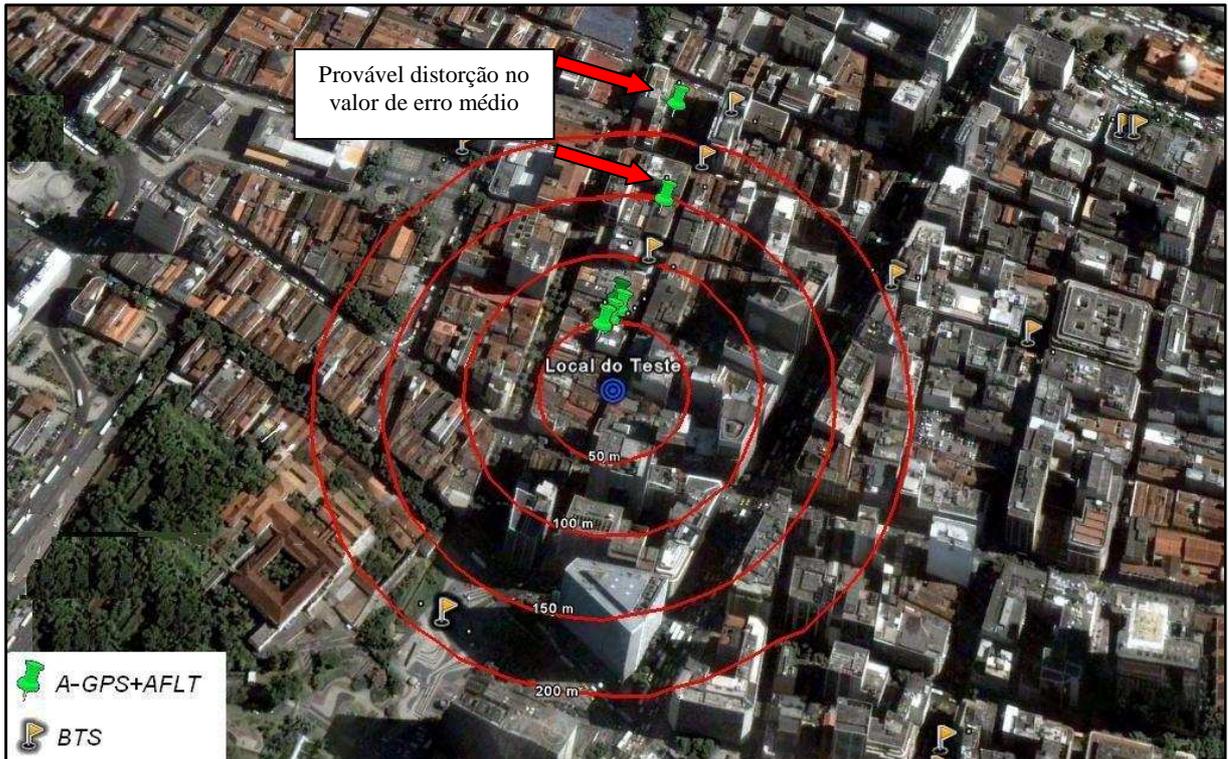


Figura 6-60: Chamadas de teste (método A-GPS+AFLT).

#### 6.4.6.2 Método AFLT

Conforme esperado em um ambiente interno, o método AFLT foi o mais utilizado com 95% as chamadas agrupadas a 60 m do local do teste, com algumas mais dispersas, porém não ultrapassando 120 metros do local do teste. Para o erro médio de 65 metros e o desvio padrão de 12 metros, foi verificado que 89,62% das chamadas se concentraram entre 53 e 77 metros de distância do ponto de teste. A Figura 6-61 mostra mapa com os resultados dos testes e a Figura 6-62, o gráfico com a distribuição das frequências com o método AFLT, neste local de medição.



Figura 6-61: Chamadas de teste (método AFLT).

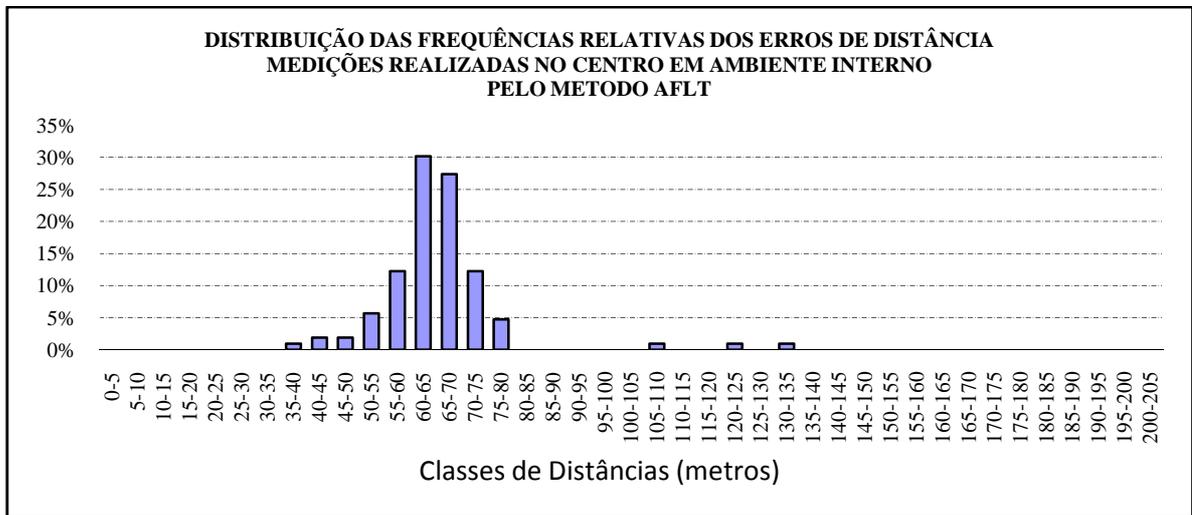


Figura 6-62: Distribuição de chamadas (método AFLT).

A Figura 6-63 mostra a distribuição e o desempenho dos métodos neste local de medição.

Quanto aos métodos utilizados neste local de medição, o método AFLT foi o que obteve a maior quantidade de chamadas.

Quanto à eficiência entre os métodos, como praticamente o método AFLT foi o único utilizado neste local de medição, não houve comparação entre os métodos. Para o método A-

GPS + AFLT, com apenas 7 chamada de teste, e os métodos AFLT e CELL ID, não utilizados pelo sistema neste local de medição, não foram calculadas medidas de dispersão, e seus desempenhos não foram utilizados na comparação entre os métodos.

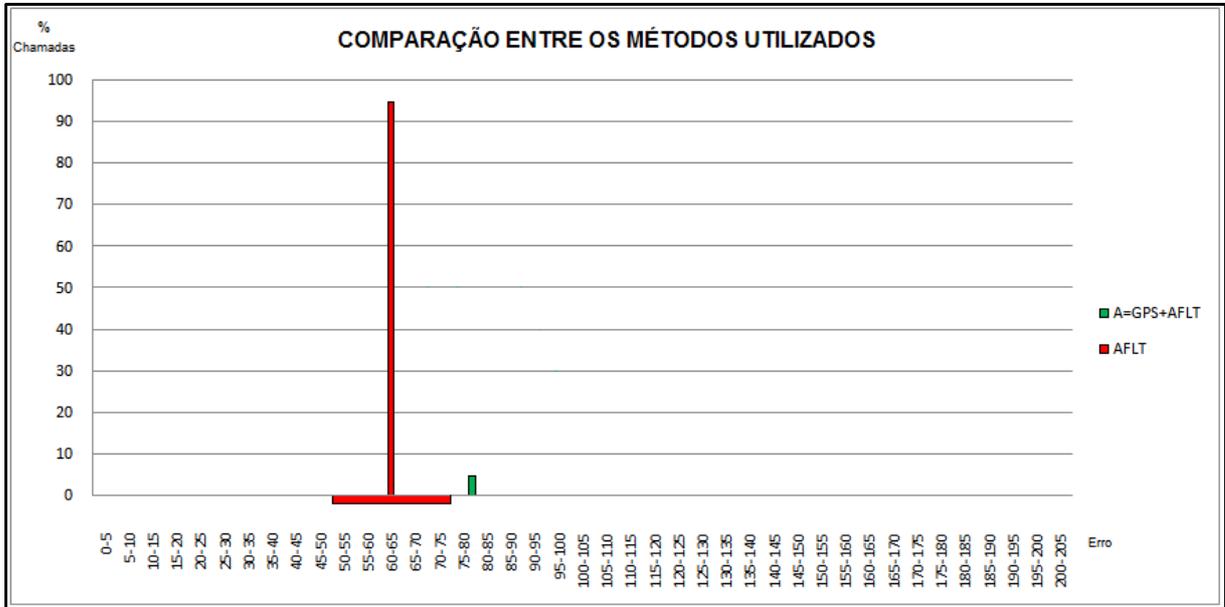


Figura 6-63: Eficiência dos métodos de localização nas medições realizadas no Centro do Rio de Janeiro, em ambiente interno.

Praticamente, o AFLT foi o método utilizado neste teste, demonstrando uma boa eficiência com um erro médio de 65 metros, desvio padrão de 12 metros, estando 89,62% das chamadas de teste entre 53 e 77 metros do local do teste conforme mostrado na Figura 6-64. A Tabela 6-14 mostra o resumo neste local de medição.

Tabela 6-14: Quadro geral medições em ambiente interno no Centro do Rio de Janeiro.

EFICIÊNCIA ENTRE OS MÉTODOS NAS MEDIÇÕES REALIZADAS EM AMBIENTE INTERNO NO CENTRO DO RIO DE JANEIRO						
METODO	Quantidade de chamadas	Percentual de chamadas	Erro Médio (Metros)	Desvio Padrão (Metros)	Intervalo de Erro para 1 Desvio (Metros)	% de Chamadas no Intervalo de 1 Desvio
A-GPS	0	0,00%	Não Medido	Não Medido	Não Medido	Não Medido
A-GPS + AFLT	7	6,19%	95	69	26 à 164	85,71
AFLT	106	93,81%	65	12	53 à 77	89,62
CELL ID	0	0,00%	Não Medido	Não Medido	Não Medido	Não Medido

A escolha do método AFLT, na maioria das chamadas, e seu bom desempenho nesse local de medição, reafirma a teoria de que em ambientes internos, a Rede Celular complementa a rede GPS quando a visibilidade de satélites se torna praticamente nula. A Figura 6-64 mostra o acumulado de frequências relativas e a Tabela 6-15 detalha os dados da Figura 6-64.

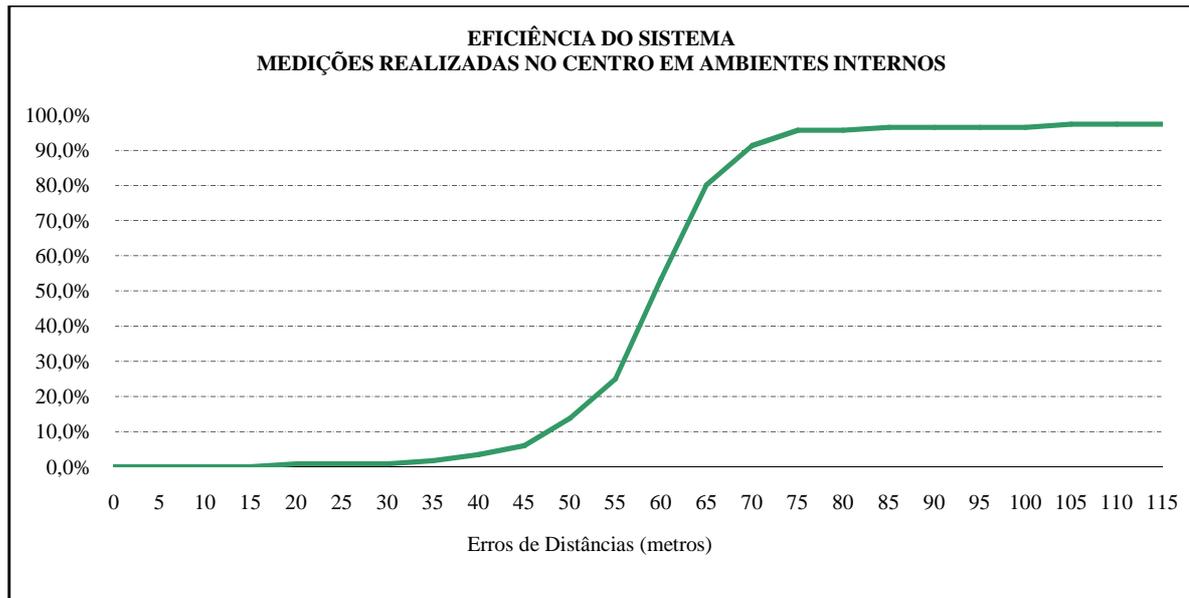


Figura 6-64: Gráfico mostrando o acumulado de frequências relativas.

Tabela 6-15: Eficiência do sistema no local de medição

EFICIÊNCIA INDEPENDENTEMENTE DO MÉTODO UTILIZADO NAS MEDIÇÕES REALIZADAS EM AMBIENTE INTERNO NO CENTRO DO RIO DE JANEIRO					
Quantidade de chamadas	Erro Médio (Metros)	Desvio Padrão (Metros)	Intervalo de Erro para 1 Desvio (Metros)		% de Chamadas no Intervalo de 1 Desvio
113	67	21	46	à 88	91,3

#### 6.4.7 Medições Realizadas em Ambiente Interno na Zona Norte do Rio de Janeiro

As medições foram realizadas no sexto andar, no interior de um edifício localizado em área com média densidade de estações e alta densidade de prédios com altura média de 10 andares. A Figura 6-65 mostra o local de medição, os resultados das medidas separadas por cores, conforme legenda, e as Estações Rádio Base representadas por bandeiras.



Figura 6-65: Medições realizadas na Zona Norte do Rio de Janeiro, em ambiente interno.

Foram realizadas 247 chamadas de localização. A distribuição de frequências relativas dos erros em classes de 5 metros é mostrada na Figura 6-66.

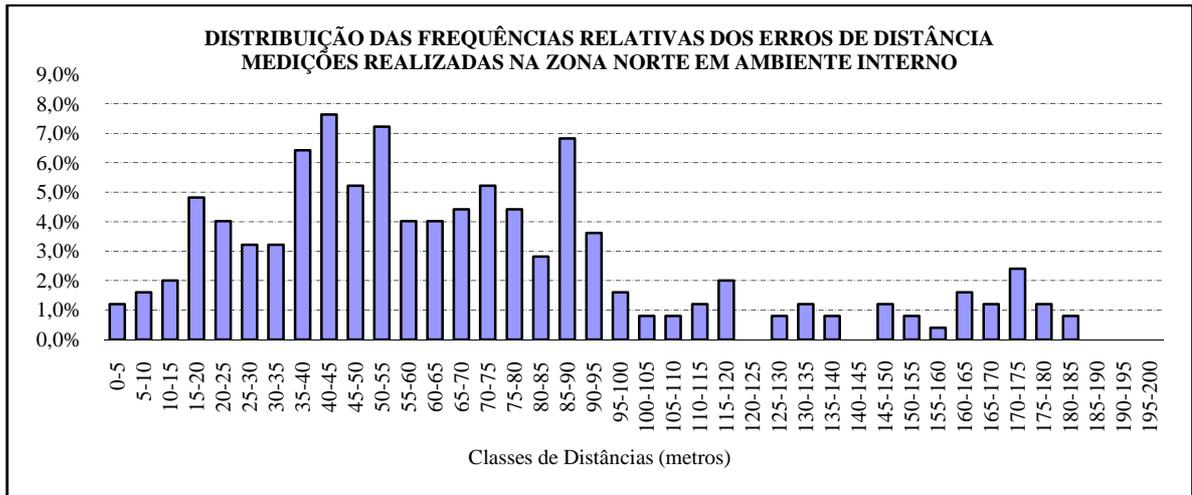


Figura 6-66: Distribuição das frequências relativas de ocorrência de erros de distância.

Neste local de medição foram utilizados os métodos A-GPS, A-GPS+AFLT e AFLT conforme distribuição indicada no gráfico da Figura 6-67. O método CELL ID não foi escolhido pelo sistema.

### Métodos de Localização

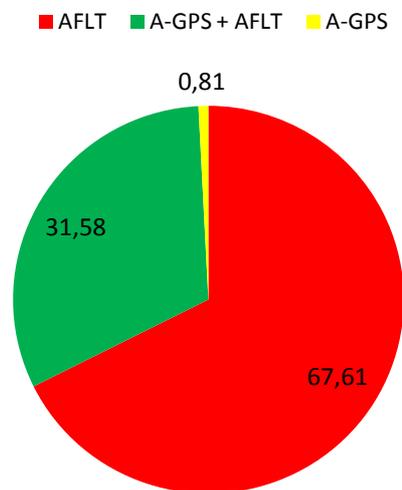


Figura 6-67: Distribuição dos métodos utilizados.

#### 6.4.7.1 Método A-GPS

O método A-GPS com duas chamadas de teste, com distâncias aproximadas de 23 m é mostrado na Figura 6-68.



Figura 6-68: Chamadas de teste (método A-GPS+AFLT).

#### 6.4.7.2 Método A-GPS+AFLT

O método híbrido A-GPS+AFLT, com 31,58% das chamadas de localização, obteve um erro médio de 55 metros, e um desvio padrão de 27 metros, estando 66,47% das chamadas entre 29 e 123 metros de distância do local de medição. A Figura 6-69 mostra mapa com os resultados dos testes e a Figura 6-70 mostra a distribuição das chamadas que utilizaram este método.



Figura 6-69: Chamadas de teste (método A-GPS+AFLT).

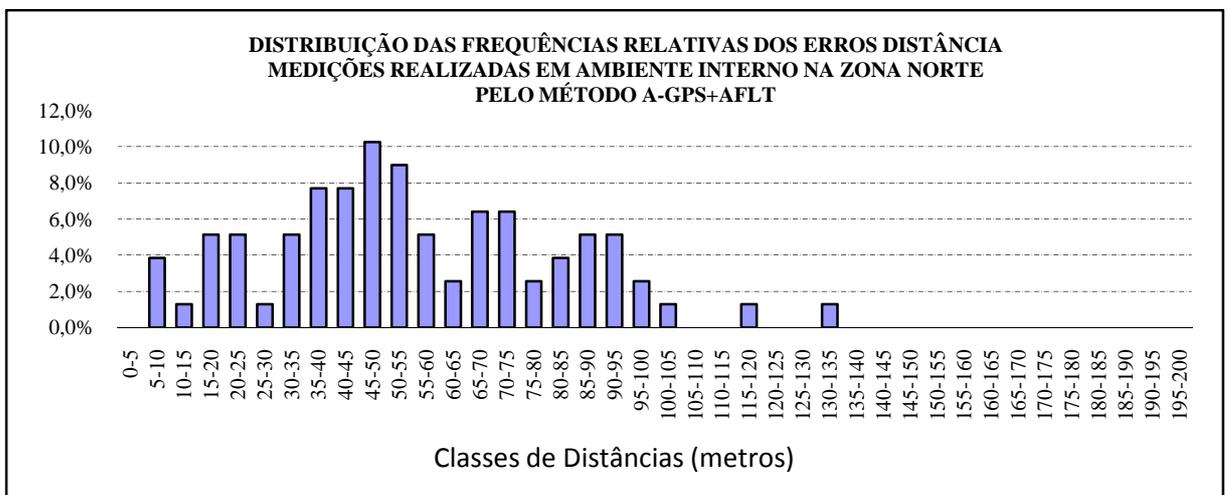


Figura 6-70: Distribuição de chamadas (método A-GPS + AFLT).

### 6.4.7.3 Método AFLT

O método AFLT com 67,61% das chamadas de localização obteve um erro médio de 76 metros, um desvio padrão de 47 metros, onde, 66,47% das chamadas se posicionaram entre 29 e 123 metros de distância do local do teste. A Figura 6-71 mostra mapa mostrando os resultados dos testes e a Figura 6-72 mostra a distribuição das chamadas que utilizaram este método.



Figura 6-71: Chamadas de teste (método AFLT).

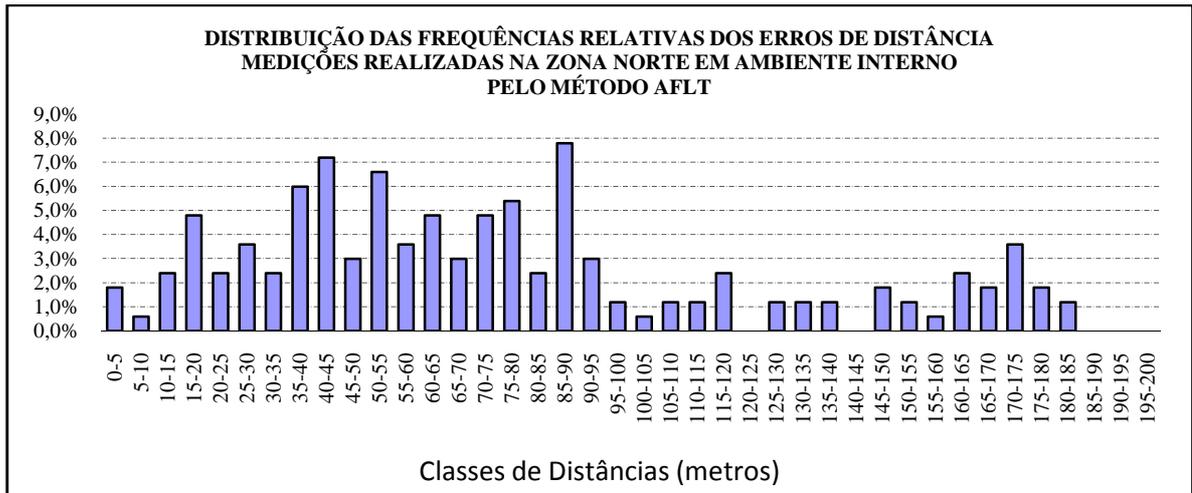


Figura 6-72: Distribuição de chamadas (método AFLT).

A Figura 6-73 mostra a distribuição e o desempenho dos métodos neste local de medição.

Quanto aos métodos utilizados neste local de medição, o método AFLT foi o que obteve a maior quantidade de chamadas.

Quanto à eficiência entre os métodos foram comparados o A-GPS+ AFLT e o AFLT. Os métodos A-GPS e Cell Id em função do baixo volume de chamadas, não foram calculadas medidas de dispersão, e seus desempenhos não foram utilizados na comparação entre os métodos.

Entre os métodos comparados, foram analisados os valores dentro dos desvios padrão. O método A-GPS+AFTL obteve os menores valores de média e variabilidade, sendo considerado o mais eficiente neste local de medição.

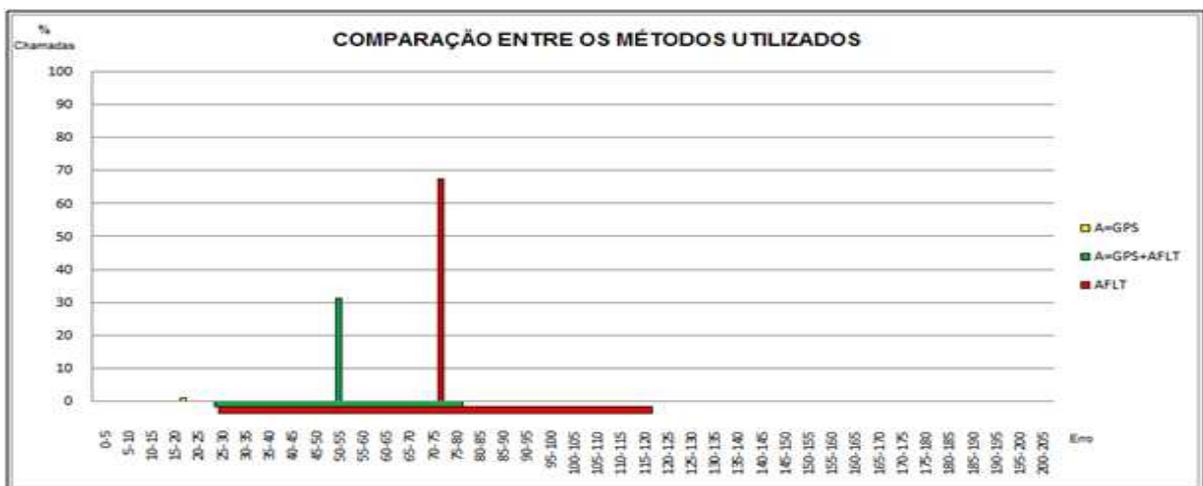


Figura 6-73: Eficiência dos métodos de localização nas medições realizadas na Zona Norte do Rio de Janeiro, em ambiente interno.

A Tabela 6-16 detalha os valores do gráfico da Figura 6-73.

Tabela 6-16: Quadro geral medidas teste Zona Norte interno.

EFICIÊNCIA ENTRE OS MÉTODOS NAS MEDIÇÕES REALIZADAS EM AMBIENTE INTERNO NA ZONA NORTE DO RIO DE JANEIRO						
METODO	Quantidade de chamadas	Percentual de chamadas	Erro Médio (Metros)	Desvio Padrão (Metros)	Intervalo de Erro para 1 Desvio (Metros)	% de Chamadas no Intervalo de 1 Desvio
A-GPS	2	0,81%	22	Não Medido	Não Medido	Não Medido
A-GPS + AFLT	78	31,58%	55	27	28 à 82	64,10%
AFLT	167	67,61%	76	47	29 à 123	66,47%
CELL ID	0	0,00%	Não Medido	Não Medido	Não Medido	Não Medido

Quanto à eficiência de uma forma geral, neste local de medição, foi verificada uma boa eficiência e apesar de apenas 44,53% das chamadas estarem até um desvio do local do teste o erro máximo não ultrapassou aos 183 metros. A Figura 6-74 mostra desempenho do sistema neste local de medição.

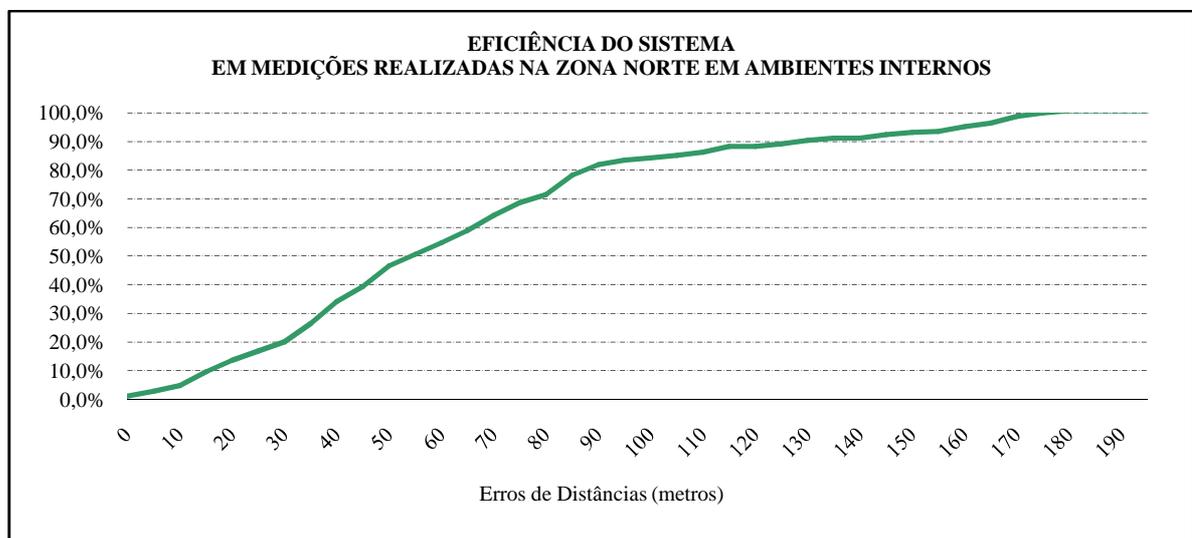


Figura 6-74: Eficiência do sistema.

A Tabela 6-17 detalha o gráfico da Figura 6-74.

Tabela 6-17: Eficiência do sistema no local de medição

EFICIÊNCIA INDEPENDENTEMENTE DO MÉTODO UTILIZADO NAS MEDIÇÕES REALIZADAS EM AMBIENTE INTERNO NA ZONA NORTE DO RIO DE JANEIRO					
Quantidade de chamadas	Erro Médio (Metros)	Desvio Padrão (Metros)	Intervalo de Erro para 1 Desvio (Metros)		% de Chamadas no Intervalo de 1 Desvio
247	69	43	26	à 112	67,61%

#### 6.4.8 Medições Realizadas em Ambiente Interno na Zona Sul do Rio de Janeiro

Medições realizadas no interior de um edifício localizado nas margens da lagoa Rodrigo de Freitas em área com baixa densidade de estações, e média densidade de edifícios com altura média de 10 andares e o “espelho d’água” formado pela lagoa. A Figura 6-75 mostra o local do teste, os resultados dos testes separados por cores, conforme legenda, e as Estações Rádio Base representadas por bandeiras.

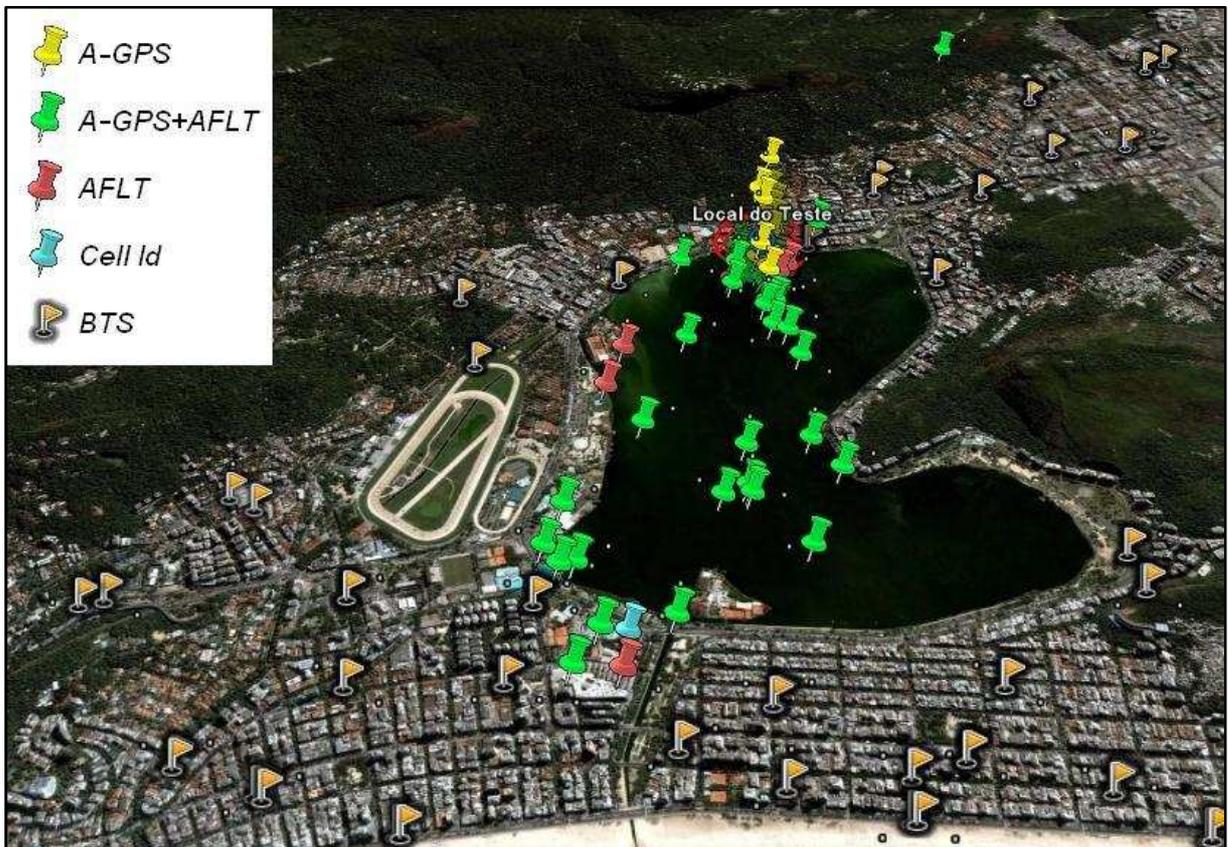


Figura 6-75: Medições realizadas na Zona Sul do Rio de Janeiro em ambiente interno.

Foram realizadas 143 chamadas de teste, cuja distribuição de frequências separadas em classes de 5 metros é mostrada na Figura 6-76.

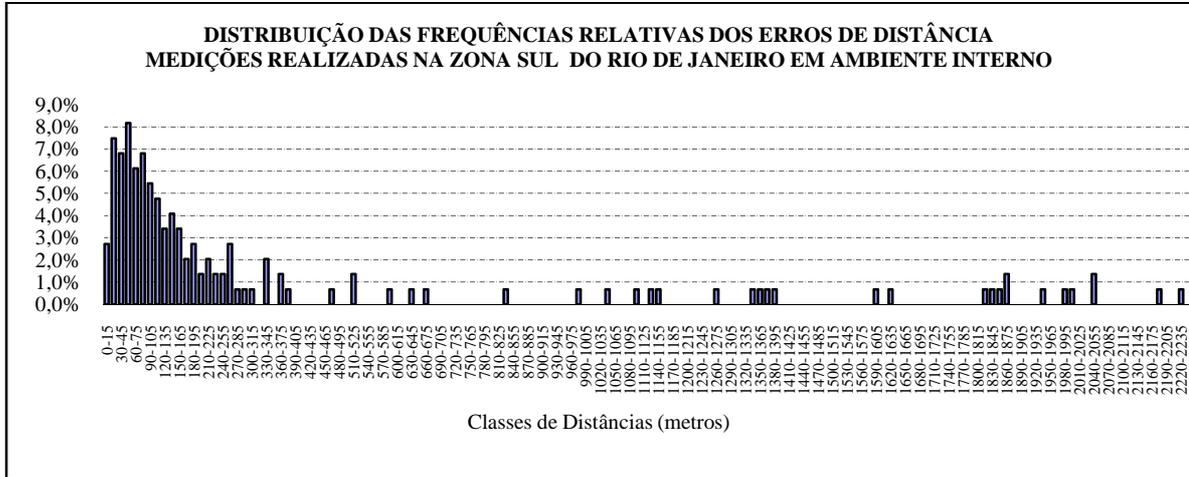


Figura 6-76: Distribuição das frequências relativas de ocorrência de erros de distância.

Neste local de medição foram utilizados os métodos A-GPS, A-GPS+AFLT, AFLT e o CELL ID. O método A-GPS+AFLT foi o método predominante com 99 chamadas, seguido do A-GPS com 22, do AFLT com 19 e Cell ID com 3 chamadas de teste. A Figura 6-77 mostra a distribuição dos métodos definido pelo sistema.

### Métodos de Localização

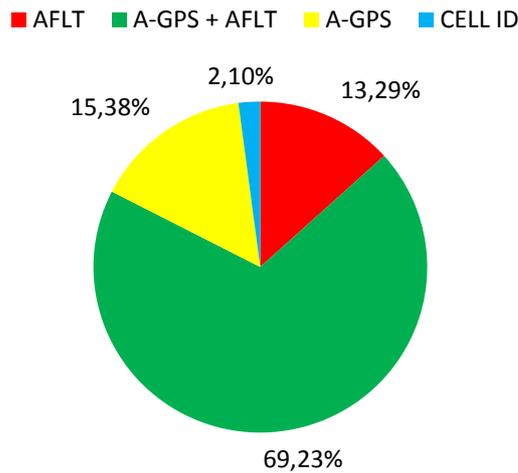


Figura 6-77: Distribuição dos métodos utilizados.

6.4.8.1 Método A-GPS

O método A-GPS, mesmo em um ambiente interno, foi utilizado uma quantidade razoável de chamadas (22 Chamadas), e obteve um erro médio de 155 metros, um desvio padrão de 118 metros estando 68,18% das chamadas entre 36 e 273 metros de distância do local do teste. A Figura 6-78 mostra mapa com os resultados dos testes e a Figura 6-79 mostra gráfico com a distribuição das chamadas.

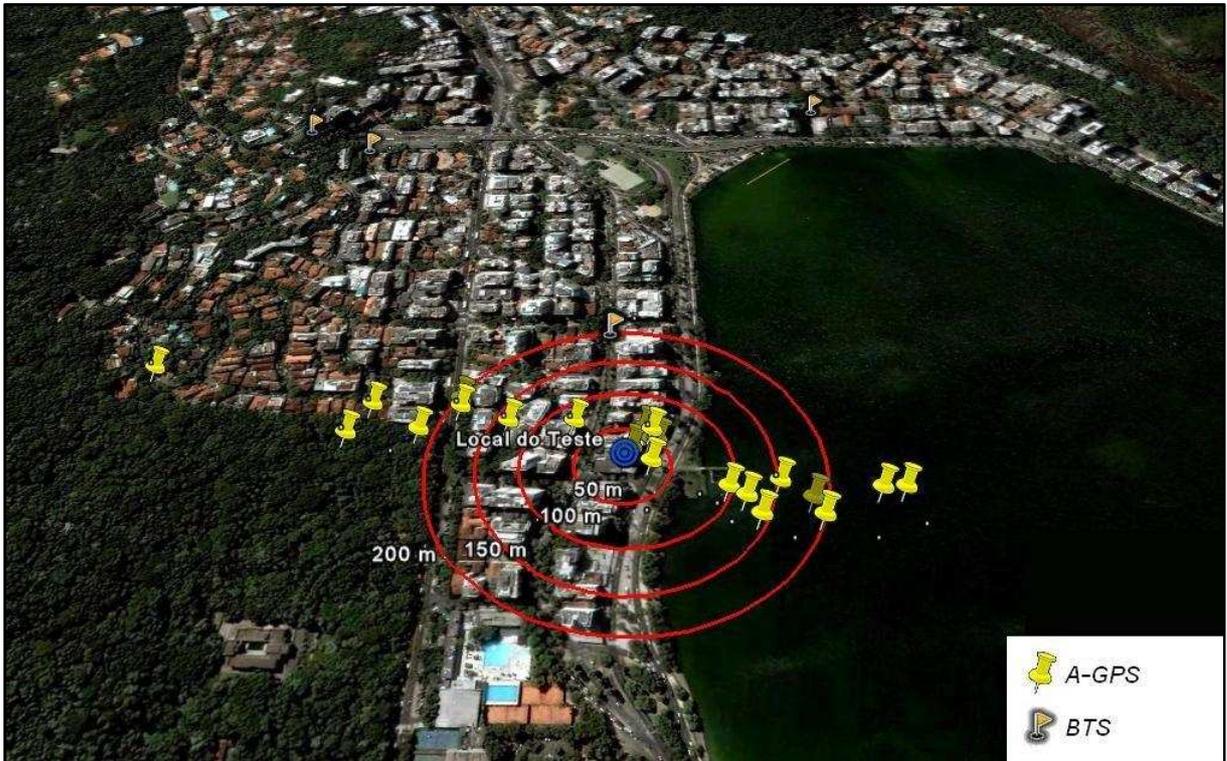


Figura 6-78: Chamadas de teste (método A-GPS).

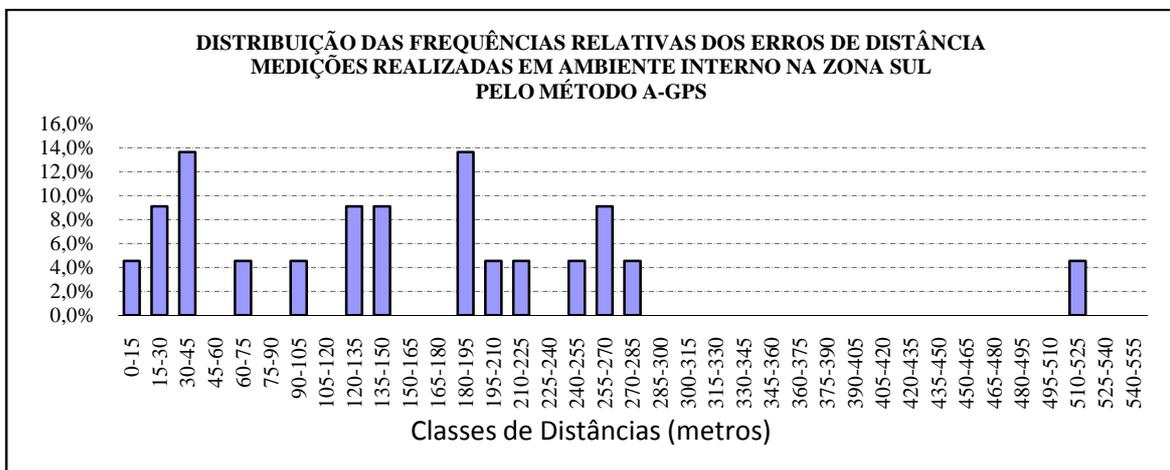


Figura 6-79: Distribuição de chamadas (método A-GPS).

#### 6.4.8.2 Método A-GPS+AFLT

O método híbrido A-GPS+AFLT com 99 chamadas de teste, obteve um erro médio de 405 metros, um desvio padrão de 597 metros estando 81,82% das chamadas até 1002 metros de distância do local do teste. A Figura 6-80 mostra mapa com os resultados dos testes e a Figura 6-81 mostra a distribuição das chamadas que utilizaram este método.

O método predominante neste local foi o híbrido de A-GPS + AFLT no qual grande parte de suas chamadas informaram uma boa precisão, porém uma parte razoável utilizou para o cálculo da localização, o sinal de estações do outro lado da lagoa gerando erro de até 2 km.

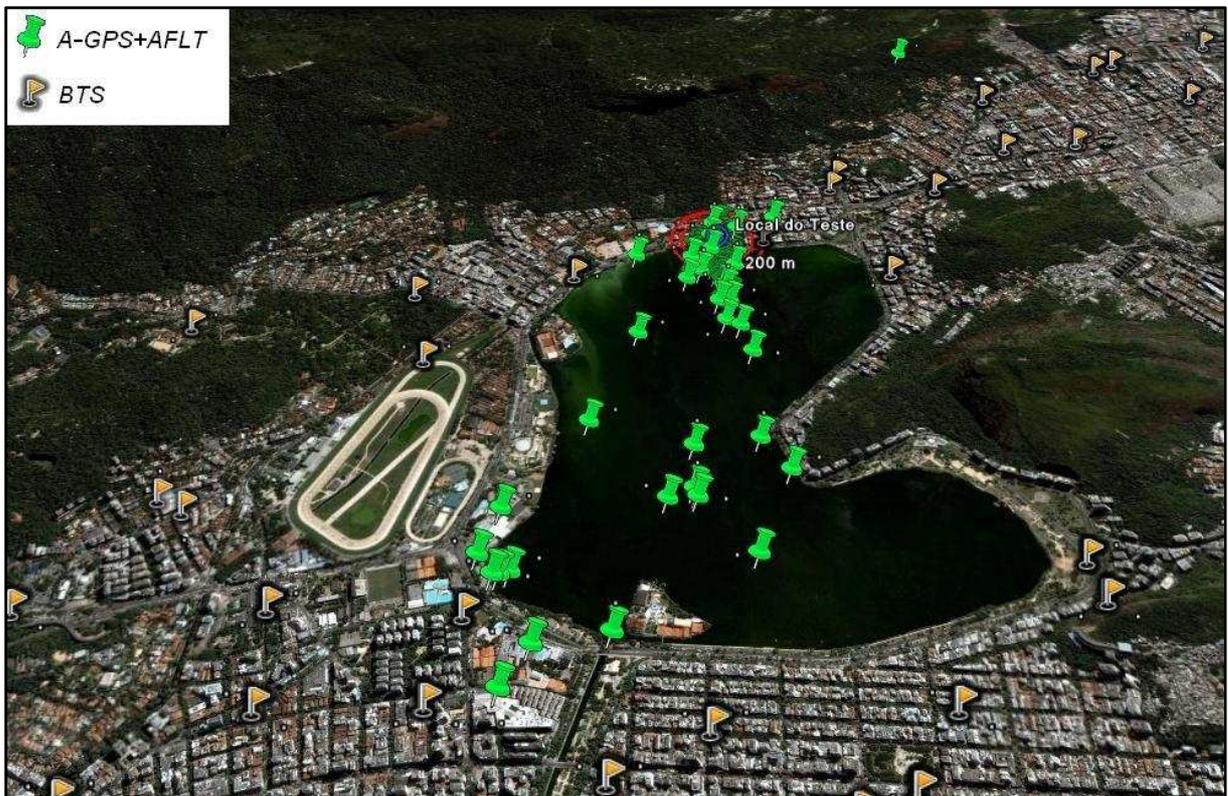


Figura 6-80: Chamadas de teste (método A-GPS+AFLT).

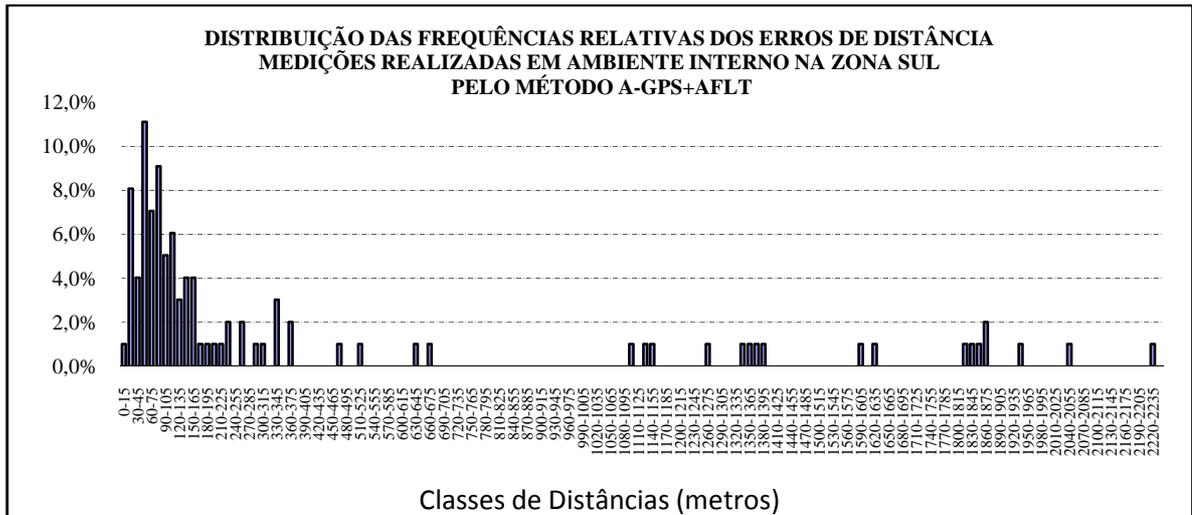


Figura 6-81: Distribuição de chamadas (método A-GPS + AFLT).

#### 6.4.8.3 Método AFLT

O método AFLT com 19 chamadas de teste obteve um erro médio de 299 metros, um desvio padrão de 533 metros estando 84,21% das chamadas até 832 metros de distância do local do teste. A Figura 6-82 mostra mapa com os resultados dos testes e a Figura 6-83 mostra a distribuição das chamadas que utilizaram este método.

O método AFLT com uma quantidade um pouco menor de chamadas, também foi bem preciso, com apenas 3 chamadas de localização ultrapassando os 250 metros.

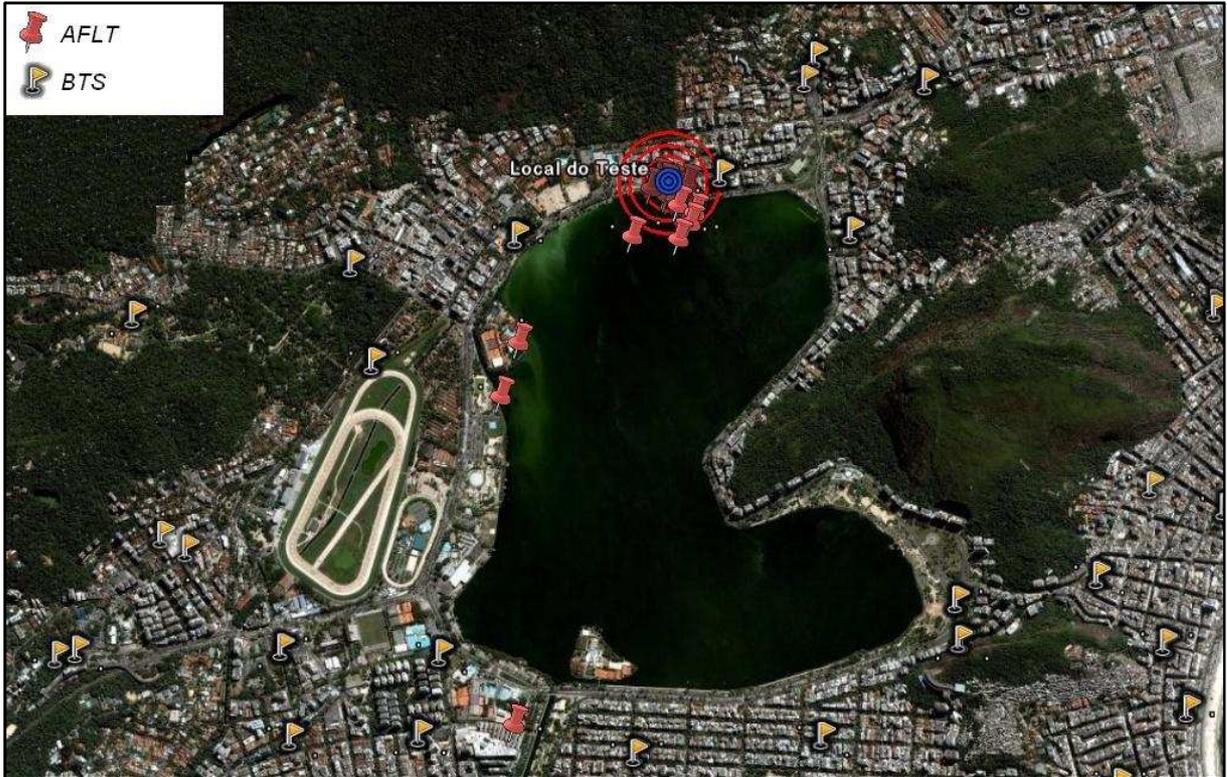


Figura 6-82: Chamadas de teste (método AFLT).

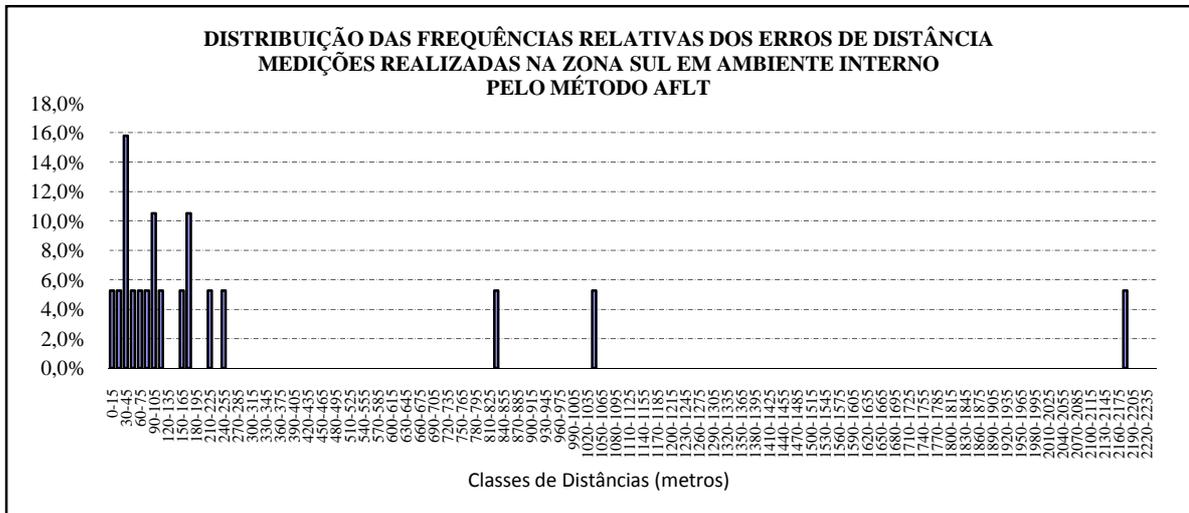


Figura 6-83: Distribuição de chamadas (método AFLT).

#### 6.4.8.4 Método CELL ID

As chamadas que utilizaram o método Cell ID, tiveram suas estimativas bastante afastadas do local do teste e utilizaram o centro de área de duas estações conforme indicação da tabela BSA. As estações e seus centros de área estão ilustrados na Figura 6-84 e na Figura 6-85.



Figura 6-84: Ponto definido na BSA para centro de área da ERB.

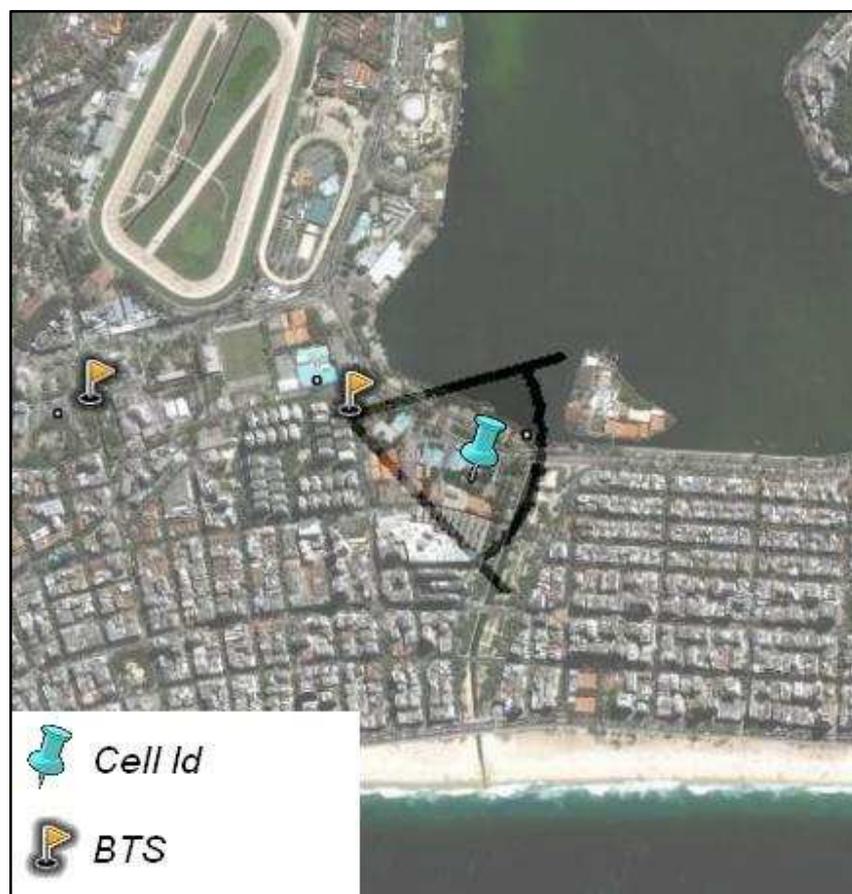


Figura 6-85: Ponto definido na BSA para centro de área da ERB.

A Figura 6-86 mostra a distribuição e o desempenho dos métodos neste local de medição.

Quanto aos métodos utilizados neste local de medição, o método A-GPS+AFLT foi o que obteve a maior quantidade de chamadas.

Quanto à eficiência entre os métodos foram comparados o A-GPS, A-GPS+ AFLT e o AFLT. Para o método Cell Id, em função do baixo volume de chamadas, não foram calculadas as medidas de dispersão, e seus desempenhos não foram utilizados na comparação entre os métodos.

Entre os métodos comparados, foram analisados os valores dentro dos desvios padrão. O método AFLT obteve seus valores de média e variabilidade distorcidos em função da baixa quantidade de chamadas e, algumas delas, se posicionarem em até 2 km do local de medição. Mesmo assim, este método foi considerado o mais eficiente neste local de medição.



Figura 6-86: Eficiência dos métodos de localização nas medições realizadas na Zona Sul do Rio de Janeiro em ambiente interno.

Como conclusão, quanto aos métodos utilizados neste local de medição, o método A-GPS+AFLT foi o mais utilizado, e o A-GPS o que obteve o melhor desempenho. A Tabela 6-18 detalha os valores.

Tabela 6-18: Quadro geral medidas Zona Sul externo.

EFICIÊNCIA ENTRE OS MÉTODOS NAS MEDIÇÕES REALIZADAS EM AMBIENTE INTERNO NA ZONA SUL DO RIO DE JANEIRO					
METODO	Quantidade de chamadas	Erro Médio (Metros)	Desvio Padrão (Metros)	Intervalo de Erro para 1 Desvio (Metros)	% de Chamadas no Intervalo de 1 Desvio
A-GPS	22	155	118	36 à 273	68,18
A-GPS + AFLT	99	405	597	0 à 1002	81,82
AFLT	19	299	533	0 à 832	84,21
CELL ID	3	2012	Não Medido	Não Medido	Não Medido
GERAL	143	386	591	0 à 977	83,92

A Figura 6-87 mostra gráfico de frequências acumuladas.

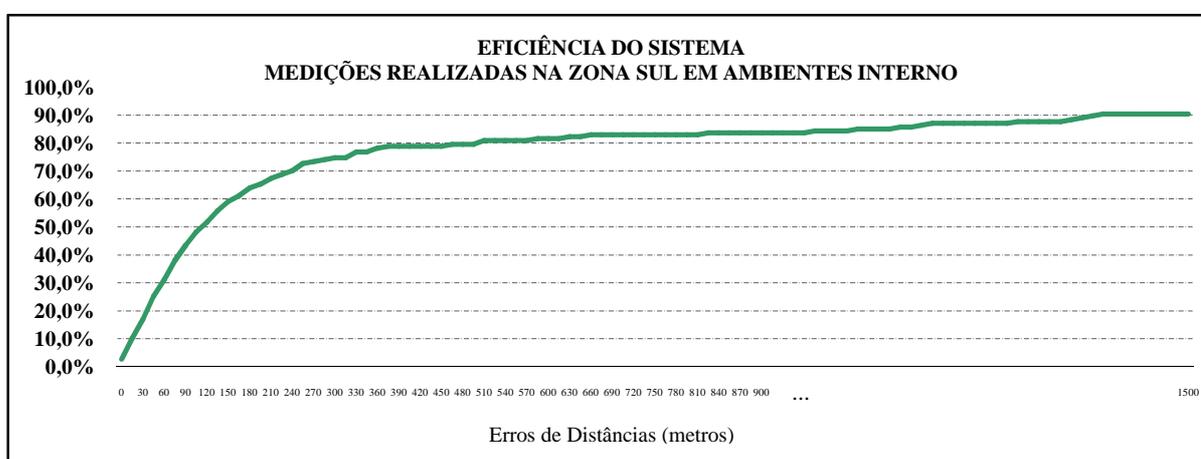


Figura 6-87: Eficiência do sistema.

#### 6.4.9 Medições Realizadas em Ambiente Interno na Zona Oeste do Rio De Janeiro

As medições foram realizadas na parte interior de um *Shopping Center*, em uma área sem a existência de prédios altos e com baixa densidade de estações, não contendo no interior deste shopping Estações Rádio Base. A Figura 6-88 mostra o local do teste, os resultados dos testes separados por cores, conforme legenda, e as Estações Rádio Base representadas por bandeiras.



Figura 6-88: Medições realizadas na Zona Oeste do Rio de Janeiro, em ambiente interno.

Foram realizadas 173 chamadas de localização, cuja distribuição de frequências separadas em classes de 5 metros é mostrada na Figura 6-89.

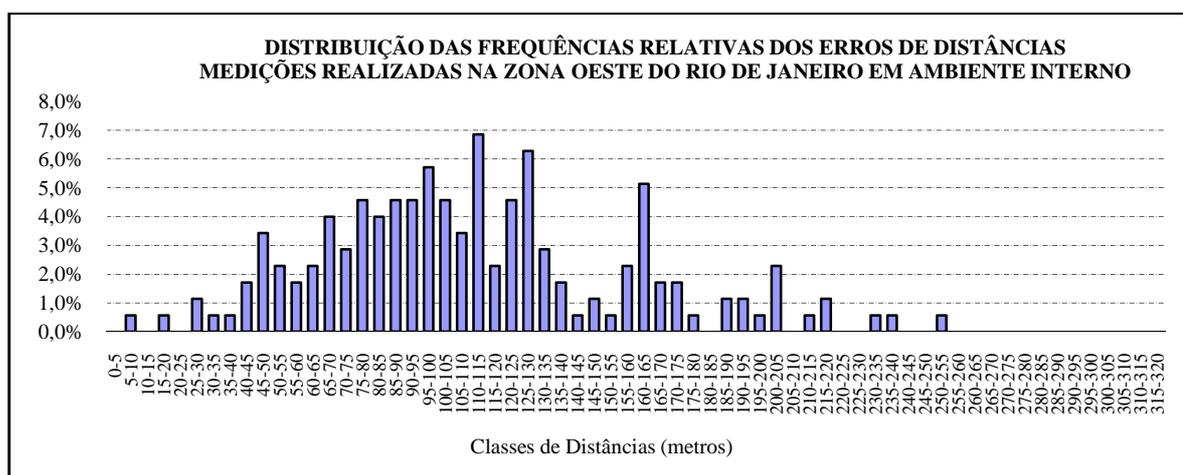


Figura 6-89: Distribuição das frequências relativas de ocorrência de erros de distância.

Neste local de medição foram utilizados os métodos A-GPS, A-GPS+AFLT, AFLT e CELL ID. O método AFLT foi o método predominante com 120 chamadas, seguido do A-GPS+AFLT com 42, Cell ID com 6 e A-GPS com 5 chamadas de teste. A Figura 6-90 mostra a distribuição dos métodos definido pelo sistema.

## Métodos de Localização

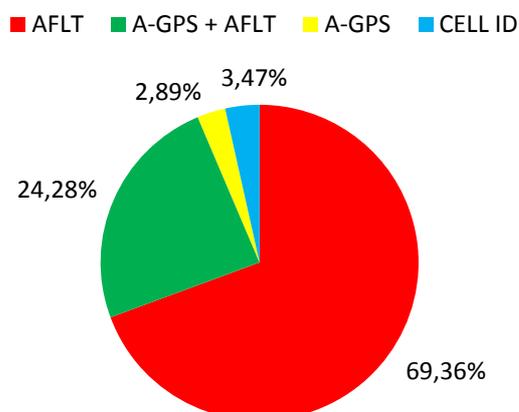


Figura 6-90: Distribuição dos métodos utilizados.

### 6.4.9.1 Método A-GPS

O método A-GPS com 5 chamadas de teste, obteve uma excelente eficiência com um erro médio de 30 metros. A Figura 6-91 mostra a distribuição das chamadas que utilizaram este método.

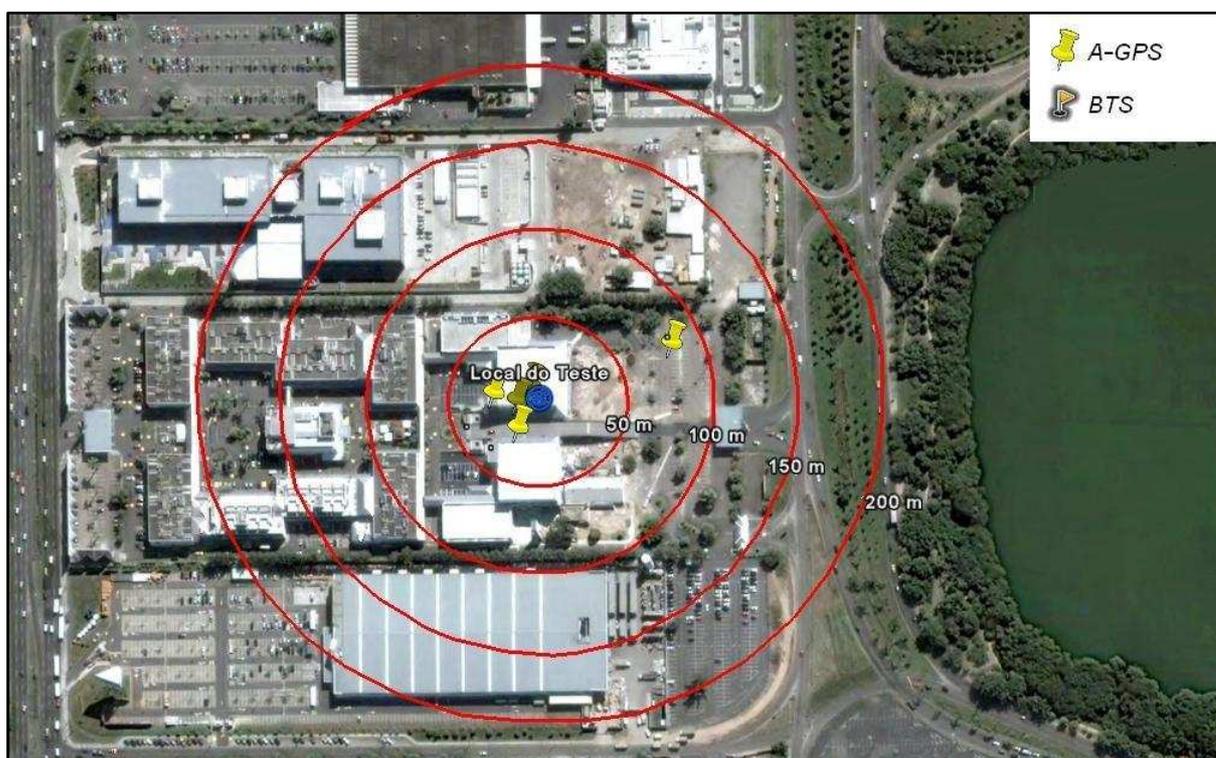


Figura 6-91: Chamadas de teste (método A-GPS).

#### 6.4.9.2 Método A-GPS+AFLT

O método híbrido A-GPS+AFLT com 42 chamadas de teste, obteve um erro médio de 139 metros, um desvio padrão de 74 metros estando 73,81% das chamadas entre 65 e 214 metros de distância do local do teste. A Figura 6-92 mostra mapa mostrando os resultados das medições e a Figura 6-93 mostra a distribuição das chamadas que utilizaram este método.



Figura 6-92: Chamadas de teste (método A-GPS+AFLT).

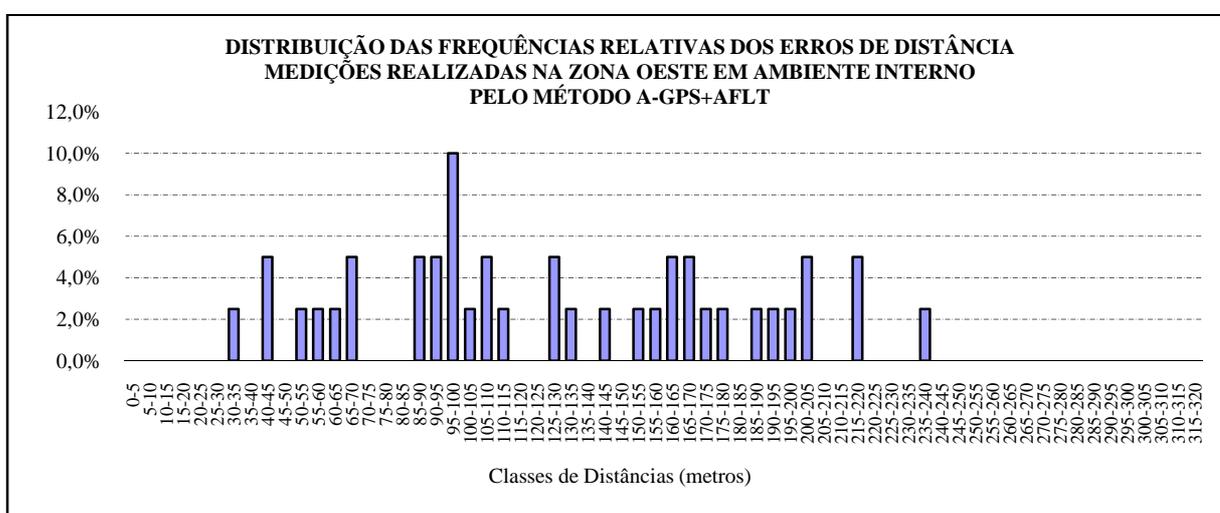


Figura 6-93: Distribuição de chamadas (método A-GPS + AFLT).

### 6.4.9.3 Método AFLT

O método predominante neste local foi o AFLT com um total de 120 chamadas de teste, obteve um erro médio de 107 metros, um desvio padrão de 40 metros estando 74,17% das chamadas entre 67 e 146 metros de distância do local do teste. A Figura 6-94 mostra mapa mostrando os resultados dos Testes e a Figura 6-95 mostra gráfico com a distribuição das chamadas que utilizaram este método.

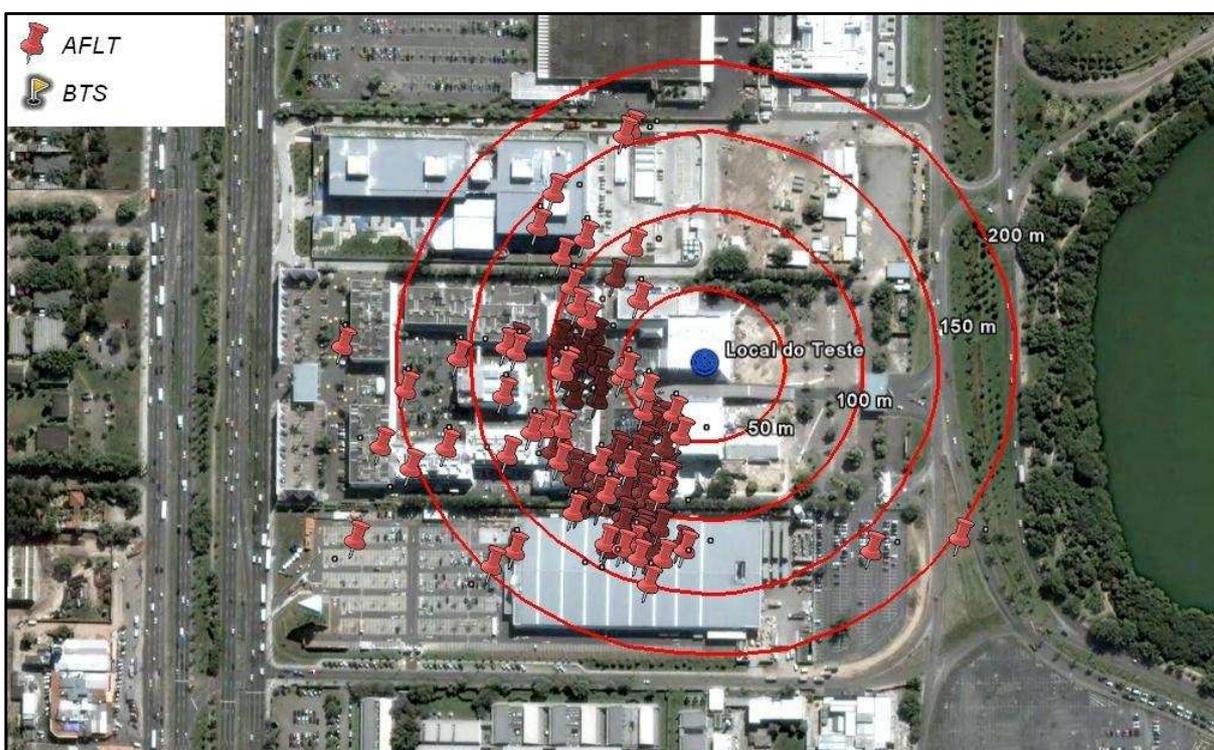


Figura 6-94: Chamadas de teste (método AFLT).

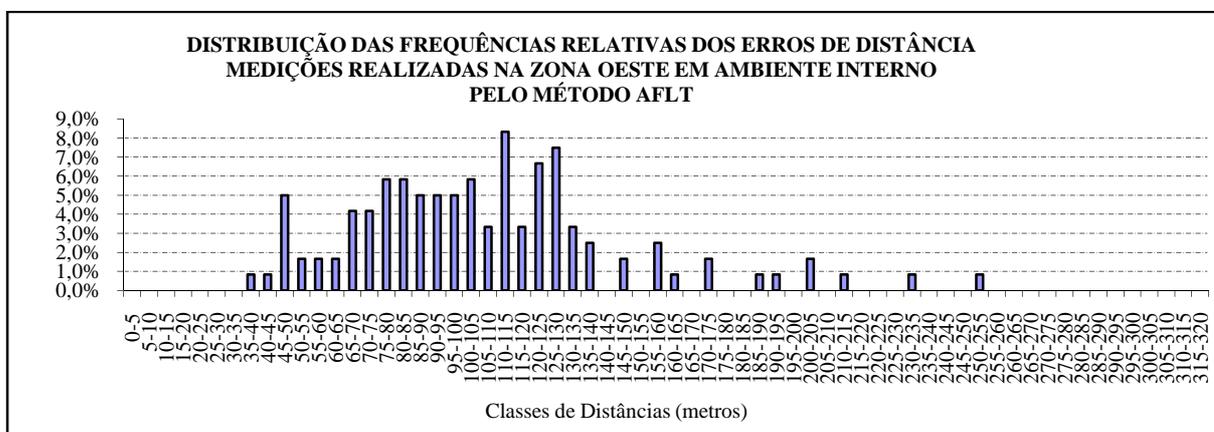


Figura 6-95: Distribuição de chamadas (método AFLT).

#### 6.4.9.4 Método CELL ID

As chamadas que utilizaram o método Cell ID, tiveram suas estimativas próximas ao local do teste exatamente no mesmo ponto definido na tabela BSA como o centro de área de cobertura da estação instalada no interior do prédio vizinho conforme mostrado na Figura 6-96.

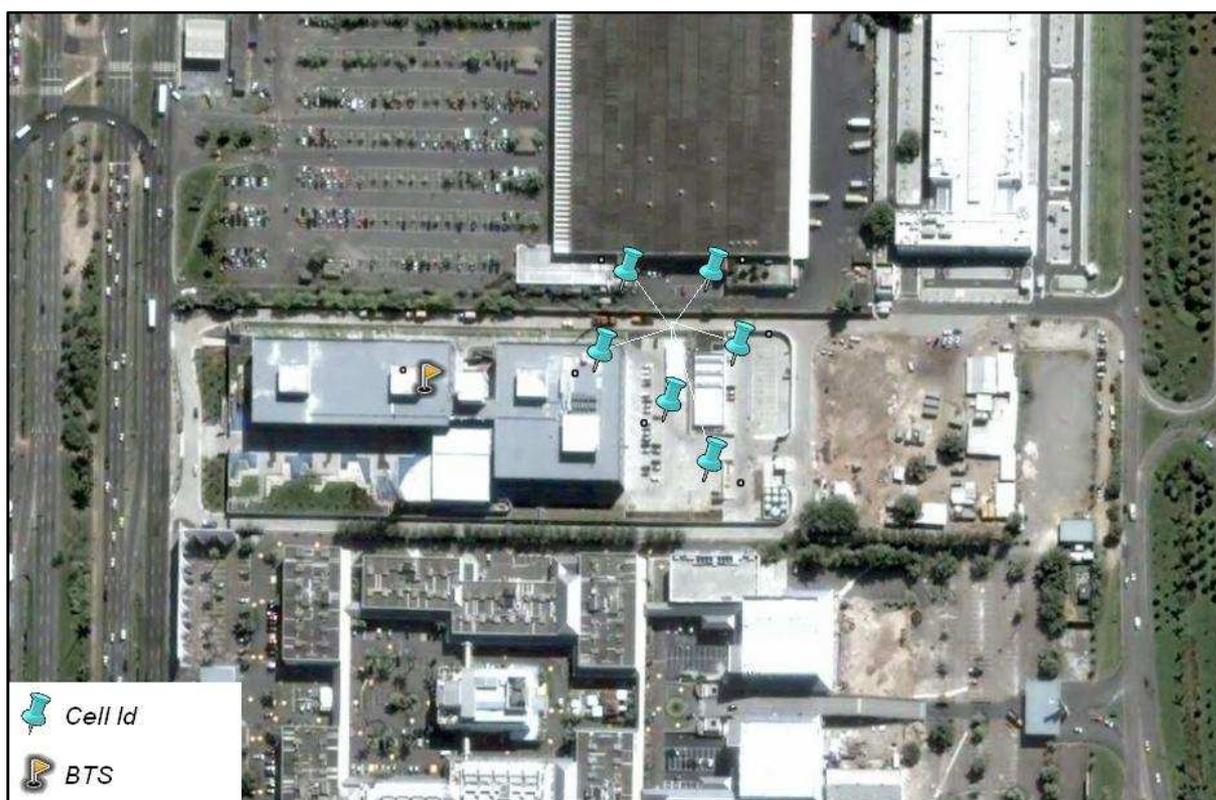


Figura 6-96: Ponto definido na BSA para centro de área da ERB.

A Figura 6-97 mostra gráfico com a distribuição e o desempenho dos métodos neste local de medição.

Quanto aos métodos utilizados neste local de medição, o método AFLT foi o que obteve a maior quantidade de chamadas.

Quanto à eficiência entre os métodos foram comparados o A-GPS+AFLT e o AFLT. Os métodos A-GPS e Cell Id em função do baixo volume de chamadas, não foram calculadas medidas de dispersão, e seus desempenhos não foram utilizados na comparação entre os métodos.

Entre os métodos comparados, o método AFLT obteve os menores valores de média e variabilidade, sendo considerado o mais eficiente neste local de medição.



Figura 6-97: Eficiência dos métodos de localização nas medições realizadas na Zona Oeste do Rio de Janeiro, em ambiente interno.

A Tabela 6-19 detalha os valores do gráfico da Figura 6-97.

Tabela 6-19: Quadro geral medidas teste Zona Oeste interno.

EFICIÊNCIA ENTRE OS MÉTODOS NAS MEDIÇÕES REALIZADAS EM AMBIENTE INTERNO NA ZONA OESTE DO RIO DE JANEIRO					
METODO	Quantidade de chamadas	Erro Médio (Metros)	Desvio Padrão (Metros)	Intervalo de Erro para 1 Desvio (Metros)	% de Chamadas no Intervalo de 1 Desvio
A-GPS	5	Não Medido	Não Medido	Não Medido	Não Medido
A-GPS + AFLT	42	139	74	65 à 214	73,81
AFLT	120	107	40	67 à 146	74,17
CELL ID	6	Não Medido	Não Medido	Não Medido	Não Medido
GERAL	173	114	54	60 à 168	74,57

Quanto à eficiência de uma forma geral, neste local de medição, para um erro médio de 114 metros foi verificado uma boa eficiência onde 74,57% das chamadas se localizaram em um desvio padrão, ou seja, entre 60 e 168 metros do local de medição. A Figura 6-98 mostra desempenho do sistema neste local de medição.

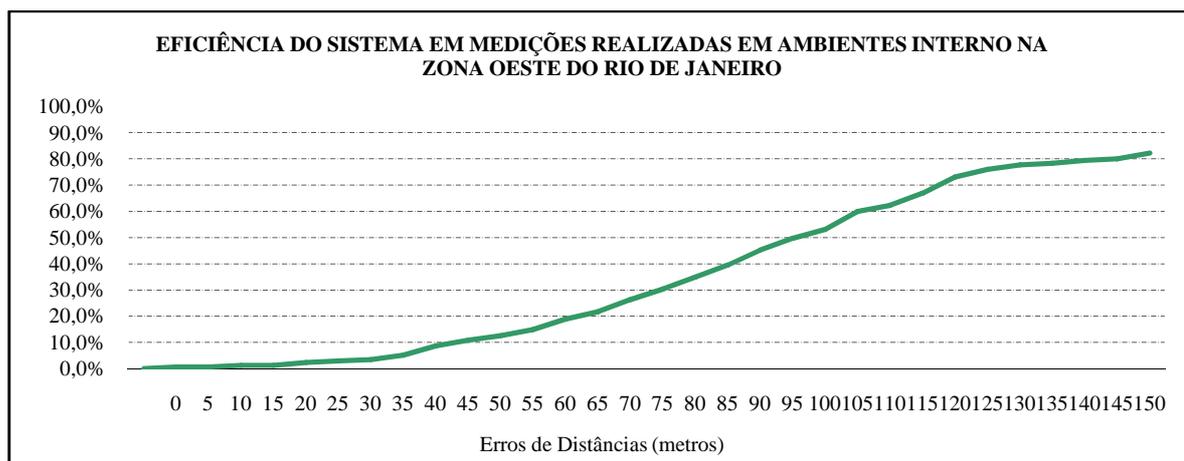


Figura 6-98: Eficiência do sistema.

#### 6.4.10 Medições Realizadas em Ambiente Interno em Niterói

As medições foram realizadas no Campus da UFF, no interior do prédio da engenharia. Local com baixa densidade de estações, prédios com altura média e bem espaçados uns dos outros e a presença de morros. A Figura 6-99 mostra o local do teste, os resultados dos testes separados por cores, conforme legenda, e as Estações Rádio Base representadas por bandeiras.

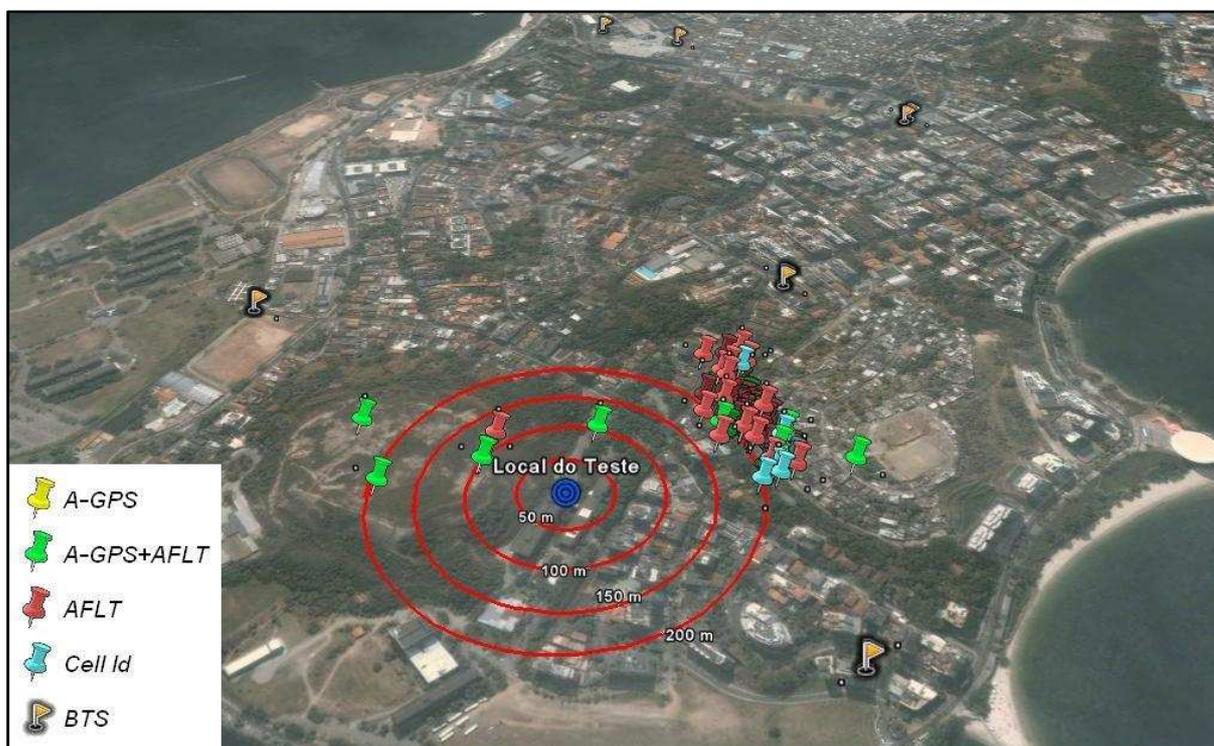


Figura 6-99: Medições realizadas em Niterói em ambiente interno.

Foram realizadas 103 chamadas de localização, cuja distribuição de frequências separadas em classes de 5 metros é mostrada na Figura 6-100.

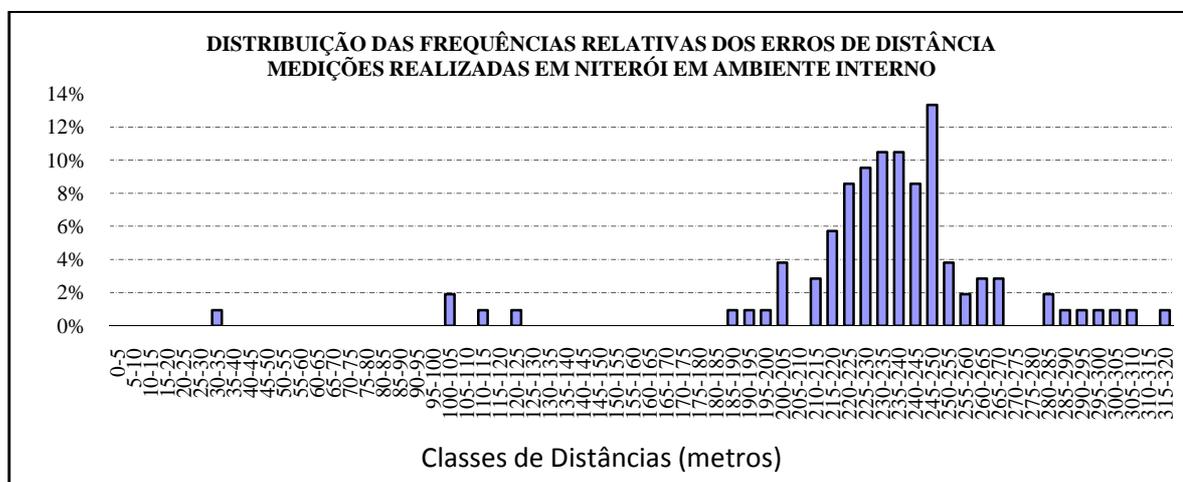


Figura 6-100: Distribuição das frequências relativas de ocorrência de erros de distância.

Neste local de medição foram utilizados os métodos A-GPS+AFLT, AFLT e o CELL ID. O método A-GPS não foi escolhido pelo sistema para a definição da localização. O método AFLT foi o método predominante com 69 chamadas, seguido do A-GPS+AFLT com 19 e Cell ID com 15 chamadas de teste. A Figura 6-101 mostra a distribuição dos métodos definido pelo sistema.

### Métodos de Localização

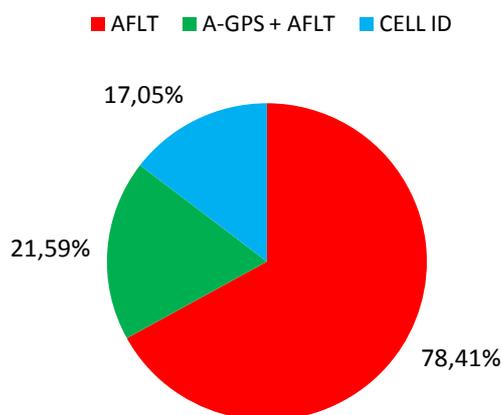


Figura 6-101: Distribuição dos métodos utilizados.

#### 6.4.10.1 Método A-GPS+AFLT

O método híbrido A-GPS+AFLT com 19 chamadas de teste, obteve um erro médio de 218 metros, um desvio padrão de 55 metros estando 78,95% das chamadas entre 162 e 273 metros de distância do local do teste. A Figura 6-102 mostra o mapa com as chamadas A-GPS+AFLT e a Figura 6-103 mostra gráfico com a distribuição das chamadas que utilizaram este método.

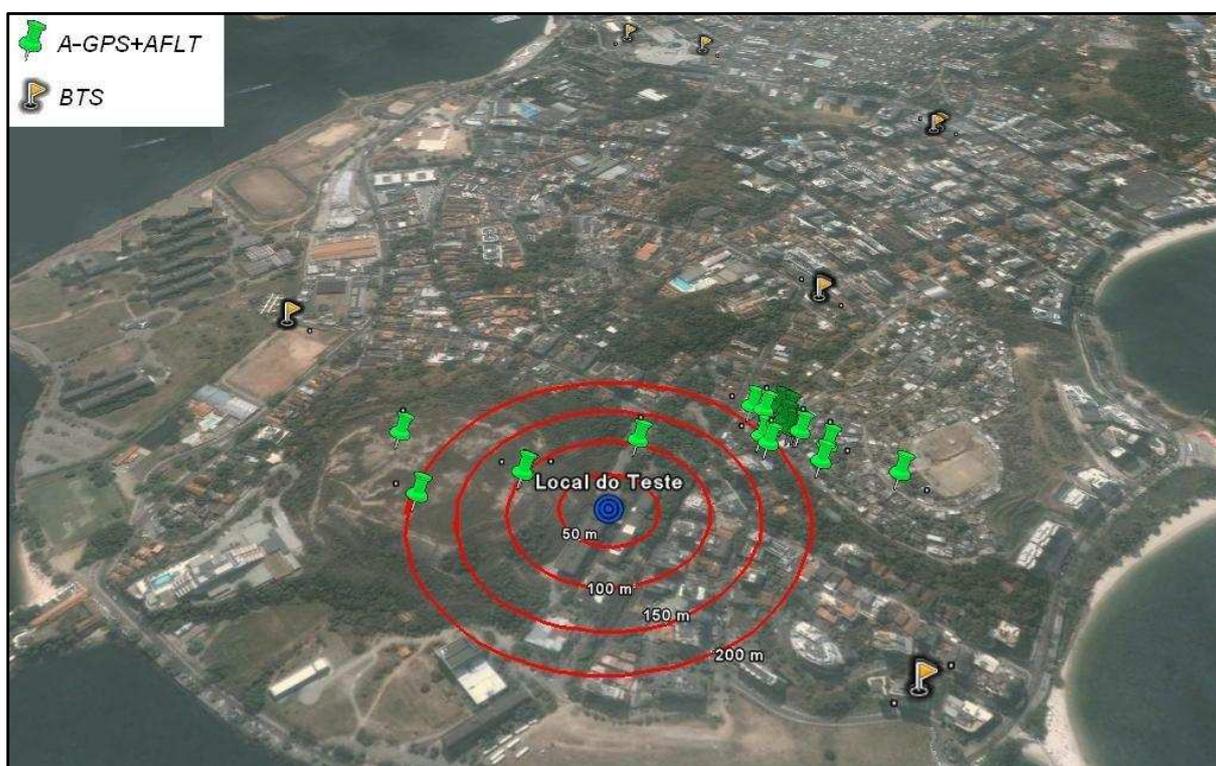


Figura 6-102: Chamadas de teste (método A-GPS+AFLT).

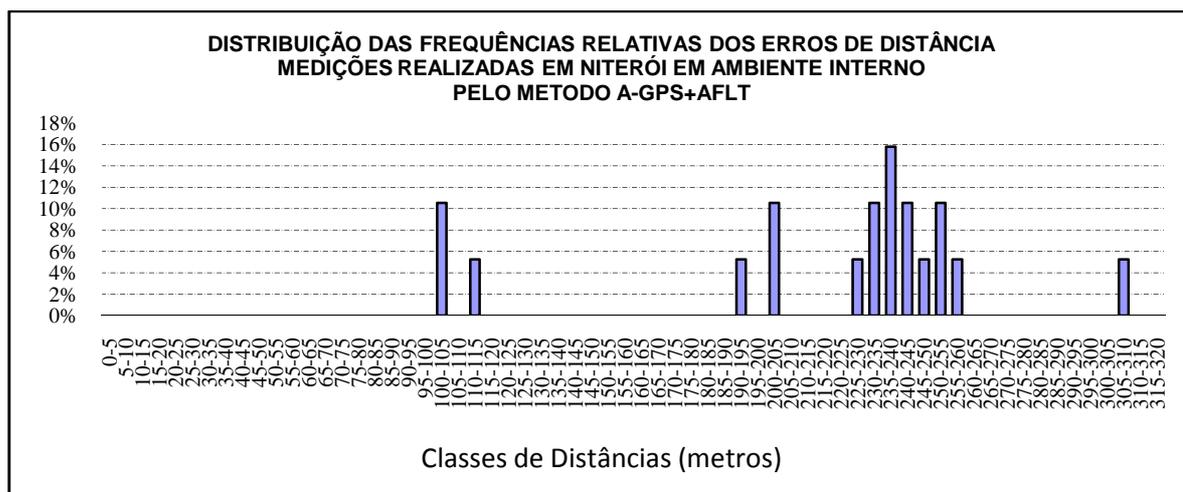


Figura 6-103: Distribuição de chamadas (método A-GPS + AFLT).

#### 6.4.10.2 Método AFLT

O método predominante neste local foi o AFLT com um total de 69 chamadas de localização, obteve um erro médio de 239 metros, um desvio padrão de 26 metros estando 78,95% das chamadas entre 213 e 266 metros de distância do local de medição. A Figura 6-104 mostra o mapa com as chamadas AFLT e a Figura 6-105 mostra o gráfico com a distribuição das chamadas que utilizaram este método.



Figura 6-104: Chamadas de teste (método AFLT).

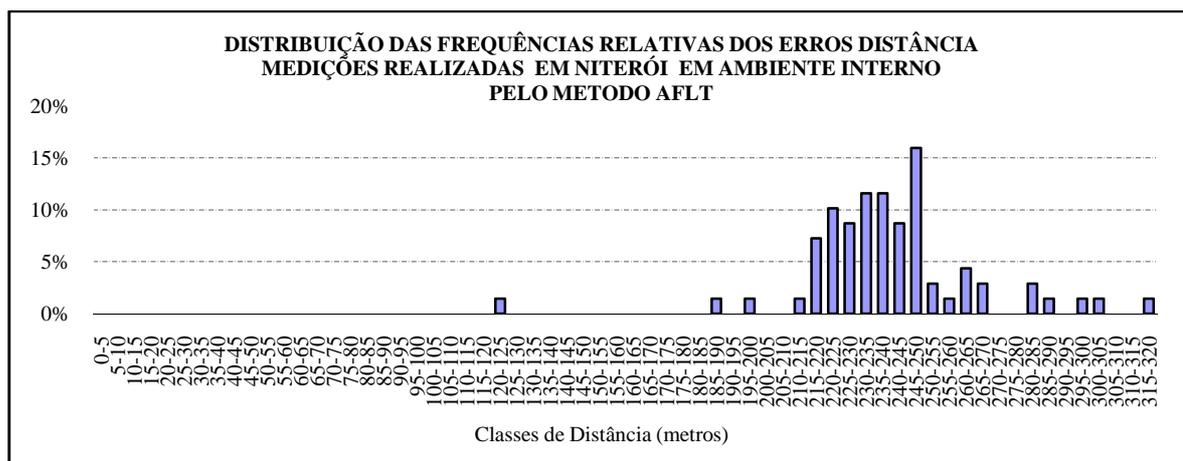


Figura 6-105: Distribuição de chamadas (método AFLT).

#### 6.4.10.3 Método CELL ID

O método Cell Id com um total de 15 chamadas de teste, obteve um erro médio de 230 metros, um desvio padrão de 23 metros estando 91,67% das chamadas entre 207 e 253 metros. A Figura 6-106 mostra a distribuição das chamadas que utilizaram este método.

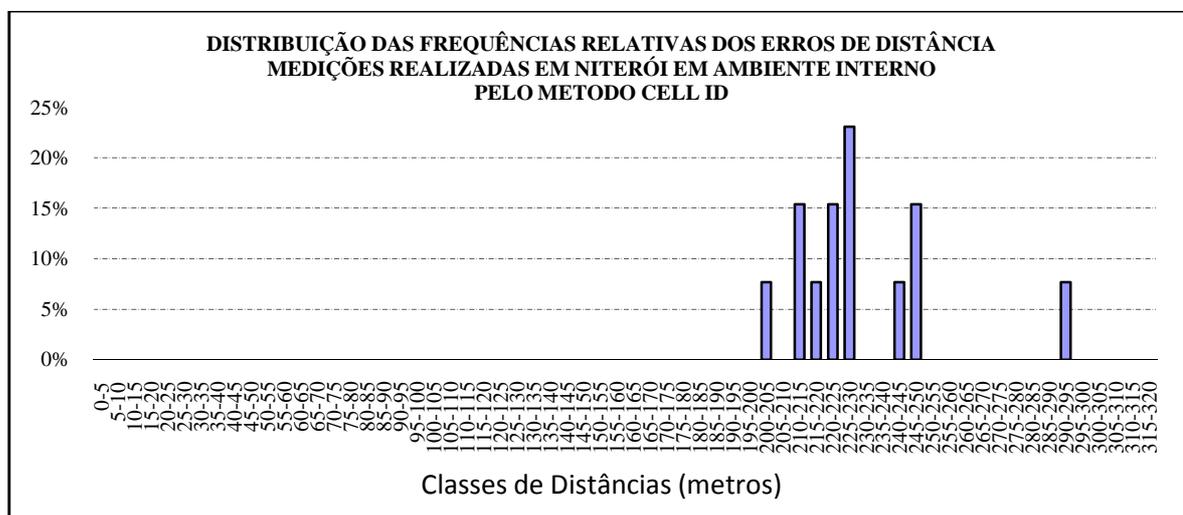


Figura 6-106: Distribuição de chamadas pelo método Cell Id.

As chamadas que utilizaram o método Cell ID, tiveram suas estimativas que convergem para pontos bem próximos as do método AFLT, porém a localização informada pelo sistema, apesar de próximas do local não refletem as respectivas Lat/Long informadas na tabela BSA. Este fato pode ser devido à desatualização da tabela BSA. A Figura 6-107 mostra os pontos de centro da área de célula, envolvidos com círculo amarelo, indicados na tabela BSA, e os pontos identificados pelo sistema.

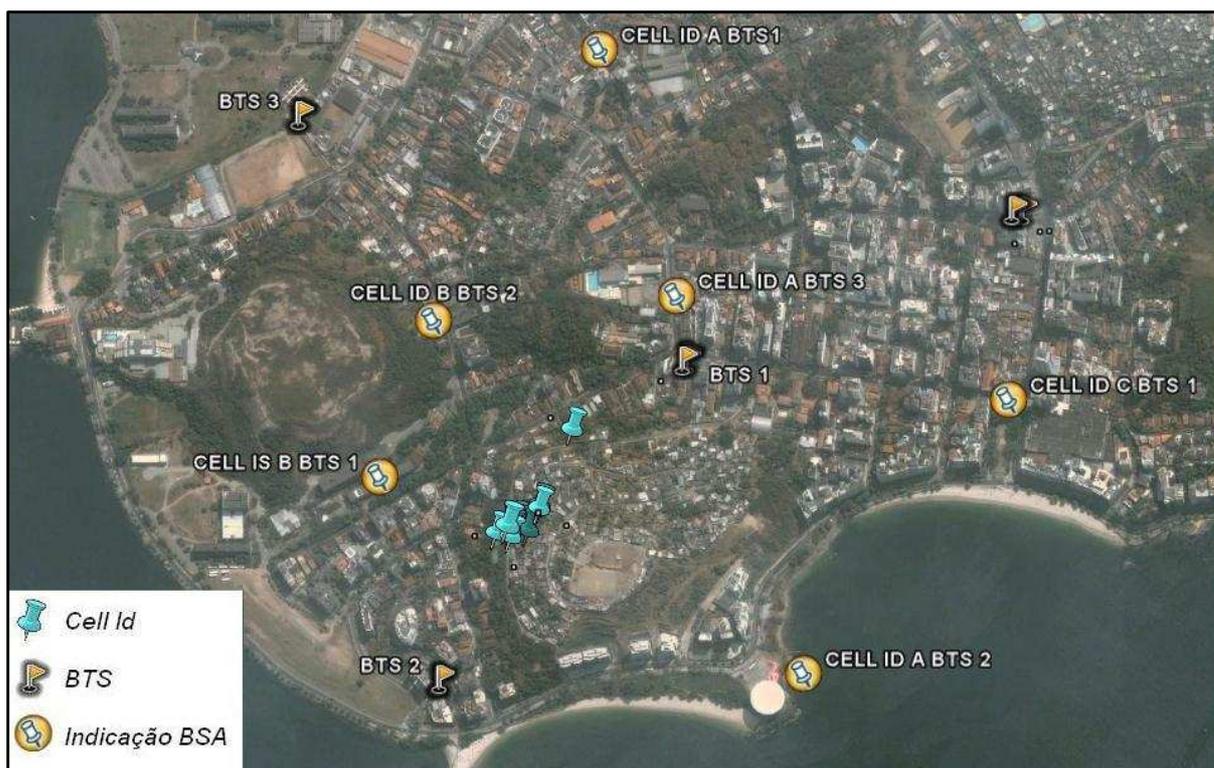


Figura 6-107: Centros de área de células X resultado Cell Id.

A Figura 6-108 mostra a distribuição e o desempenho dos métodos neste local de medição.

Quanto aos métodos utilizados neste local de medição, o método AFLT foi o que obteve a maior quantidade de chamadas.

Quanto à eficiência entre os métodos, foram comparados o AFLT e o A-GPS+ AFLT e o CELL ID. O método A-GPS não foi utilizado pelo sistema neste local de medição.

Entre os métodos comparados, foram analisados os valores dentro dos desvios padrão. Os métodos AFLT e CELL ID, apesar de mostrarem um valor médio mais alto, obtiveram os menores valores de variabilidade, sendo o CELL ID considerado o mais eficiente neste local de medição.

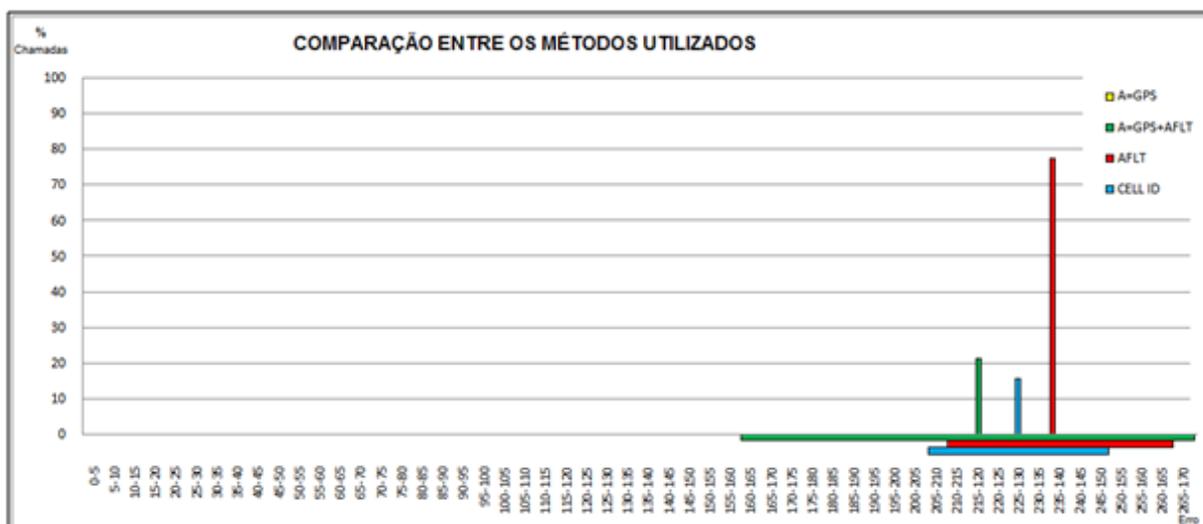


Figura 6-108: Eficiência dos métodos de localização nas medições realizadas em Niterói em ambiente interno.

A Tabela 6-20 detalha os valores do gráfico da Figura 6-108.

Tabela 6-20: Quadro geral medidas teste Niterói interno.

EFICIÊNCIA ENTRE OS MÉTODOS NAS MEDIÇÕES REALIZADAS EM AMBIENTE INTERNO EM NITERÓI					
METODO	Quantidade de chamadas	Erro Médio (Metros)	Desvio Padrão (Metros)	Intervalo de Erro para 1 Desvio (Metros)	% de Chamadas no Intervalo de 1 Desvio
A-GPS	0	Não Medido	Não Medido	Não Medido	Não Medido
A-GPS + AFLT	19	218	55	162 à 273	78,95
AFLT	69	239	26	213 à 266	84,06%
CELL ID	15	230	23	207 à 253	91,67%
GERAL	88	234	34	200 à 268	84,16%

Quanto à eficiência de uma forma geral, neste local de medição, foi verificado queda em relação à medição em ambiente externo neste mesmo local, porém apresentando uma eficiência relativamente boa, levando-se em consideração ser uma área com pouca densidade de edificações (com 200 metros de erro é possível verificar que a estação móvel está no campus da UFF), estando as estimativas de localização próximas do local de medição com a precisão em torno dos 230 metros, onde 84,16% se mantiveram entre os 200 e 268 metros de distância do teste conforme mostrado na Figura 6-109. A utilização do método Cell ID garantiu a informação da localização quando o sistema não foi capaz de localizar a MS utilizando os métodos de maior precisão, indicando que o sistema seguiu a ordem de escolha dos métodos na tentativa de prover a melhor localização da MS.

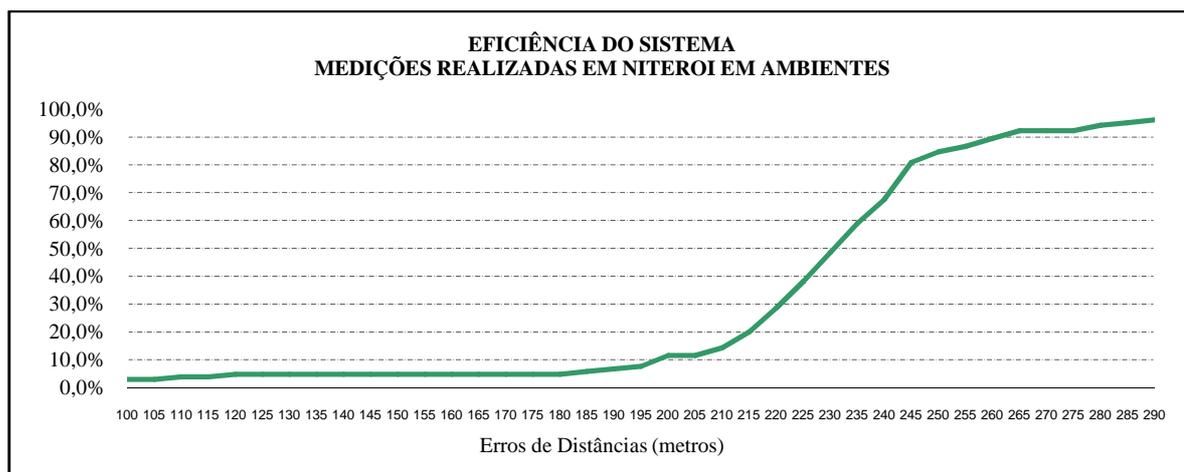


Figura 6-109: Eficiência do sistema.

## 6.5 Resultado dos Testes

Neste item é apresentado o resultado da análise das medidas, realizadas baseado nos objetivos propostos no capítulo 6, e listados abaixo:

- Estudar os fatores que influenciam a ordem de escolha e frequência de utilização dos métodos;
- Estudar os fatores que influenciam na eficiência dos métodos de localização.
- Verificar a disponibilidade do sistema em ambientes externos e internos;

### 6.5.1 Ordem de Escolha e Frequência de Utilização do Método

Nas medições realizadas, a escolha na utilização dos métodos pelo sistema se mostrou de forma equilibrada, onde foi verificada a grande influência do ambiente na escolha do método. Em ambientes externos foi predominante a utilização dos métodos A-GPS e o A-GPS+AFLT e, em ambientes internos, o AFLT e o A-GPS+AFLT.

A Figura 6-110 mostra a distribuição da utilização dos métodos entre os locais de medição.

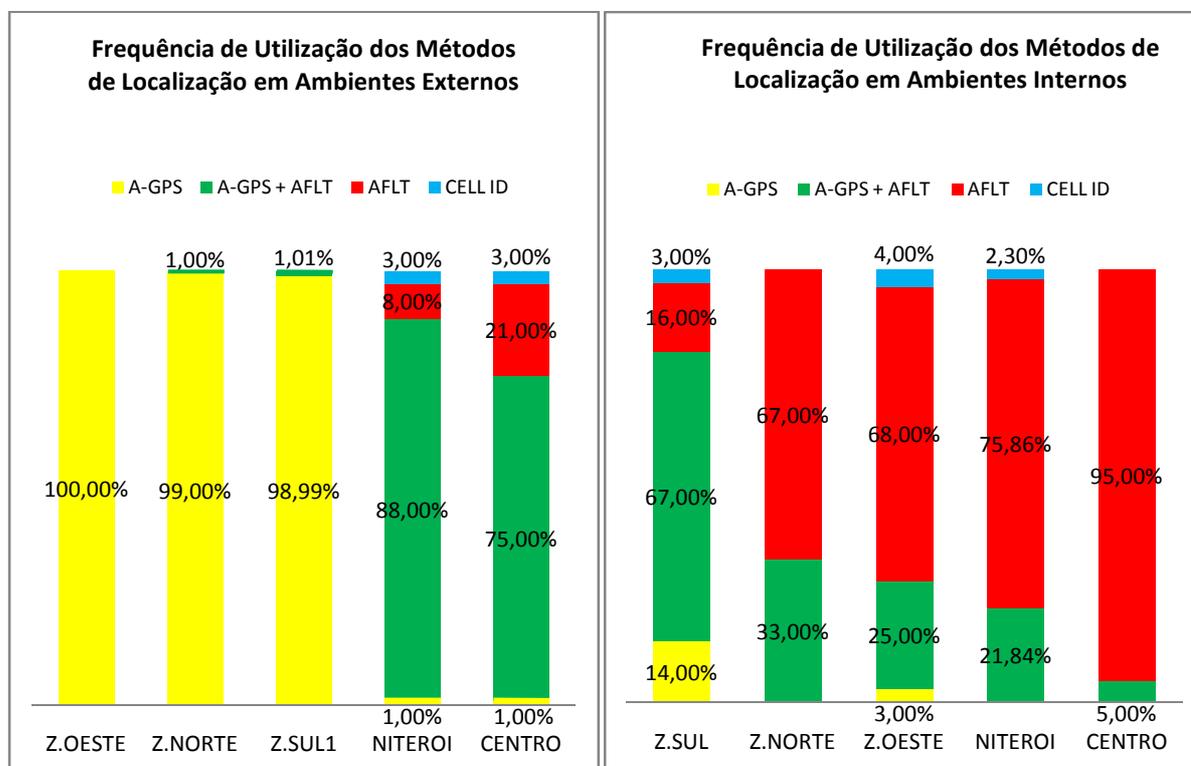


Figura 6-110: Distribuição da utilização dos métodos entre os locais de medição.

Além do ambiente, seja ele interno ou externo, a presença de obstáculos é um fator que também influencia na escolha do método. Em Niterói e no Centro do Rio de Janeiro, em ambiente externo, os métodos AFLT e A-GPS+AFLT foram utilizados com maior frequência em função da realização das medidas ocorrer próximo de edifícios, o que dificultou a visibilidade dos sinais dos satélites GPS.

Nesses mesmos locais, em ambientes externos, também é visível a influência da densidade de edifícios na escolha dos métodos ao comparar a utilização dos métodos AFLT e A-GPS+AFLT. Em Niterói, local com uma menor densidade de edificações, o método A-GPS+AFLT foi o mais utilizado. No Centro do Rio de Janeiro, local com grande concentração de edifícios, o método AFLT obteve uma maior utilização, não só nas medições em ambiente externo, como também em ambiente interno.

A reflexão de sinal é outro fator que pode interferir na escolha do método. Nas medições realizadas na Zona Sul, em ambiente interno, a recepção de sinais de satélites GPS,

provavelmente refletidos pela lagoa e montanhas vizinhas, é constatada através da utilização dos métodos A-GPS+AFLT e A-GPS.

O método Cell Id, muito pouco utilizado, garantiu a informação da localização quando o sistema não foi capaz de localizar a MS utilizando os métodos de maior precisão, indicando que o sistema seguiu a ordem de escolha dos métodos na tentativa de prover a melhor localização da MS. Quando foi possível o cálculo da localização com os métodos mais precisos, o A-GPS, o A-GPS+AFLT e o AFLT foram utilizados, e quando houve a impossibilidade do cálculo da localização, o método Cell ID obteve sua participação.

Levando-se em consideração a escolha dos métodos, foi verificado que:

- A utilização de vários métodos de localização garante a disponibilidade do sistema, ou seja, são complementares, e atuam de forma a prover a localização tanto em ambientes internos quanto em ambientes externos;
- A ordem de escolha dos métodos segue do método mais preciso para o menos preciso;
- Foi observado que na escolha dos métodos devem ser considerados os seguintes fatores:
  - A presença de obstáculos;
  - A densidade de edificações;
  - A reflexão do sinal;
  - O tipo de ambiente: interno ou externo.
- A escolha dos métodos pode ser definida através da combinação dos fatores relacionados acima. Desses fatores, o tipo de ambiente e a presença de obstáculos, pode-se definir as seguintes relações:
  - ✓ Ambientes externos sem obstáculos – Método Predominante A-GPS;
  - ✓ Ambientes externos com obstáculos – Método Predominante A-GPS+AFLT;
  - ✓ Ambientes internos – Método Predominante AFLT;

A Figura 6-111 ilustra influência do ambiente e a presença de obstáculos na escolha do método.

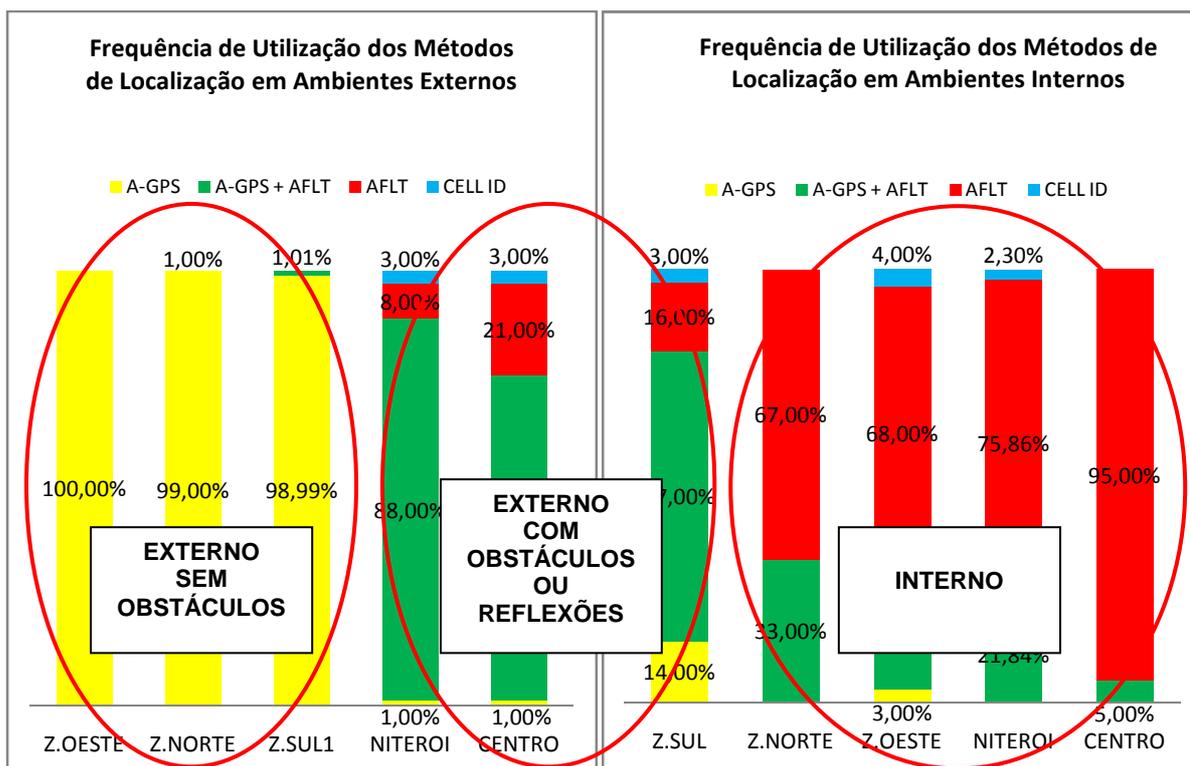


Figura 6-111: Influência do ambiente e a presença de obstáculos na escolha do método

### 6.5.2 Comparativo da Eficiência Entre os Métodos de Localização

A análise da eficiência dos métodos foi realizada com base nas relações definidas no item anterior onde:

- O A-GPS foi o método comparado em ambientes externos sem obstáculos;
- O A-GPS+AFLT foi o método comparado em ambientes externos com obstáculos;
- O AFLT foi o método comparado em ambientes internos.

O método Cell ID não foi comparado.

A Tabela 6-21 apresenta um resumo com informações de densidade de Estações Rádio Base, densidade de edificações, frequência de utilização do método e eficiência das chamadas de localização realizadas através dos métodos A-GPS, A-GPS+AFLT e AFLT em ambiente externo sem obstáculo, externo com obstáculo e interno respectivamente.

Tabela 6-21: Quadro resumo com dados de eficiência.

MÉTODO		A-GPS			A-GPS+AFLT		AFLT				
		AMBIENTE EXTERNO SEM OBSTÁCULO			AMBIENTE EXTERNO COM OBSTÁCULO		AMBIENTE INTERNO				
LOCAL DE MEDIÇÃO		Z.NORTE	Z.OESTE	Z.SUL	NITEROI	CENTRO	CENTRO	Z.NORTE	Z.OESTE	NITEROI	Z.SUL
DENSIDADE DE ESTAÇÕES		MÉDIA	BAIXA	BAIXA	BAIXA	ALTA	ALTA	MEDIA	BAIXA	BAIXA	BAIXA
DENSIDADE DE EDIFÍCIOS		ALTA	BAIXA	MEDIA	BAIXA	ALTA	ALTA	ALTA	BAIXA	BAIXA	MEDIA
UTILIZAÇÃO		99,54%	100%	98,99%	85,38%	76,07%	93,81%	67,61%	69,36%	66,99%	13,29%
EFICIÊNCIA	ERRO MÉDIO (m)	8,38	18,41	25,83	33,16	79,72	65,04	84,51	109,80	238,33	282,06
	DISPERSÃO (m)	12,22	17,24	30,14	34,12	63,54	25,32	91,54	76,28	52,34	1088,18

Na análise de eficiência foram avaliados dois parâmetros: o erro médio, calculado sob a média aritmética dos resultados das medidas, e a dispersão, calculada através do desvio padrão dos resultados das medidas. O erro médio define o quanto o resultado das chamadas de localização se distanciou do local de medição e a dispersão define a concentração dos resultados das medidas.

A Tabela 6-21 mostra que o A-GPS foi o método que obteve as menores variações de erro médio e dispersão, seguido do A-GPS+AFLT e do AFLT, o que reafirma que a ordem de escolha dos métodos segue do método de maior precisão para o de menor precisão.

As densidades de Estações Rádio Base e edificações não influenciaram no resultado das medidas realizadas através do método A-GPS, porém sua eficiência pode ser degradada com a presença de obstáculos ou reflexões de sinais GPS. Conforme mostrado no item 6.4.8.1, nas medições realizadas em ambiente interno, na Zona sul do Rio de Janeiro, a influência do espelho d'água da lagoa resultou em grandes variações nos resultados das medidas.

Nas chamadas de localização que utilizaram o método AFLT, foi verificado, também, que a presença de obstáculos é um fator crítico, porém pode ser minimizado com uma alta densidade de Estações Rádio Base, o que não ocorre com o método A-GPS. Nas medições realizadas em ambientes internos, os locais com maior densidade de estações obtiveram melhor eficiência. Outro fator importante, que afeta diretamente a eficiência do método AFLT é a integridade da tabela BSA.

Os fatores que influenciaram a eficiência dos métodos A-GPS e AFLT, também influenciaram a eficiência do método A-GPS+AFLT em suas parcelas A-GPS e AFLT, respectivamente.

Quando o método A-GPS+AFLT é utilizado, normalmente o local de medição não é um ambiente totalmente aberto, que seja possível a utilização do método A-GPS, nem totalmente fechado, o que leva a utilizar o método AFLT. Neste caso, a densidade de

edificações ou a presença de obstáculos é que vão definir o quanto o cálculo da localização vai tender para a parcela A-GPS ou AFLT, em função da quantidade de satélites GPS visíveis.

A presença de obstáculos ou reflexões de sinais GPS podem interferir na precisão das medidas realizadas através do método A-GPS. No método A-GPS+AFLT, a densidade de Estações Rádio Base, tem a sua participação na melhora da eficiência da parcela AFLT ao possibilitar a correção de eventuais erros causados pela baixa quantidade de satélites e erros gerados por reflexões dos sinais GPS, em ambientes fechados.

A partir dos resultados encontrados, foi verificado que a eficiência está relacionada diretamente ao método utilizado e indiretamente ao ambiente, responsável pela escolha do método. Entre os métodos estudados, a eficiência pode variar diante da combinação dos fatores como: a presença de obstáculos e fontes de reflexões, densidade de edificações e de Estações Rádio Base, porém foi verificado que alguns fatores interferem com maior ou menor intensidade na eficiência dos métodos estudados:

- A densidade de Estações Rádio Base e edificações não influenciaram no resultado das medidas realizadas, através do método A-GPS em ambientes externos sem obstáculos;
- O método A-GPS+AFLT é sensível à presença de obstáculos, à densidade de edificações e de Estações Rádio Base;
- Em medições realizadas com o método AFLT a densidade de Estações Rádio Base e a integridade da tabela BSA são fatores críticos que influenciam diretamente a precisão das medidas. A densidade de edificações pode comprometer a eficiência, porém seus efeitos podem ser minimizados com o aumento da densidade de Estações Rádio Base.

## 7 CONCLUSÃO

O sistema GPS apresenta excelente precisão na informação da localização, porém seu uso está limitado a ambientes externos, o que torna sua utilização restrita. O Sistema Móvel Celular, aliado ao sistema GPS, foi capaz de informar a localização de suas Estações Móveis em ambientes internos e externos.

O resultado das medições demonstrou o bom desempenho do sistema de localização em redes celulares. As medições em ambientes externos apresentaram uma precisão melhor, conforme descrito no item 6.5.2, porém nos dois ambientes (interno e externo) o erro médio se manteve na ordem de dezenas de metros, o que é tolerável.

Ficou constatado que, de uma forma geral, o método A-GPS é o mais preciso seguido do A-GPS+AFLT, AFLT e Cell ID, porém a precisão da informação da localização depende da combinação de diversos fatores aos quais esses métodos são sensíveis.

O ambiente, seja interno ou externo, é o fator determinante na escolha do método, e este, por sua vez, interfere diretamente na precisão da localização. A densidade de estações e a presença de obstáculos e reflexões também são fatores que interferem na escolha dos métodos.

Foi verificado, através dos resultados obtidos e discutidos nos itens 6.5.1 e 6.5.2, que a ordem de escolha dos métodos de localização segue do mais preciso para o menos preciso, garantindo a informação da localização no caso de falha dos métodos mais precisos.

Esse estudo mostrou que os métodos de localização utilizados em redes celulares CDMA são complementares e não concorrentes. A escolha na utilização dos métodos pelo sistema se mostrou de forma equilibrada, garantindo a disponibilidade do sistema nos ambientes internos e externos, tornando viáveis os serviços de localização voltados a segurança e aplicações comerciais.

### 7.1 Sugestões Para Trabalhos Futuros

Durante a elaboração deste trabalho, foram verificados pontos vulneráveis do sistema, sendo o mais crítico a exigência permanente da manutenção da BSA (*Base Station Almanac*). O desenvolvimento de uma técnica de atualização automática da BSA poderia resolver o problema de inconsistência de dados gerada pelas constantes intervenções na rede celular.

Atualmente, algumas soluções de localização estão sendo utilizadas por empresas, não operadoras celulares, para prover a localização de terminais celulares, utilizando,

provavelmente, parâmetros de rede celular e técnicas de auto-aprendizado que possibilitam o sistema, após cada solicitação de localização realizada por terminais celulares com GPS integrado, criar uma nova relação entre Latitude/Longitude e um parâmetro que identifique a Estação Rádio Base. Uma aplicação instalada na Estação Móvel não equipada com GPS que consulte em um banco de dados informações de posição (Latitude/Longitude) e parâmetro de rede, possibilita a localização desta Estação Móvel. O estudo do modo de funcionamento e eficiência deste sistema poderia ser o objetivo de um novo trabalho.

No Brasil, ainda não há uma imposição regulamentar obrigando as operadoras SMP (Serviço Móvel Pessoal) e SME (Serviço Móvel Especial) a informarem a localização do assinante aos órgãos que prestam serviços de emergência durante a realização de chamadas para os códigos emergenciais 19X. A definição dos impactos nas redes celulares, em operação, para viabilizar esta possível definição da ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) poderia ser o objetivo de um novo estudo relacionado ao tema de localização de redes celulares.

## REFERÊNCIAS

- [1] EL-RABBANY, Ahmed “*Introduction to GPS: the Global Positioning System*”, Editora Artech House. Norwood, MA – USA, 2002
- [2] TSUI James B. “*Fundamentals of global positioning system receivers : a software approach*” Editora Jonh Wiley & Sons. Inc. Hoboken, New Jersey
- [3] GREWAL Mohinder S.; WEILL Lawrence R; ANDREWS Angus P. “*GPS Global Positioning Systems, Inertial Navigation and Integration*” Editora Jonh Wiley & Sons. Inc. Hoboken, New Jersey. – USA, 2001.
- [4] GIRIDHAR Mandvam; JERSEY Lai “*Third-Generation CDMA Systems for Enhanced Data Services*” . Editora Academic Press, San Diego, California - USA 2000.
- [5] ALENCAR, “*Telefonia Digital*”, Editora Erica, 1999.
- [6] XAVIER Jonas; MARINA Muzzi; EDILSON Camargo; RODRIGO Caetano; FERNANDO Matos “*Estudo da Evolução da Telefonia Móvel no Brasil*”, X Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba.
- [7] NOLDUS Rogier, “*CAMEL – Intelligent Networks For the GSM, GPRS and UMTS networks*”, editora Jonh & Sons, 2006
- [8] GUIMARÃES Alberto; GRIVET Marco. “*Radiolocalização de Terminais de Comunicações Móveis*” Revista Científica Periódica, Junho de 2003.
- [9] CAFFERY-JR James J.; STUBER Gordon L.; “*Overview of radiolocation in CDMA cellular systems*” IEEE Communications Magazine., Abr. 1998.
- [10] STUBER Gordon L.; CAFFERY-JR James J. “*Radiolocation Techniques*”, Mobile communications handbook, 1999.

- [11] CAFFERY-JR James J., “*Wireless Location in CDMA Cellular Radio Systems*”, Editora Springer, 2000
- [12] FRENCH. Gregory T. “*An Introduction to the Global Positioning System*”, Editora Georesearch. Bethesda, MD – USA, 1996
- [13] COSTA Renata B. “*Estudo e Simulação de Técnicas de Localização de Terminais em Ambientes Microcelulares*”, Dissertação Mestrado – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Abril de 2003.
- [14] CAMPOS Rafael, “*Tecnologias de Rádio-Localização em Redes de Telefonia Móvel Celular*”, Monografia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Outubro de 2006
- [15] BARLEZE Alessandro “*Fusão de Dados em Esquemas Híbridos envolvendo A-GPS para Localização de Posicionamento*”, Dissertação Mestrado – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2003.
- [16] ÂNGULO-FILHO Rubens, VETTORAZZI Carlos A., SARRIES Gabriel A. “*Exatidão de posicionamento de um receptor GPS, operando sob diferentes coberturas vegetais*”, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.6, n.2, p.325-331, Campina Grande, 2002.
- [17] AATIQUE Muhammad. “*Evaluation of TDOA Techiques for Position Location in CDMA Systems*”, Dissertação Mestrado – Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, Setembro de 2007.
- [18] GUEDES Edna, “*Estudo de Técnica Híbrida de Localização de Estações Móveis Baseada em TDoA E AoA*” Dissertação Mestrado – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2003
- [19] HIGHTOWER Jeffrey, BORRIELLO Gaetano. “*Location Sensing Techniques*”, IEEE Computer magazine p. 57-66, Agosto de 2001.
- [20] DRUMMOND Jane; BILLEN Roland; JOÃO Elsa; FORREST David. “*Dynamic and Mobile GIS - Investigating Changes in Space and Time*”, Editora CRC Press, 2006.

- [21] SARIKAYA Behcet “*Geographic Location in the Internet*”, Editora Springer, 2002
- [22] SWEET Robert J.. “*GPS for Mariners*”, Editora McGraw-Hill Professional, 2003
- [23] KOLODZIEJ, HJELM, “*Local Positioning Systems: LBS Applications and Services*”, Editora CRC Press, 2006
- [24] RALPH Daniel, SEARBY Stephen, “*Location and Personalisation: Delivering Online and Mobility Services*” Editora IET, 2004
- [25] SCHILLER Jochen H., VOISARD Agnès, “*Location-based Services*”, Editora Elsevier, 2004.
- [26] BROIDA, “*How to do everything with your GPS*” , Editora McGraw-Hill Professional, 2003
- [27] SPIEGEL, “*Manual de Formulas e métodos e tabelas de Matemática*”, Editora Makron, McGraw-Hill, 1992
- [28] KOLODZIEJ Krzysztof W.; HJELM Johan “*Local Positioning Systems: LBS Applications and Services*” Editora CRC Press, 2006.
- [29] GARTNER Georg; REHRL Karl “*Location Based Services and Telecartography: From Sensor Fusion to Ubiquitous LBS*” Editora Springer, 2008
- [30] GUIZANI Mohsen “*Wireless communications systems and networks*” Editora Springer, 2004
- [31] FCC WIRELESS ENHANCED E911 REQUIREMENTS. Página do Site do FCC (The Federal Communications Commission). Último acesso: Dezembro de 2008.
- [32] KRIZMAN Kelvin J.; BIEDKA Thomas E.; RAPPAPORT Theodore S. “*Wireless Position Location*”, IEEE Vehicular Technology Conference, Maio de 1997.