

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL**

**ORMY LEOCÁDIO HÜTNER JÚNIOR**

**ONDAS ELETROMAGNÉTICAS DE ALTA FREQUÊNCIA:  
DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ATENUAÇÃO EM  
SISTEMAS CONSTRUTIVOS DE VEDAÇÃO**

**DISSERTAÇÃO**

**CURITIBA**

**2015**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL**

**ORMY LEOCÁDIO HÜTNER JÚNIOR**

**ONDAS ELETROMAGNÉTICAS DE ALTA FREQUÊNCIA:  
DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ATENUAÇÃO EM  
SISTEMAS CONSTRUTIVOS DE VEDAÇÃO**

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Área de concentração: Ambiente Construído, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Aloísio Leoni Schmid

**CURITIBA**

**2015**

---

J95o

Hütner Júnior, Ormy Leocádio

Ondas eletromagnéticas de alta frequência : determinação do coeficiente de atenuação em sistemas construtivos de vedação/ Ormy Leocádio Hütner Júnior. – Curitiba, 2015.  
241 f. : il. color. ; 30 cm.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Construção Civil, 2015.

Orientador: Aloísio Leoni Schmid .  
Bibliografia: p. 210-217.

1. Estruturas (Construção civil). 2. Arquitetura. 3. Ondas eletromagnéticas.  
I. Universidade Federal do Paraná. II. Schmid, Aloísio Leoni. III. Título.

CDD: 624.17

---

## FOLHA DE APROVAÇÃO

**ORMY LEOCÁDIO HÜTNER JÚNIOR**

**ONDAS ELETROMAGNÉTICAS DE ALTA FREQUÊNCIA: DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ATENUAÇÃO EM SISTEMAS CONSTRUTIVOS DE VEDAÇÃO**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Construção Civil, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil da Universidade Federal do Paraná, pela Banca Examinadora formada pelos professores:



Prof. Dr. Aloísio Leoni Schmid (Orientador)

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil da UFPR.



Prof. Dr. José Marques Filho

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil da UFPR.



Prof. Dr. César Augusto Dartora

Departamento de Engenharia Elétrica da UFPR.



Prof. Dr. Miguel Aloysio Sattler

Departamento de Engenharia Civil da UFRGS.

Curitiba, 07 de Maio de 2015

## RESUMO

Este trabalho visa determinar experimentalmente os coeficientes de atenuação de ondas eletromagnéticas de alta frequência na faixa de micro-ondas em sete sistemas construtivos de vedação utilizados no Brasil. A comunidade científica vem discutindo sobre eventuais perigos da exposição destas radiações na saúde da população sem chegar a um consenso. Atualmente, as edificações próximas às Estações Rádio Base estão sujeitas à exposição contínua dessas ondas eletromagnéticas. Assim, esta pesquisa exploratória, por meio de ensaios experimentais em campo aberto, procura determinar os coeficientes de atenuação para micro-ondas em amostras de sete sistemas construtivos de vedação utilizados no Brasil. São estes: a) Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais; b) Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais; c) Alvenaria de blocos de concreto; d) Alvenaria de blocos de solo-cimento; e) *Light Steel Framing*; f) *Light Wood Framing* e g) *Drywall*. Essas amostras são submetidas à exposição de ondas eletromagnéticas que correspondem às faixas utilizadas pela telefonia celular no Brasil. Antenas acopladas a um gerador de sinal emitem sinais em direção à amostra nas seguintes frequências: 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz, 2400 MHz e 2500 MHz. Situadas no lado oposto à amostra, antenas acopladas a um analisador de espectro recebem o sinal e assim, identifica-se sua atenuação. Foram realizadas cinco séries de medições analisando a atenuação eletromagnética de todas as amostras, em todas as frequências utilizadas. Para analisar estes dados, foi utilizado o método estatístico *two-way ANOVA* (do inglês, *Analysis Of Variance*), pois considera-se dois fatores nesta análise. Verificou-se interação significativa entre os fatores frequência e sistema construtivo de vedação, o que levou a uma análise da comparação múltipla das médias obtidas. Assim, foi possível classificar os sistemas construtivos quanto ao seu coeficiente de atenuação eletromagnética para a faixa de frequência analisada. Esta pesquisa mostrou que o *Light Wood Framing* e a Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais apresentam os maiores coeficientes, seguidos muito próximo da Alvenaria de blocos de concreto. Na sequência, a Alvenaria de blocos de solo-cimento obteve um desempenho um pouco acima da média geral. Abaixo da média se encontram o *Light Steel Framing*, a Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais e com o menor coeficiente de atenuação, o *Drywall*.

**Palavras-chave:** sistemas construtivos, arquitetura, ondas eletromagnéticas

## ABSTRACT

This work aims to experimentally determine the attenuation coefficients of electromagnetic waves of high frequency (microwave range) in seven building systems used in Brazil. The scientific community has been discussing possible threats of radiations exposure on human health. Nowadays, buildings close to cell phone towers are continuously exposed to those electromagnetic waves. Thus, this explanatory research, through experimental tests in open space, aims to determine the attenuation coefficients for microwaves in seven samples of seven building systems. The building systems are: a) Masonry of non-structural ceramic bricks; b) Masonry of structural ceramic bricks; c) Masonry of concrete bricks; d) Masonry of soil-cement bricks; e) Light Steel Framing; f) Light Wood Framing and g) *Drywall*. These samples were exposed to electromagnetic waves that correspond to the mobile telephony frequency bands of Brazil. Connected antennas to a signal generator send signals towards the sample in frequencies of: 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz, 2400 MHz and 2500 MHz. On the opposite side, antennas connected to a spectrum analyzer receive the signal and its loss. In all, a sequence of five measurements were made by analyzing the electromagnetic attenuation of all samples in all frequencies sent by the generator device. To analyze these data, the two-way ANOVA statistical method was used. This method considered two factors in this analysis: frequency and building system, and as result presented a significant interaction between the frequency factors and building system, which led to an analysis of the multiple comparison of means. Thus, it was possible to classify the building systems regarding their electromagnetic attenuation coefficient for the analyzed frequency band. This research has demonstrated that the samples of Light Wood Framing and non-structural ceramic bricks masonry are above overall average, followed closely by the concrete bricks masonry sample. Slightly above the overall average is the Masonry of soil-cement bricks sample. Finally, Light Steel Framing, Masonry of structural ceramic bricks and *Drywall* are respectively below overall average.

**Keyword:** building systems, architecture, electromagnetic waves.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Divisão do espectro eletromagnético em faixas de frequência e principais utilizações .....	24
Tabela 2: Designações de bandas de frequência .....	27
Tabela 3: O espectro eletromagnético.....	28
Tabela 4: Faixas de frequências utilizadas no Brasil.....	31
Tabela 5: características principais de antenas e equipamentos de rádio .....	36
Tabela 6: Principais atributos das ERBs .....	39
Tabela 7: VSWR .....	47
Tabela 8: Padrões comparativos para níveis máximos de exposição do público em geral à RF - 900 e 1800 MHz para as duas bandas principais de telefone móvel em diversos países.....	56
Tabela 9: níveis de referência para a exposição do público geral.....	58
Tabela 10: restrições básicas até 10 GHz (exposições a campos elétrico e magnético variáveis no tempo).....	58
Tabela 11: níveis de referência para exposição ocupacional a campos elétricos e magnéticos variáveis no tempo .....	59
Tabela 12: máxima exposição permissível para ambientes controlados .....	60
Tabela 13: categorias de acessibilidade.....	62
Tabela 14: valores adotados em alguns municípios do Brasil.....	65
Tabela 15: limites de exposição máxima permitido para ambientes controlados....	74
Tabela 16: limites de exposição máximos permitidos para ambientes não controlados .....	75
Tabela 17: Absorção da energia eletromagnética em função da frequência .....	78
Tabela 18: Reclamações neurológicas entre os habitantes que vivem sob e em frente à antena de celular .....	81
Tabela 19: classes de umidade madeira .....	95
Tabela 20: tipos de chapas de gesso acartonado .....	98
Tabela 21: Método de avaliação das características de placas cimentícias .....	99
Tabela 22: fator de atenuação de piso (FAF) médio em dB para diferentes níveis de piso entre transmissor e receptor e os desvios padrão .....	101
Tabela 23: dimensões de uma parede de tijolos assentados.....	107
Tabela 24: coeficiente de transmissão e reflexão em 2,3 GHz e 5,25 GHz.....	111
Tabela 25: resultados de atenuação em paredes de madeira (a espessura não afeta os resultados) .....	112
Tabela 26: resultados de atenuação em paredes de concreto (f = 2.4 GHz).....	113
Tabela 27: valores recomendados de atenuação (dB) em vários sistemas de construção internos .....	114
Tabela 28: características de materiais de construção medindo a reflexão.....	117
Tabela 29: Atenuação de sinal em vários objetos.....	118
Tabela 30: resistência à compressão dos corpos de prova de argamassa.....	122
Tabela 31: relatório de ensaio da resistência à tração na flexão .....	123

Tabela 32: dimensionamento dos blocos cerâmicos não estruturais .....	124
Tabela 33: dimensionamento dos blocos cerâmicos estruturais .....	125
Tabela 34: dimensionamento dos blocos de concreto .....	127
Tabela 35: dimensionamento dos blocos de solo-cimento.....	128
Tabela 36: reflexão de ondas eletromagnéticas em sistemas construtivos de vedação .....	142
Tabela 37: sequência de medições em laboratório do SIMEPAR.....	146
Tabela 38: classificação dos sistemas construtivos de vedação – ensaio preliminar .....	152
Tabela 39: análise de variância para projetos cruzados de 2 fatores .....	166
Tabela 40: resultados área de teste Livre .....	168
Tabela 41: resultados área de teste fechada .....	169
Tabela 42: resultados para <i>Drywall</i> .....	170
Tabela 43: resultados para <i>Light Wood Framing</i> .....	171
Tabela 44: resultados para <i>Light Steel Framing</i> .....	172
Tabela 45: resultados para Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais .....	173
Tabela 46: resultados para Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais .....	174
Tabela 47: resultados para Alvenaria de blocos de concreto.....	175
Tabela 48: resultados para Alvenaria de blocos de solo-cimento .....	176
Tabela 49: análise de variância para projetos cruzados de 2 fatores .....	184
Tabela 50:CMM para frequência de 800 MHz.....	186
Tabela 51:CMM para frequência de 900 MHz.....	187
Tabela 52:CMM para frequência de 1800 MHz.....	188
Tabela 53:CMM para frequência de 1900 MHz.....	189
Tabela 54:CMM para frequência de 2400 MHz.....	190
Tabela 55:CMM para frequência de 2500 MHz.....	191
Tabela 56:CMM para <i>Drywall</i> .....	193
Tabela 57:CMM para <i>Light Wood Framing</i> .....	194
Tabela 58:CMM para <i>Light Steel Framing</i> .....	195
Tabela 59:CMM para alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais.....	196
Tabela 60:CMM para alvenaria de blocos cerâmicos estruturais.....	197
Tabela 61:CMM para alvenaria de blocos de concreto .....	198
Tabela 62:CMM para : alvenaria de blocos de solo-cimento.....	199
Tabela 63: classificação dos sistemas construtivos de vedação.....	200
Tabela 64: CMM Médias gerais dos sistemas construtivos de vedação.....	201
Tabela 65: Comparação resultados Reifsneider (2003, <i>apud</i> Dobkin 2005) com os atingidos nesta pesquisa .....	202
Tabela 66: Comparação Dobkin (2005) para alvenarias com os atingidos nesta pesquisa .....	203
Tabela 67: Relação entre coeficiente de atenuação, peso e espessura das amostras .....	204



## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: atenuação no espaço livre.....	52
Equação 2: cálculo da distância da antena .....	162
Equação 3: cálculo do coeficiente de atenuação de uma determinada amostra, para uma determinada frequência .....	165
Equação 4: limite de decisão.....	166

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: medições com todas as frequências.....	151
Gráfico 2: atenuação (dB) das amostras em 800 MHz.....	177
Gráfico 3: atenuação (dB) das amostras em 900 MHz.....	178
Gráfico 4: atenuação (dB) das amostras em 1800 MHz.....	179
Gráfico 5: atenuação (dB) das amostras em 1900 MHz.....	180
Gráfico 6: atenuação (dB) das amostras em 2400 MHz.....	181
Gráfico 7: atenuação (dB) das amostras em 2500 MHz.....	182
Gráfico 8: atenuação (dB) das amostras analisadas.....	183
Gráfico 9: CMM 800 MHz .....	186
Gráfico 10: CMM 900 MHz .....	187
Gráfico 11: CMM 1800 MHz .....	188
Gráfico 12: CMM 1900 MHz .....	189
Gráfico 13: CMM 2400 MHz .....	190
Gráfico 14: CMM 2500 MHz .....	191
Gráfico 15: CMM <i>Drywall</i> .....	193
Gráfico 16: CMM <i>Light Wood Framing</i> .....	194
Gráfico 17: CMM <i>Light Steel Framing</i> .....	195
Gráfico 18: CMM alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais .....	196
Gráfico 19: CMM alvenaria de blocos cerâmicos estruturais .....	197
Gráfico 20: CMM alvenaria de blocos de concreto.....	198
Gráfico 21: CMM alvenaria de blocos de solo-cimento .....	199

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Componentes de uma onda eletromagnética polarizada verticalmente ..	27
Figura 2: Malha hexagonal de torres de telefonia celular .....	33
Figura 3: Divisão de células.....	34
Figura 4: Divisão de uma célula em diversas outras .....	34
Figura 5: Esquema de funcionamento de telefonia celular.....	35
Figura 6: Composição da ERB .....	37
Figura 7: Desenho esquemático de uma ERB .....	37
Figura 8: HRP diagrama ERB GSM 900 .....	38
Figura 9: VRP diagrama ERB GSM 900.....	38
Figura 10: Antenas comuns de elemento único .....	42
Figura 11: Gráfico de irradiação polar de uma antena .....	43
Figura 12: Regiões de campo próximo e campo distante .....	44
Figura 13: Formatos frequentemente utilizados de uma antena dipolo.....	45
Figura 14: Antena corneta básica.....	45
Figura 15: Propagação omnidirecional de uma antena em espaço livre.....	48
Figura 16: Efeito em um ambiente de uma potência de sinal a uma distância de 10 metros de uma antena.....	48
Figura 17: O fenômeno da reflexão, refração e difração .....	50
Figura 18: Modos como as ondas podem percorrer no espaço com obstáculos ....	51
Figura 20: A potência de sinal recebida a partir de vários ângulos de incidência do transmissor .....	53
Figura 21: zonas de exposição de CEMs .....	61
Figura 22: exemplo CA 1 .....	63
Figura 23: exemplo CA 2 .....	63
Figura 24: exemplo CA 3 .....	63
Figura 25: exemplo CA 4 .....	63
Figura 26: limites da FCC para máxima exposição permitida (densidade de potência equivalente à onda plana) .....	73
Figura 27: distribuição da densidade de potência em função da altura da antena (ERB GSM 900).....	84
Figura 28: distribuição da densidade de potência em função do downtilt (ERB GSM 900).....	84
Figura 29: distribuição da densidade de potência em função da mudança no ganho da antena.....	85
Figura 30: distribuição da densidade de potência após correção do VRP .....	85
Figura 31: mostra a distribuição dos HRPs de dois painéis GSM .....	86
Figura 32: blocos com furo na horizontal.....	90
Figura 33: blocos com furo na vertical.....	90
Figura 34: bloco com paredes vazadas.....	90
Figura 35: bloco com paredes maciças.....	90
Figura 36: bloco perfurado.....	90

Figura 37: bloco comum de solo-cimento.....	92
Figura 38: bloco especial de solo-cimento .....	92
Figura 39: Esquema típico de uma residência em light steel framing .....	94
Figura 40: vista geral da instalação dos perfis .....	97
Figura 41: desenho esquemático do sistema de transmissão.....	103
Figura 42: desenho esquemático do sistema de recepção .....	103
Figura 43: Quadridged 0.5 a 2.0 GHz utilizada nos testes NIST.....	103
Figura 44: experimento com a antena Quadridged 0.5 a 2.0 GHz.....	104
Figura 45: Flam & Russel Diagonal Range Illumination Horn (3.0 a 8.0 GHz).....	104
Figura 46: vista isométrica do NLS teste .....	105
Figura 47: vista isométrica do NLS teste, mostrando o vão central no escudo eletromagnético .....	105
Figura 48: amostra parede simples .....	106
Figura 49: amostra parede dupla.....	106
Figura 50: amostra parede tripla.....	106
Figura 51: coeficiente de transmissão para tijolos cerâmicos .....	108
Figura 52: magnitude de sinal recebido para tijolo cerâmico .....	108
Figura 53: equipamento de teste e antena receptora.....	109
Figura 54: antena transmissora, quadro absorvedor e chapa de cobre.....	109
Figura 55: diagrama esquemático da configuração do experimento.....	110
Figura 56: vista frontal de amostra de bloco cerâmico.....	111
Figura 57: vista posterior de amostra de bloco cerâmico .....	111
Figura 58: configuração do experimento dentro de uma câmara anecoica para medir reflexões .....	116
Figura 59: balança pesando amostra de argamassa .....	121
Figura 60: balança pesando amostra de água .....	121
Figura 61: molde corpo de prova de argamassa .....	121
Figura 62: moldagem do corpo de prova de argamassa.....	121
Figura 63: ensaio de resistência do corpo de prova.....	122
Figura 64: ensaio de resistência do corpo de prova.....	122
Figura 65: prisma de bloco cerâmico não estrutural.....	124
Figura 66: prisma de bloco cerâmico estrutural.....	125
Figura 67: prisma de bloco de concreto .....	127
Figura 68: prisma de blocos de solo-cimento.....	128
Figura 69: estrutura de <i>light wood framing</i> .....	130
Figura 70: estrutura de light steel framing .....	131
Figura 71: estrutura de <i>Drywall</i> .....	132
Figura 72: célula GTEM 1250.....	133
Figura 73: amostra dentro da célula GTEM.....	133
Figura 74: sensor EMR-300 WG .....	134
Figura 75: antena de recepção do sinal .....	134
Figura 76: equipamento da célula GTEM.....	134

Figura 77: equipamento da célula GTEM .....	134
Figura 78: leitura do sinal recebido pelo sensor EMR-300 WG.....	135
Figura 79: acompanhamento em tempo real das leituras .....	135
Figura 80: amostra em uma altura média.....	135
Figura 81: amostra em uma altura alta.....	135
Figura 82: resultado do primeiro teste na célula GTEM – <i>Light Wood Framing</i> .....	136
Figura 83: interior do suporte da amostra com o sensor.....	137
Figura 84: amostra e suporte dentro da célula GTEM.....	137
Figura 85: conjunto coberto pelo tecido Swiss Shield ® Naturell .....	137
Figura 86: conjunto pronto para medição com sensor exposto.....	137
Figura 87: resultado do segundo teste na célula GTEM – <i>Light Wood Framing</i> .....	138
Figura 88: equipamento gerador de sinal .....	139
Figura 89: modelo do analisador de espectro .....	140
Figura 90: sistema composto de uma antena dipolo e diedro em chapa metálica..	140
Figura 91: área demarcada para ensaio (análise de ruído ambiental).....	141
Figura 92: análise da amostra de <i>Drywall</i> .....	143
Figura 93: análise da amostra de alvenaria não estrutural.....	143
Figura 94: análise da amostra de bloco de concreto.....	143
Figura 95: análise da amostra de bloco de solo-cimento .....	143
Figura 96: análise da amostra de <i>Light Wood Framing</i> .....	143
Figura 97: análise da amostra de <i>Light Steel Framing</i> .....	143
Figura 98: medição livre .....	147
Figura 99: medição da amostra <i>Drywall</i> .....	147
Figura 100: medição amostra <i>Light Wood Framing</i> .....	147
Figura 101: medição amostra alvenaria cerâmica estrutural.....	147
Figura 102: medição amostra alvenaria de solo-cimento .....	148
Figura 103: medição amostra alvenaria de concreto.....	148
Figura 104: medição amostra alvenaria cerâmica não estrutural.....	148
Figura 105: medição amostra alvenaria <i>Light Steel Framing</i> .....	148
Figura 106: medição livre .....	149
Figura 107: medição da amostra <i>Drywall</i> .....	149
Figura 108: medição amostra <i>Light Wood Framing</i> .....	149
Figura 109: medição amostra alvenaria cerâmica estrutural.....	149
Figura 110: medição amostra alvenaria de solo-cimento .....	150
Figura 111: medição amostra alvenaria de concreto.....	150
Figura 112: medição amostra alvenaria cerâmica não estrutural.....	150
Figura 113: medição amostra alvenaria <i>Light Steel Framing</i> .....	150
Figura 114: imagem do escudo eletromagnético.....	158
Figura 115: gerador de sinal HP 8665B .....	159
Figura 116: analisador de espectro MS2723C .....	160
Figura 117: diagramas de irradiação antena celular Quadriband - <i>Yagi</i> .....	161

Figura 118: diagramas de irradiação antena parabólica grade .....	161
Figura 119: implantação do local do ensaio .....	162
Figura 120: imagem do local do experimento.....	162
Figura 121: área iluminada antena <i>Yagi</i> .....	164
Figura 122: área iluminada antena parabólica .....	164
Figura 123: medição final CF-4000 livre.....	168
Figura 124: medição final MM-2420 livre.....	168
Figura 125: medição final CF-4000 fechado.....	169
Figura 126: medição final MM-2420 fechado .....	169
Figura 127: medição final CF-4000 <i>Drywall</i> .....	170
Figura 128: medição final MM-2420 <i>Drywall</i> .....	170
Figura 129: medição final CF-4000 <i>Light Wood Framing</i> .....	171
Figura 130: medição final MM-2420 <i>Light Wood Framing</i> .....	171
Figura 131: medição final CF-4000 <i>Light Steel Framing</i> .....	172
Figura 132: medição final MM-2420 <i>Light Steel Framing</i> .....	172
Figura 133: medição final CF-4000 Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais .....	173
Figura 134: medição final MM-2420 Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais .....	173
Figura 135: medição final CF-4000 Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais.....	174
Figura 136: medição final CF-4000 Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais.....	174
Figura 137: medição final CF-4000 Alvenaria de blocos de concreto .....	175
Figura 138: medição final MM-2420 Alvenaria de blocos de concreto .....	175
Figura 139: medição final CF-4000 Alvenaria de blocos de solo-cimento.....	176
Figura 140: medição final MM-2420 Alvenaria de blocos de solo-cimento .....	176

## LISTA DE SIGLAS

ABRICEM – Associação Brasileira de Compatibilidade Eletromagnética  
AMPS – *Advanced Mobile Phone System*  
ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações  
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica  
ANSI – American National Standards Institute  
CDMA – *Code Division Multiple Access* ou Acesso Múltiplo por Divisão de Código  
CEM – Campo Eletromagnético  
CEMUAF – Campo eletromagnético de ultra-alta frequência  
CENELEC – *European Committee for Electrotechnical Standardization*  
DCS – *Digital Communication System* ou Sistema Digital de Comunicação  
DECT – *Digital Enhanced Cordless Telecommunications*  
DIN VDE - *Deutsches Institut für Normung / Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik*  
DNA – ácido desoxirribonucleico  
EHF – *Electromagnetic Hypersensibility*  
EHV – *Extra High Voltage*)  
ELF – *Extremely Low Frequency* – Frequências Extra Baixas, compreendidas entre 3 MHz a 3 kHz, compreende as frequências de uso industrial para distribuição de energia elétrica.  
ERB – Estação Rádio Base  
ETSI - *European Telecommunications Standards Institute*  
GSM – *Global System for Mobile Communication* ou Sistema global de Comunicação Móvel.  
HF – *High Frequency*  
IARC – *International Agency*  
IRPA – *International Radiation Protection Association*  
ICEMS - Comissão Internacional de Segurança Eletromagnética  
ICNIRP – *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* ou Comissão Internacional de Proteção Contra a Radiação Não Ionizante.  
IDEC – Instituto de Defesa do Consumidor  
IEC – *International Electrotechnical Commission* – Comissão Internacional Eletrotécnica  
IEE – Instituto de Energia e Ambiente da USP  
IEEE – *Institute of Electrical and Electronic Engineers*  
EPA – *U.S. Environmental Protection Agency*  
FCC – *U.S. Federal Communications Commission*  
IEC – *International Electrotechnical Commission*  
IEM – Interferência Eletromagnética  
NCRP – *National Council on Radiation Protection and Measurement*  
NIEHS – *National Institute of Environmental Health Sciences*  
OMS – Organização Mundial da Saúde

RF – Rádio Frequência

SAR – taxa de absorção específica (potência do CEM)

T-DAB – *Terrestrial Digital Audio Broadcasting*

TDMA – *Time Division Multiple Access*

T-DVB – *Terrestrial Digital Video Broadcasting*

UHF – *Ultra High Frequencies* - Frequências Ultra Altas

UMTS – *Universal Mobile Telecommunications Systems* ou Sistemas de telecomunicações móveis universais.

VHF – *Very High Frequencies* ou Frequências Muito Altas

W-CDMA – *Wideband Code Division Multiple Access*

WI-FI – Wireless Fidelity

WLAN - *Wireless Local Area Network* ou Rede de área local sem fio



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>19</b>
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA.....	20
1.2 OBJETIVO.....	20
1.2.1 Objetivos secundários.....	20
1.3 JUSTIFICATIVAS.....	20
1.3.1 Ambientais.....	20
1.3.2 Sociais.....	21
1.3.3 Econômicas.....	22
1.3.4 Tecnológicas.....	23
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>24</b>
2.1 CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS.....	24
2.1.1 Campo elétrico.....	25
2.1.2 Campo magnético.....	25
2.1.3 Ondas eletromagnéticas.....	26
2.1.4 Micro-ondas e radiofrequência (RF).....	29
2.2 PRINCIPAIS USOS DE RADIOFREQUÊNCIA (RF) E MICRO-ONDAS NA COMUNICAÇÃO CIVIL.....	30
2.2.1 Telefonia móvel celular.....	31
2.2.1.1 Estação Radio Base (ERB).....	36
2.2.2 Redes de transmissão WLAN.....	39
2.2.3 Emissoras de rádio e televisão digital.....	40
2.3 EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO DE ONDAS ELETROMAGNÉTICAS.....	40
2.3.1 Analisadores de espectro.....	40
2.3.2 Linhas de transmissão.....	41
2.3.3 Antenas.....	41
2.3.4 Impedância de uma antena.....	46
2.4 FORMAS DE PROPAGAÇÃO E FENÔMENOS DE INCIDÊNCIA DE UMA ONDA.....	47
2.5 LEGISLAÇÃO.....	53
2.5.1 Legislação internacional.....	53
2.5.2 Legislação brasileira.....	63
2.5.3 Princípio da Precaução.....	65
2.6 ONDAS ELETROMAGNÉTICAS E SAÚDE PÚBLICA.....	67
2.7 RADIAÇÕES DE ALTA FREQUÊNCIA E O MEIO AMBIENTE.....	86
2.8 SISTEMAS CONSTRUTIVOS DE VEDAÇÃO NO BRASIL.....	88
2.8.1 Alvenarias.....	89
2.8.1.1 Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação.....	89
2.8.1.2 Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural.....	90
2.8.1.3 Blocos de concreto para alvenaria estrutural.....	91

2.8.1.4 Blocos vazados de solo-cimento sem função estrutural.....	92
2.8.2 Sistemas construtivos estruturados em perfis leves .....	93
2.8.2.1 Perfis estruturais de <i>Light Wood Framing</i> .....	94
2.8.2.2 Perfis estruturais de <i>Light Steel Framing</i> .....	97
2.8.2.3 Perfis para paredes de <i>Drywall</i> .....	97
2.8.2.4 Chapa de OSB.....	98
2.8.2.5 Chapa de gesso acartonado.....	98
2.8.2.6 Placas cimentícias .....	99
2.8.2.7 Barreira impermeável.....	100
2.9 ANÁLISES DE ATENUAÇÃO ELETROMAGNÉTICA EM SISTEMAS CONSTRUTIVOS .....	100
<b>3 MÉTODO .....</b>	<b>119</b>
3.1 PRODUÇÃO DAS AMOSTRAS: CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	119
3.1.1 Caracterização dos materiais .....	120
3.1.1.1 Argamassa de assentamento .....	120
3.1.1.2 Alvenaria blocos cerâmicos não estruturais .....	123
3.1.1.3 Alvenaria blocos cerâmicos estruturais .....	124
3.1.1.4 Alvenaria de blocos de concreto estrutural.....	126
3.1.1.5 Alvenaria de bloco de solo-cimento .....	127
3.1.1.6 Estrutura de <i>Light Wood Framing</i> .....	129
3.1.1.7 Estrutura de <i>Light Steel Framing</i> .....	130
3.1.1.8 Estrutura de <i>Drywall</i> .....	131
3.2 ESTUDOS PRELIMINARES .....	132
3.2.1 Estudo 1: análise em Célula GTEM .....	132
3.2.1.1 Experimento.....	133
3.2.2 Estudo 2: antenas dipolo em laboratório .....	138
3.2.2.1 Análise da reflexão das ondas eletromagnéticas .....	141
3.2.2.2 Análise da atenuação das ondas eletromagnéticas .....	144
3.2.3 Estudo 3: antenas <i>yagi</i> e parabólica em laboratório .....	144
3.3 MÉTODO PRINCIPAL: MEDIÇÕES EM CAMPO ABERTO .....	153
3.3.1 Unidade de análise.....	153
3.3.2 Testes de validade .....	153
3.3.2.1 Validade do constructo .....	154
3.3.2.2 Validade interna .....	155
3.3.2.3 Validade externa .....	155
3.3.3 Delimitação do trabalho.....	156
3.3.4 Equipamentos de medição.....	159
3.3.4.1 Gerador de sinal .....	159
3.3.4.2 Analisador de espectro .....	159
3.3.4.3 Antenas.....	160
3.3.5 Local para realização dos ensaios .....	162
3.3.6 Determinação das configurações do experimento .....	162

3.3.7	Protocolo de coleta de dados .....	164
3.3.8	Método para análise estatística dos resultados .....	165
<b>4</b>	<b>RESULTADOS OBTIDOS .....</b>	<b>167</b>
4.1	DESEMPENHO DAS AMOSTRAS CONFORME FREQUÊNCIA.....	167
4.1.1	Amostra: livre.....	168
4.1.2	Amostra: fechada .....	169
4.1.3	Amostra: <i>Drywall</i> .....	170
4.1.4	Amostra: <i>Light Wood Framing</i> .....	171
4.1.5	Amostra: <i>Light Steel Framing</i> .....	172
4.1.6	Amostra: Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais.....	173
4.1.7	Amostra: Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais.....	174
4.1.8	Amostra: Alvenaria de blocos de concreto .....	175
4.1.9	Amostra: Alvenaria de blocos de solo-cimento .....	176
4.2	DESEMPENHO DAS AMOSTRAS CONFORME SISTEMA CONSTRUTIVO .	176
4.2.1	Frequência: 800 MHz .....	177
4.2.2	Frequência: 900 MHz .....	178
4.2.3	Frequência: 1800 MHz .....	179
4.2.4	Frequência: 1900 MHz .....	180
4.2.5	Frequência: 2400 MHz .....	181
4.2.6	Frequência: 2500 MHz .....	182
<b>5</b>	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>183</b>
5.1	ANÁLISE DE VARIÂNCIA.....	183
5.2	COMPARAÇÃO MÚLTIPLA DAS MÉDIAS.....	184
5.2.1	Comparação Múltipla das Médias: frequência .....	185
5.2.1.1	Frequência de 800 MHz.....	186
5.2.1.2	Frequência de 900 MHz.....	187
5.2.1.3	Frequência de 1800 MHz.....	188
5.2.1.4	Frequência de 1900 MHz.....	189
5.2.1.5	Frequência de 2400 MHz.....	190
5.2.1.6	Frequência de 2500 MHz.....	191
5.2.2	Comparação Múltipla das Médias: sistemas construtivos de vedação .....	192
5.2.2.1	Sistema construtivo de vedação: <i>Drywall</i> .....	193
5.2.2.2	Sistema construtivo de vedação: <i>Light Wood Framing</i> .....	194
5.2.2.3	Sistema construtivo de vedação: <i>Light Steel Framing</i> .....	195
5.2.2.4	Sistema construtivo de vedação: alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais .....	196
5.2.2.5	Sistema construtivo de vedação: alvenaria de blocos cerâmicos estruturais	197
5.2.2.6	Sistema construtivo de vedação: alvenaria de blocos de concreto .....	198
5.2.2.7	Sistema construtivo de vedação: alvenaria de blocos de solo-cimento.....	199
5.2.3	Comparação múltipla das médias: classificação dos sistemas construtivos.	200

5.2.4	Relação entre o coeficiente de atenuação, o peso e espessura das amostras analisadas.....	203
5.2.5	Análises gerais .....	205
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>207</b>
6.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	209
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>210</b>
	<b>APÊNDICE A: determinação de resistência à compressão de argamassa.....</b>	<b>218</b>
	<b>APÊNDICE B: determinação de resistência à tração de argamassa .....</b>	<b>219</b>
	<b>APÊNDICE C: planilha para coleta de dados .....</b>	<b>220</b>
	<b>APÊNDICE D: distâncias das antenas às amostras .....</b>	<b>221</b>
	<b>APÊNDICE E: planilhas com os valores das medições .....</b>	<b>222</b>
	<b>APÊNDICE F: cálculos estatísticos do experimento.....</b>	<b>227</b>
	<b>APÊNDICE G: comparação múltipla das médias: frequência .....</b>	<b>229</b>
	<b>APÊNDICE H: comparação múltipla das médias: sistemas construtivos.....</b>	<b>230</b>
	<b>ANEXO A: Dimensões de fabricação de blocos cerâmicos de vedação.....</b>	<b>232</b>
	<b>ANEXO B: Dimensões de fabricação de blocos cerâmicos estruturais.....</b>	<b>233</b>
	<b>ANEXO C: Dimensões padronizadas dos blocos de concreto .....</b>	<b>234</b>
	<b>ANEXO D: Valores médios de madeiras de reflorestamento .....</b>	<b>235</b>
	<b>ANEXO E: Tipos de perfis de aço conforme NBR 6355/2003 .....</b>	<b>236</b>
	<b>ANEXO F: Perfil do aço galvanizado para Drywall .....</b>	<b>237</b>
	<b>ANEXO G: Propriedades de chapas de OSB .....</b>	<b>238</b>
	<b>ANEXO H: Critérios dos ensaios laboratoriais de biodeterioração por organismos xilófagos na madeira e em produtos da madeira com função de contraventamento.....</b>	<b>239</b>
	<b>ANEXO I: Tolerâncias das características geométricas das chapas de gesso</b>	<b>240</b>
	<b>ANEXO J: Limites para as características físicas e mecânicas das chapas de gesso acartonado .....</b>	<b>241</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Estudos envolvendo ondas eletromagnéticas e seus eventuais efeitos na saúde das pessoas estão cada vez mais comuns nos meios científicos, principalmente estudos epidemiológicos correlacionando enfermidades com a exposição a ondas eletromagnéticas de alta frequência, com potencial de se tornar um problema de saúde pública em virtude do uso crescente de sistemas de comunicação por radiofrequência. No Brasil, já é possível encontrar esta preocupação em órgãos públicos através de regulamentações existentes, mas também em referenciais técnicos de certificação de sustentabilidade para edificações. Estes referenciais procuram atender a questões básicas de saudabilidade dentro do conceito de edifícios sustentáveis. Estudos na área da saúde afirmam que os níveis de exposição regulamentados por órgãos internacionais, dos quais o Brasil é um seguidor, não contemplam os efeitos biológicos das radiações de alta frequência e, assim, permitem níveis que do ponto de vista biológico, podem ser inclusive genotóxicos. Chama a atenção a recorrência em diversos estudos correlacionando efeitos sobre a saúde das pessoas nas proximidades de estações base de celulares, como dores de cabeça, fadiga, náuseas, perturbação do sono e irritabilidade. Esses estudos apontam que as ondas eletromagnéticas são as responsáveis por estes sintomas, portanto relacionando-se diretamente à ideia de conforto. Em especial, tendências depressivas e um “sentimento de desconforto” são relatados em pacientes expostos a ondas eletromagnéticas (OBERFELD, 2007).

Assim, este trabalho consiste em uma pesquisa de caráter exploratório no que tange à revisão bibliográfica, e explanatório - por meio de medições de amostras em campo.. Esse trabalho irá analisar e comparar os coeficientes de atenuação de ondas eletromagnéticas determinados por cada um dos diferentes sistemas construtivos de vedação selecionados. Serão analisadas frequências tipicamente utilizadas pelas ERBs (Estações Rádio Base), que estão na faixa de 800 a 2500 MHz. Os resultados poderão servir de base para diretrizes e escopo de projetos arquitetônicos, onde a preocupação com os efeitos desta radiação seja necessária.

## 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Pode-se esperar dos sistemas construtivos de vedação atenuação eletromagnética de alta frequência? É possível classificar sistemas construtivos de vedação quanto a sua capacidade de atenuação eletromagnética de alta frequência, na faixa de micro-ondas?

## 1.2 OBJETIVO

Determinar o coeficiente de atenuação eletromagnética de alta frequência de sistemas construtivos de vedação por meio de medições em amostras em campo aberto com frequências tipicamente empregadas.

### 1.2.1 Objetivos secundários

Neste tópico são apresentados os objetivos secundários desta pesquisa.

- a) Verificar a interação de uma frequência em todas as amostras analisadas;
- b) Verificar a interação de um sistema construtivo em todas as frequências analisadas;
- c) Classificar os sistemas construtivos quanto ao seu coeficiente de atenuação de ondas eletromagnéticas considerando todas as frequências analisadas.

## 1.3 JUSTIFICATIVAS

Neste tópico, são apresentadas justificativas ambientais, sociais, econômicas e tecnológicas.

### 1.3.1 Ambientais

A possível relação entre exposição aos campos eletromagnéticos (CEMs) e danos à saúde tem suscitado uma preocupação na população exposta a eles, estimulando a produção de estudos para investigar essa hipótese, uma vez que existem evidências de risco à saúde associados a essa exposição (ICNIRP, 1998).

Para Silva (2003), vários estudos nacionais e internacionais sobre a poluição eletromagnética indicam grandes riscos para o meio ambiente e para a saúde das pessoas.

Segundo Balmori (2009), a radiação eletromagnética é uma forma de poluição ambiental na qual pode afetar a fauna e a flora. Estações Rádio Base (ERBs) localizadas em áreas com a presença de animais silvestres e plantas podem causar efeitos em algumas espécies ao considerar um período longo de exposição. Esse estudo afirmou que radiação eletromagnética e micro-ondas são uma causa potencial de declínio de população animal e deterioração da saúde de plantas.

Para o físico italiano Paolo Vecchia (2013), professor na Universidade de Roma, ex-presidente da ICNIRP e ex-consultor do Conselho do Comitê Internacional do Projeto EMF da Organização Mundial da Saúde (OMS), as medidas de precaução são extremamente políticas, visto que aceitando que os CEMs apresentam riscos à saúde, esses existem em qualquer nível de exposição e, quando se fixam limites, de forma implícita ou explícita, admite-se certo nível de risco.

A adoção do Princípio da Precaução é defendido por Martin Blank (2013), professor associado aposentado do Departamento de Fisiologia e Biofísica Nuclear da Universidade de Medicina de Columbia (Estados Unidos). Segundo Blank (2013), este princípio estabelece que a ausência de certeza científica absoluta não deverá ser utilizada como razão para o adiamento de medidas economicamente viáveis para prevenir a degradação ambiental quando houver ameaça de danos graves ou irreversíveis.

### 1.3.2 Sociais

Para Dode (2010), novos estudos indicam uma evidência crescente sobre possíveis riscos à saúde ligados a campos eletromagnéticos, visto que os seres humanos são sistemas bioelétricos, e assim, exposições ambientais a CEMs artificiais podem interagir com processos biológicos fundamentais no corpo humano. Contudo, pode-se verificar uma mudança nos paradigmas da atual sociedade sobre as formas de se relacionar com o meio, e passa-se a questionar sobre seu destino frente a todo o avanço tecnológico adquirido.

A modernidade reduz o risco geral de certas áreas e modos de vida, mas ao mesmo tempo introduz novos parâmetros de risco, pouco conhecidos ou inteiramente desconhecidos em épocas anteriores. Esses parâmetros incluem riscos de alta consequência, derivados do caráter globalizado dos sistemas sociais da modernidade. O mundo moderno tardio – o mundo do que chamo de alta modernidade – é apocalíptico não porque se dirija inevitavelmente à calamidade, mas porque introduz riscos que gerações anteriores não tiveram que enfrentar (GIDDENS, 2002).

Silva (2003) afirma que o homem moderno, em função do poder do *marketing* (indutor do consumo), encontra-se cada vez mais dependente das facilidades promovidas pela tecnologia de produção e comunicação. Atualmente, essas comodidades e facilidades decorrentes das novas tecnologias e do avanço dos meios de comunicação à distância trouxeram custos à saúde, à vida humana, ao meio ambiente, ao patrimônio urbanístico, ao consumidor e à cidadania (SILVA, 2003).

Segundo Dode (2010), evidências epidemiológicas acumuladas sugerem a existência de efeitos diversos à saúde em decorrência de exposições ocupacionais ou não, a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos, nos atuais níveis de exposição.

Embora muitos estudos apontem que a associação a CEMs gerem riscos pequenos, vários indivíduos expostos a um baixo risco podem gerar um número maior de casos do que poucos indivíduos expostos a um risco alto (ROSE, 2001 *apud* HABERMANN, 2008). Por isso, o autor defende a necessidade deste tema ser trabalhado como uma questão de saúde pública em potencial.

Em seu trabalho, Buckus e Baltrėnas (2013) relatam estudo da *Ehe Eurobarometer*, que afirma que 48% da população europeia tem preocupação com os potenciais perigos à saúde dos campos eletromagnéticos.

### 1.3.3 Econômicas

Segundo Dode (2010), o número de telefones móveis, em serviço, no mundo, em fins de 2006, era de mais de três bilhões; e, no Brasil, aproximadamente de 113 milhões. Em fins de 2009 o número de telefones celulares, no mundo, estava acima de 4 bilhões de aparelhos vendidos, e, no Brasil, em torno de 169 milhões. Dados mais recentes revelam que no mês de Abril de 2015, o Brasil apresentou 283,52 milhões de linhas ativas na telefonia móvel (ANATEL, 2015a).

Para permitir toda essa comunicação, segundo Silva (2003), as empresas de telefonia móvel brindam os consumidores com milhares de antenas de telefonia móvel e outras centenas de estações de comunicações, cujo investimento se compensa com o lucro obtido pelas empresas.

Portanto, o poder público ocupa uma posição primordial na questão da desigualdade e da vulnerabilidade, pois, onde a lógica econômica da



eficiência e rentabilidade se sobrepõe à lógica do serviço público, os governos locais tornam-se coniventes e omissos, e as condições sociais e ambientais do território são suficientemente desreguladas para permitir a ocorrência de iniquidades (VERDEIL, 1998 *apud* HABERMANN, 2008).

#### 1.3.4 Tecnológicas

Para Habermann (2008), o estudo dos CEMs no Brasil ainda é incipiente e sugere ainda maior aprofundamento de pesquisas com enfoque na exposição de CEMs sobre a população e possíveis impactos na saúde.

Segundo Silva (2003), o aperfeiçoamento e o desenvolvimento de novas tecnologias, principalmente na área das comunicações por via móvel, tem levado a opinião pública, o meio científico e a comunidade médica a debates referentes aos riscos à saúde e das incertezas científicas decorrentes da poluição eletromagnética.

De acordo com Beck (1998), as decisões econômicas corporativas, as investigações científicas, os planos de desenvolvimento e a implantação de novas tecnologias devem se abrir a um processo generalizado de discussão e devem levar a um marco legal e institucional para sua legitimação democrática.

Nas áreas urbanas, onde as tecnologias se fazem mais presentes, as diversas atividades realizadas geram efeitos sobre outros elementos, as chamadas externalidades, que são produtos adicionais, desejados ou não, dessas atividades, as quais imediatamente ou indiretamente afetam o bem-estar de indivíduos (HARVEY, 1980 *apud* HABERMANN, 2008).

Segundo Habermann (2008), nos últimos cem anos, a exposição aos CEMs gerados principalmente por equipamentos de transmissão de rádio e energia elétrica tem aumentado exponencialmente.

Mas todo esse fenômeno tecnológico veio, infelizmente, acompanhado de riscos e males à humanidade, (...). Nos últimos anos, a poluição eletromagnética cresceu assustadoramente, evidenciando que o custo-benefício não estaria a compensar os enormes avanços tecnológicos obtidos no campo da telefonia móvel (SILVA, 2003).

Para Dode (2010), a população no entorno das antenas (ERBs) recebe doses de radiação de radiofrequência constantemente e por isso, tem sido um desafio para a comunidade científica estabelecer limites seguros de exposição aos CEMs. Assim, Beck (1998) afirma que a democracia técnica ou ecológica é a utopia de uma modernidade responsável, uma visão de sociedade onde as consequências do desenvolvimento tecnológico e de mudanças da economia devam ser debatidas antes de tomar decisões cruciais.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, serão abordados trabalhos e estudos que farão o embasamento teórico e experimental desta pesquisa.

### 2.1 CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS

Martins (2000) cita que o termo campo eletromagnético é usado em todo mundo para caracterizar campos eletromagnéticos em geral, na faixa de frequência de 0 a 300 GHz. Segundo FCC OET-56 (1999), este termo também é usado para indicar a presença de energia eletromagnética em um determinado espaço.

Os CEMs podem ter fontes naturais ou artificiais. De acordo com OMS (2007), campos elétricos e magnéticos existem sempre que há fluxo de corrente elétrica – em linhas de transmissão, distribuição, cabos, fiação residencial e equipamentos elétricos.

Conforme FCC OET-56 (1999), a radiação eletromagnética pode ser descrita como ondas de energia elétrica e magnética se deslocando juntas, através do espaço.

Segundo a OMS (2006 *apud* Habermann, 2008), o espectro eletromagnético abrange uma ampla variedade de frequências, incluindo os raios-x, luz visível, radiação ultravioleta, micro-ondas, campos de radiofrequência, CEM de frequência extremamente baixa e campos estáticos.

Já Martins (2000) divide o espectro eletromagnético em determinadas faixas, para diferentes aplicações, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Divisão do espectro eletromagnético em faixas de frequência e principais utilizações

Tipos de campos	Aplicações
Campos Estáticos (0 Hz)	Trens magnéticos, aparelhos de ressonância magnética e equipamentos industriais que usam corrente contínua.
Campos de Baixa Frequência (0 Hz a 300 Hz)	Qualquer equipamento envolvido na geração, distribuição, transmissão e uso de energia elétrica na frequência industrial (50/60 Hz).

Tipos de campos	Aplicações
Campos de Radiofrequência (300 Hz a 300 GHz)	Telefones celulares, serviços de telecomunicações, monitores de vídeo, micro-ondas, radares, comunicações por satélite e radiações solares.

Fonte: Martins (2000)

### 2.1.1 Campo elétrico

Segundo Seybold (2005), o campo elétrico é definido como a razão entre o vetor de força exercido sobre uma carga unitária geralmente indicada por  $E$ . A unidade do campo elétrico é Newtons por Coulomb, o que é equivalente a Volts por metro. O vetor da densidade do fluxo é definido como o vetor que tem a mesma direção do campo elétrico e cuja força é proporcional à carga que gera o campo elétrico. Em relação à permissividade, Frenzel Jr. (2008) cita que esta é a constante dielétrica do material entre dois meios, que geralmente é o ar ou o espaço livre. Seybold (2005) afirma que a permissividade, conhecida também como permissividade relativa  $\epsilon_r$ , é expressa como um múltiplo da permissividade do espaço livre (*free space*),  $\epsilon_0$ .

Para Seybold (2005), materiais que têm elétrons livres disponíveis são chamados de condutores. Estes são caracterizados pela sua condutividade,  $\sigma$ , ou pela recíproca da condutividade, que é a resistividade,  $\rho$ . Materiais com uma condutividade muito baixa são chamados de isolantes. Um dielétrico perfeito terá zero condutividade, enquanto que a maioria dos materiais existentes terão tanto uma constante dielétrica e uma condutividade não nula.

### 2.1.2 Campo magnético

Segundo Machado (2005), campos magnéticos podem ser sempre gerados a partir de distribuições apropriadas de corrente elétrica. Para OMS (2006), os campos magnéticos se originam do movimento da corrente elétrica e ao contrário do campo elétrico.

Para Frenzel Jr. (2008), embora seja um campo de força contínua, para fins de medição e cálculo o campo magnético é representado como linhas individuais de força. Seybold (2005) cita que campo magnético estático pode ser gerado por um

fluxo de corrente contínua ou por materiais magnéticos. Os campos magnéticos geram tanto força e direção em cada ponto, sendo então definidos por um vetor,  $B$ . De maneira similar ao campo elétrico, campo magnético pode ser dividido em fluxo de densidade magnética ( $H$ ) e força do campo magnético ( $B$ ). A unidade de força do campo magnético é Ampere por metro ( $A/m$ ), e a unidade do fluxo de densidade magnética é Weber por metro quadrado ( $Wb/m^2$ ) ou Tesla. Para materiais não magnéticos, o campo magnético e a densidade do fluxo magnético são linearmente mostrados por  $\mu$ , a permeabilidade do material. A unidade da permeabilidade do material é Henry por metro e é expressa como permeabilidade relativa,  $\mu_r$ , vezes a permeabilidade do espaço livre  $\mu_0$ .

### 2.1.3 Ondas eletromagnéticas

De acordo com Martins (2000), as ondas eletromagnéticas são caracterizadas basicamente pelo seu comprimento de onda  $\lambda$  (m), frequência  $f$  (Hz) e energia  $E$  (J ou V), sendo os três parâmetros inter-relacionados.

Segundo Sadiku (2008), a existência das ondas eletromagnéticas (EMs), previstas pelas equações de Maxwell, foi inicialmente estudada por Heinrich Hertz. Seybold (2005) afirma que todas as ondas reais são esféricas, mas em uma distância suficiente da fonte, a onda esférica pode ser bem aproximada para uma onda plana com componentes de campo linear, sobre uma extensão limitada. Em ondas planas, campo elétrico, campo magnético e a direção da propagação são todas mutualmente ortogonais.

Para Lorrain, Corson e Lorrain (2000), uma onda pode ser considerada uniforme se a frente da onda é uma superfície com fase e amplitude constante. Sadiku (2008) cita que os meios utilizados para transportar energia e informação se dão através de ondas e todas as formas de ondas EMs apresentam três características principais: viajam em alta velocidade; apresentam propriedades ondulatórias e são irradiadas a partir de uma fonte, sem necessidade de um meio físico de propagação.

Segundo Seybold (2005), as ondas eletromagnéticas são capazes de se autopropagar, pois mudando o campo magnético se produz um campo elétrico e mudando o campo elétrico se produz um campo magnético. De acordo com Farahani (2008), uma onda eletromagnética consiste em um campo elétrico e

magnético viajando em uma mesma velocidade. A direção do campo magnético é definida como a polaridade da onda EM, conforme Figura 1.

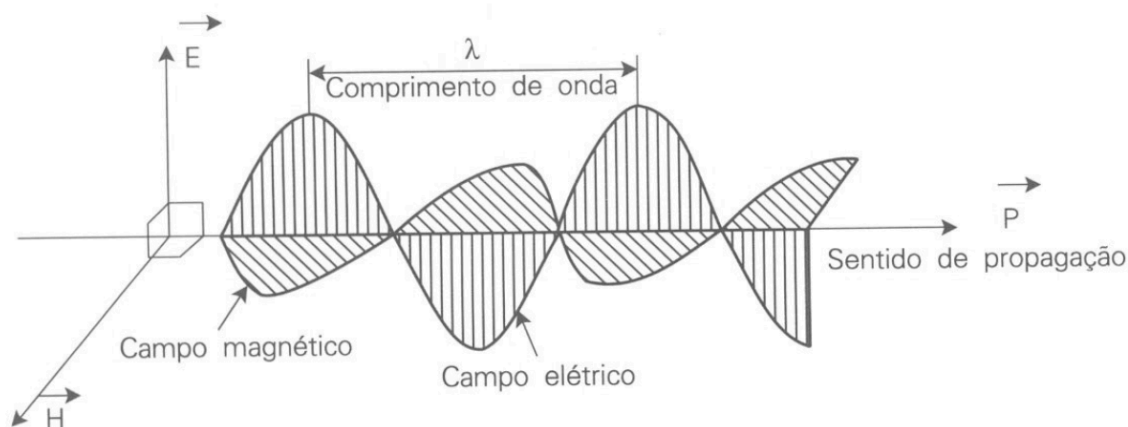


Figura 1: Componentes de uma onda eletromagnética polarizada verticalmente  
Fonte: Nascimento (1992)

Para Seybold (2005), a polarização da onda é definida como a orientação do plano que contém o campo de E. Este produto vetorial, é chamado de vetor *Poynting*. Quando o vetor *Poynting* é dividido pelas características de impedância do espaço livre (*free space*), o vetor resultante dá tanto a direção da propagação quanto a densidade de potência.

Um grande número de frequências visualizadas em ordem numérica pode ser denominado como espectro e conforme a frequência cresce, a energia EM torna-se perigosa ao homem (SADIKU, 2008). A Tabela 2 mostra as faixas de frequência.

Tabela 2: Designações de bandas de frequência

Banda	Designação	Intervalo de Frequência
Frequência extremamente baixa	ELF	< 3 kHz
Frequência muito baixa	VLF	3 – 30 kHz
Frequência Baixa	LF	30-300 kHz
Frequência média	MF	300 kHz – 3 MHz
Alta Frequência	HF	3 – 30 MHz
Frequência muito alta	VHF	30 – 300 MHz
Frequência ultra-alta	UHF	300 MHz – 3 GHz
Frequência super alta	SHF	3 – 30 GHz
Frequência extremamente alta	EHF	30 – 300 GHz

Fonte: Seybold (2005)

De acordo com IBN (2011), quanto mais elevada a frequência da radiação eletromagnética, mais se fundem os campos elétricos e magnéticos entre si, se convertendo em ondas eletromagnéticas ou alta frequências (HF – *High Frequency*). As altas frequências começam a partir de 30kHz e chegam até 300 GHz. Como forma de comparação, as ondas eletromagnéticas naturais atribuídas à radiação cósmica está na faixa de micro-ondas em torno de 200 GHz.

Ondas de rádio, de calor, luz, raios X e raios gama são radiações todas de natureza eletromagnética. No entanto, a fonte de radiação, os detectores utilizados para cada tipo de radiação assim como os modos de interação com a matéria variam drasticamente à medida que a frequência muda de ordem de grandeza (LORRAIN, CORSON, & LORRAIN, 2000).

Segundo Lorrain, Corson e Lorrain (2000), o espectro eletromagnético vai das ondas de rádio de grande comprimento à radiação gama de origem cósmica e com alta energia. As ondas de rádio têm frequências da ordem de 100 Hz e comprimentos de onda da ordem de 3 mm. O espectro magnético estende-se por 22 ordens de grandeza, como pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3: O espectro eletromagnético

Fenômeno	Exemplo de Usos	Intervalo de Frequência Aproximado
Raios Cósmicos	Física, Astronomia	Acima de $10^{14}$ GHz
Raios Gama	Tratamento de Câncer	$10^{10} - 10^{13}$ GHz
Raios X	Exames dos Raios-X	$10^8 - 10^9$ GHz
Radiação Ultravioleta	Esterilização	$10^6 - 10^8$ GHz
Luz Visível	Visão Humana	$10^5 - 10^6$ GHz
Radiação Infravermelha	Fotografia	$10^3 - 10^4$ GHz
Micro-ondas	Radar, Estações Repetidoras de Micro-ondas, Comunicações por Satélite	3 – 300 GHz
Ondas de Rádio	Televisão UHF, Televisão VHF, rádio FM	470 – 806 MHz 54 – 216 MHz

Fonte: Sadiku (2008)

Junto à intensidade do campo e a sua frequência, existe ainda o fenômeno da modulação (IBN, 2011). Por modulação se entende a incorporação de informação a uma onda de alta frequência. Segundo Queiroz (2011), a onda eletromagnética de RF, independente da sua frequência, é na realidade apenas uma onda portadora de

informação a ser transmitida. A radiação de alta frequência no dia a dia é menos perigosa pela sua quantidade (intensidade do campo) que por sua qualidade (a modulação de baixa frequência). As emissoras de alta frequência estão moduladas de formas muito diferentes (IBN, 2011), por exemplo:

1. Frequência modulada (FM): radiodifusão por ondas ultracurtas ou aparelhos radiotransmissores portáteis.
2. Amplitude modulada (AM): emissoras de onda curta, média e alta.

Um outro tipo de modulação codificada por pulsações, chamada simplesmente de “pulsada”, pode ser encontrada nas atuais redes de telefonia móvel digital, no radar, fornos de micro-ondas e outros sistemas emergentes como *Bluetooth* e *WLAN* (IBN, 2011).

A modulação no âmbito das ondas curtas, médias e altas quase sempre é realizada pela amplitude. A amplitude da vibração portadora da alta frequência se modifica mediante os sinais de baixa frequência da mensagem. Na onda ultra curta se modula a frequência. Neste caso, se modifica a frequência da onda portadora em consonância com a mensagem. No caso da modulação pulsada, a notícia se “empacota” em vários segmentos temporários curtos e periódicos que se transmitem em feixes de dados singulares de baixa frequência e se “desempacotam” na recepção (IBN, 2011).

Segundo IBN (2011), a intensidade do campo ou densidade da radiação aumenta ou diminui em função de alguns fatores, se destacando:

- a) A potência das fontes emissoras;
- b) Natureza, estrutura e orientação das fontes emissoras;
- c) Reflexões da radiação no entorno imediato;
- d) Natureza, estrutura e blindagem do edifício afetado;
- e) Características do entorno, da paisagem e do tempo meteorológico;
- f) Distância da fonte do campo.

#### 2.1.4 Micro-ondas e radiofrequência (RF)

Para Seybold (2005), radiofrequência (RF) é qualquer onda eletromagnética com frequência entre 1 MHz e 300 GHz. Porém, é comum encontrar definições em que o alcance da RF varia de 1 MHz até 1 GHz, enquanto que a variação de 1 a 30 GHz é

considerada micro-ondas e entre 30 e 300 GHz considerada como a região de onda milimétrica (MMV - *milimeter-wave*).

Já para Sadiku (2008), as micro-ondas são ondas EMs cujas frequências estão aproximadamente entre 300 MHz e 1.000 GHz. A região superior das frequências de micro-ondas faz limite com o espectro ótico, justificando sua maior similaridade em comportamento com o raio luminoso do que com as ondas EMs de mais baixa frequência (SADIKU, 2008).

Atualmente existem três maneiras de transmitir milhares de canais de comunicação a longas distâncias:

- a) Enlaces de micro-ondas;
- b) Cabos coaxiais;
- c) Fibras óticas.

As características que tornam as micro-ondas atrativas para as comunicações incluem a banda larga disponível (grande capacidade de transmissão de informação) e as propriedades diretivas dos comprimentos de onda curtos (SADIKU, 2008).

Normalmente, um sistema de micro-ondas consiste de um transmissor (que inclui um oscilador de micro-ondas, guias de onda e uma antena transmissora) e de um subsistema de recepção (que inclui uma antena receptora, uma linha de transmissão ou guia de onda, amplificadores de micro-ondas e um receptor) (SADIKU, 2008).

De acordo com Queiroz (2011), dentro das aplicações das ondas eletromagnéticas de RF, se destacam:

- a) Serviços de radiodifusão: TV *Video Home System* (VHF), *Ultra High Frequency* (UHF), *vídeo digital*, *rádios AM e FM*;
- b) Radioastronomia;
- c) Comunicação de dados;
- d) Radiocomunicação móvel, fixa, ponto a ponto, portátil;
- e) Telefonia móvel celular.

## 2.2 PRINCIPAIS USOS DE RADIOFREQUÊNCIA (RF) E MICRO-ONDAS NA COMUNICAÇÃO CIVIL

De acordo com FCC OET-56 (1999), o mais importante uso da energia de RF está nos serviços de telecomunicações para a sociedade, para a indústria e para o



governo. Transmissão de rádio e televisão, telefones celulares, telefones sem fio, comunicações por satélite entre muito outros representam um pouco das muitas aplicações da energia de radiofrequência para as telecomunicações.

### 2.2.1 Telefonia móvel celular

Segundo Dode (2010), a telefonia celular é um sistema de radiocomunicação, que envolve a radioescuta e a rádio transmissão entre um conjunto de antenas fixas, espalhadas pela região coberta pelo sistema. Ainda segundo a autora, fazem parte deste sistema os telefones móveis, desde que dentro de uma área abrangida por uma célula, ou seja, uma área geográfica iluminada por uma ERB, dentro da qual a recepção do sinal atende às especificações do sistema.

Para Nascimento (1992), em virtude do grande número de estações transmissoras, é necessário que todos os sinais transmitidos sejam distinguidos entre os demais. A característica que faz esta distinção é a frequência do sinal, ou faixa de frequências.

Segundo Dode (2010), a telefonia celular começou a ser mais utilizada no Brasil na década de 90, com o aparecimento do AMPS (*Advanced Mobile Phone Service*), seguido pelos sistemas celulares digitais TDMA (*Time Division Multiple Access*) e CDMA (*Code Division Multiple Access*). É utilizado ainda junto ao AMPS, e ao digital TDMA, o Sistema CDMA e o Sistema GSM. De acordo com consulta realizada no sistema da ANATEL (2015b), as faixas de frequências em que as operadoras têm permissão de operar podem ser vistas na Tabela 4:

Tabela 4: Faixas de frequências utilizadas no Brasil

Faixa	Transmissão da ERB em direção à estação móvel / <i>Down-link</i> (MHz)	Transmissão da estação móvel em direção à ERB / <i>Up-link</i> (MHz)
A	869 a 880	824 a 835
	890 a 891,5	845 a 846,5
B	880 a 890	835 a 845
	891,5 a 894	846,5 a 849
D	955 a 957,5	910 a 912,5
	1805 a 1820	1710 a 1725
E	957,5 a 960	912,5 a 915
	1835 a 1850	1740 a 1755
F	2110 a 2125	1920 a 1935

G	2125 a 2135	1935 a 1945
H	2135 a 2145	1945 a 1955
I	2145 a 2155	1955 a 1965
J	2155 a 2165	1965 a 1975
L	1975 a 1980	1895 a 1900
M	1850 a 1860	1755 a 1765
P	2620 a 2630	2500 a 2510
V	2650 a 2660	2530 a 2540
	2660 a 2670	2540 a 2550
W	2630 a 2650	2510 a 2530
X	2670 a 2690	2550 a 2570

Fonte: ANATEL (2015b)

Ainda de acordo com a Tabela 4, as faixas disponíveis para a tecnologia 4G estão compreendidas entre as faixas P e X. Porém, segundo Aquino (2015), está previsto para Outubro ou Novembro de 2015 o leilão das sobras de frequências para a banda larga fixa e móvel, podendo incluir a faixa de 700 MHz para a tecnologia 4G.

Para Goulart (2005) o funcionamento de um sistema de telefonia celular consiste em dividir a área de serviço em regiões (*clusters*), que utilizam todo o espectro da frequência disponível. Os *clusters* são, por sua vez, subdivididos em regiões menores chamadas células.

Nestes sistemas, as frequências utilizadas em uma célula podem ser reutilizadas em outras células desde que as mesmas pertençam a *clusters* diferentes e sejam suficientemente afastadas para minimizar as interferências. Desta forma, elimina-se a restrição do sistema de comunicações móveis que é o pequeno espectro de frequência destinado ao sistema (GOULART, 2005).

Conforme Salomão (2005), cada célula possui uma antena de transmissão e recepção, também conhecida como estação rádio base (ERB), para fazer a comunicação entre o equipamento celular móvel e um comutador, que tem a função de encaminhar o tráfego de chamadas entre antenas, como pode ser visto na Figura 2.

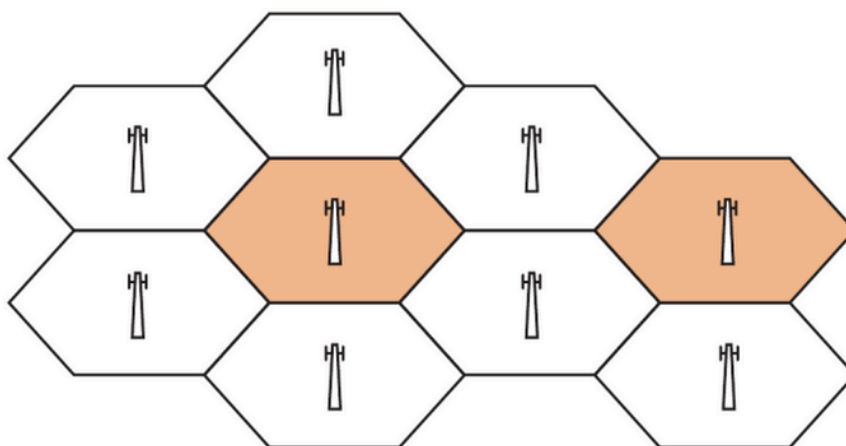


Figura 2: Malha hexagonal de torres de telefonia celular  
Fonte: Wentworth (2009)

Segundo Dode (2010), nas células omnidirecionais, a ERB é equipada com uma antena omnidirecional formando uma área de cobertura circular, cujo centro é a própria ERB.

Durante uma chamada, conforme aumenta a distância entre a unidade móvel do assinante (celular) e a estação rádio base, o sinal torna-se fraco e aumentam os ruídos provenientes de interferências da vizinhança. Para evitar isto, o sistema faz uma transferência da chamada de uma antena para outra adjacente que esteja mais próxima do usuário. Esta transferência (denominada *handoff*) deve ser realizada para que o assinante não perca a qualidade do sinal enquanto estiver realizando uma chamada. Quando o assinante se move entre antenas atendidas por um mesmo comutador, a transferência é conhecida como *handoff* simples. Quando o assinante se move entre antenas atendidas por comutadores diferentes tem-se então o denominado *roaming* ou *handoff* complexo (SALOMÃO, 2005).

Segundo Alencar (2001, *apud* Dode, 2010), nas células setorizadas, a ERB é equipada com antenas diretivas, de tal forma que cada uma cubra determinada área.

A antena geralmente tem um padrão direcional. Antenas omnidirecionais irradiam potência uniformemente em todas as direções em um plano horizontal (apenas em um dado setor). Assim, devido ao padrão direcional da antena, antenas setorizadas reduzem a interferência entre as mesmas frequências e são mais adequadas em cidades onde grande fluxo de informação são transmitidos (BUCKUS & BALTRÊNAS, 2013).

De acordo com Buckus e Baltrėnas (2013), um canal dos transmissores das ERBs irradia continuamente a mesma potência independente do fluxo de informação transmitida. Outros canais dos transmissores das ERBs transmitem informações apenas quando necessário e sua potência pode ser regulada.

Para Dode (2010), são utilizadas algumas nomenclaturas que determinam a dimensão da célula pela densidade do tráfego eletrônico:

- a) Macro células: cobrem grandes áreas geográficas;
- b) Micro células: cobrem pequenas áreas geográficas;
- c) Picocélulas: ambientes restritos, geralmente internos.

Quanto maior o tráfego, menor será a célula correspondente, devido à limitação de canais por célula, como pode ser observado na Figura 3.

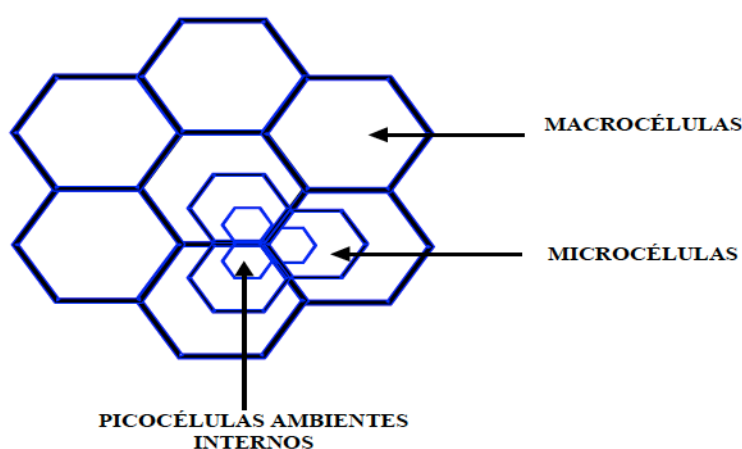


Figura 3: Divisão de células  
Fonte: Nascimento (2000 *apud* Dode, 2010)

Segundo Freitas e Gomes (2010), para efetuar a cobertura dos sinais com boa qualidade e atender a demanda de tráfego de uma determinada célula, é preciso instalar várias antenas (criando novas células) de baixa potência dos transmissores nos locais onde se deseja aumentar a eficiência da cobertura. A Figura 4 apresenta esta situação.

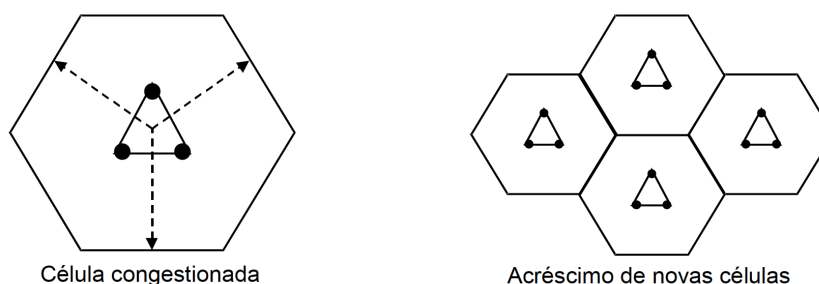


Figura 4: Divisão de uma célula em diversas outras  
Fonte: Nascimento (2000 *apud* Dode, 2010)

Contudo, deve-se evitar a sobreposição da área de cobertura entre duas ERBs para que não ocorra interferência entre as estações (GOULART, 2005). Caso haja uma sobreposição muito pequena, podem ocorrer áreas sem cobertura de sinal.

Para Buckus e Baltrènas (2013), como é necessária uma ampla cobertura nas áreas rurais, são construídas estações base suficientemente altas. Quando um local está afastado de uma cidade, ERB com altura de 40 m, 60 m e 80 m são construídas.

Segundo Dode (2010), é possível fazer a divisão de uma célula setorizando células existentes, por meio da substituição das antenas omnidirecionais por antenas direcionais de 60° ou 120°.

Para Tavares (2001), a constituição do sistema de celular é composto por:

- a) Centro de Comutação e Controle (CCC);
- b) Estação Radiobase (ERB);
- c) Estação ou Terminal Móvel (EM ou TM);
- d) Controladoras das ERB e;
- e) Estação celular.

De acordo com Dode (2010), a Central de Comutação e Controle (CCC) é a central de comutação de serviço celular, considerada o coração do sistema móvel celular. Esta é o elemento de coordenação central de toda a rede celular, estabelece a interface com a rede de comutação pública, comuta chamadas originadas ou terminadas na estação móvel, entre outros, de acordo com a Figura 5.

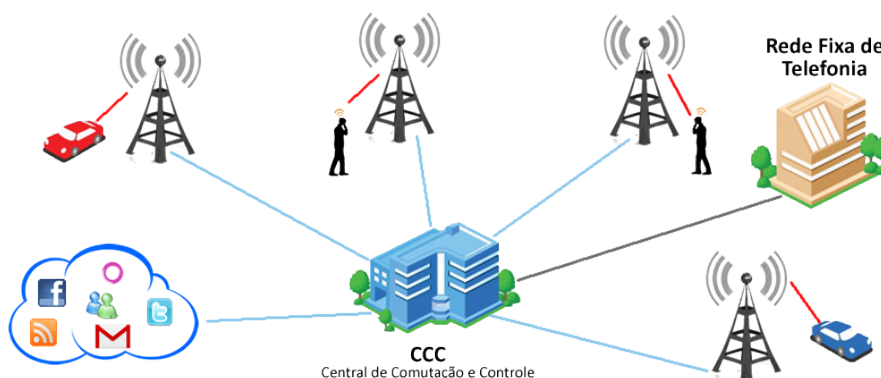


Figura 5: Esquema de funcionamento de telefonia celular  
Fonte: TELEBRASIL (2014)

Shinoda (2000) corrobora citando que a CCC controla o processamento da chamada e gerencia as atividades da tarifação. Conexões de rádio trafegam informações entre as estações móveis e as ERBs. Conexões de micro-ondas ou cabos estabelecem uma alta taxa de dados entre as ERBs e a CCC.

#### 2.2.1.1 Estação Radio Base (ERB)

Segundo Dode (2010), a ERB é constituída de um conjunto de antenas e um armário, onde ficam instalados os equipamentos de transmissão, recepção e demais periféricos e equipamentos. A ERB está conectada à central de comutação e controle celular por meio de cabos PCM (*Pulse-code-modulation*), fibra óptica ou rádio digital. Por meio destes são transmitidos os canais de voz, permitindo que os celulares se comuniquem com outros telefones celulares localizados dentro da área de cobertura de outra ERB, ou com telefones fixos (DODE, 2010).

Para Nascimento (1992), as principais características das antenas e equipamentos de radiotransmissão podem ser vistas na Tabela 5.

Tabela 5: características principais de antenas e equipamentos de rádio

Antenas	Transmissores	Receptores
Frequência da operação	Frequência da operação	Frequência da operação
Ganho	Potência de saída	Sensibilidade
Diretividade	Atenuação de harmônicos	Seletividade
Impedância característica	Impedância de saída	Impedância da entrada
Tipo de polarização	Tipo de modulação	Tipo de modulação

Fonte: Nascimento (1992)

De acordo com Dode (2010), a ERB compreende ainda as seguintes unidades funcionais, ilustradas na Figura 6:

- a) Grupo de canais de rádio (GCR): compreende canais de voz e controle;
- b) Interface rádio central (ICR): funciona como adaptador dos sinais entre a CCC e a ERB;
- c) Combinador de antenas;
- d) Antenas e fontes de alimentação.

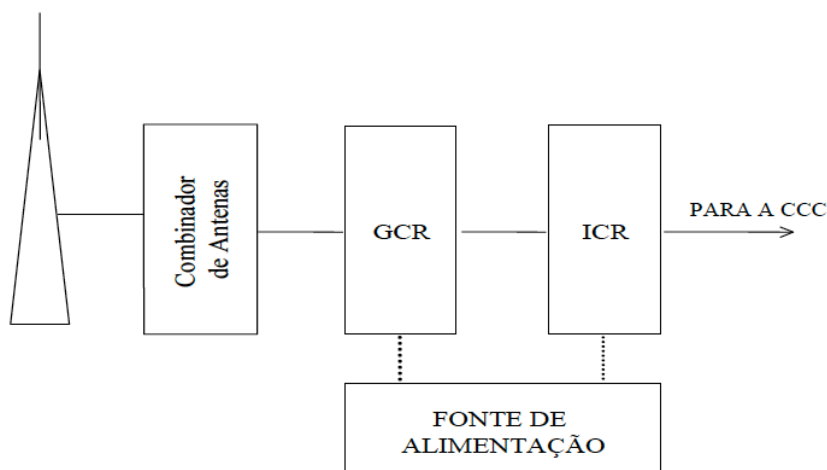


Figura 6: Composição da ERB  
 Fonte: Alencar (2001 apud Dode, 2010)

Ainda segundo Dode (2010), estas possuem um pequeno ângulo de inclinação em relação à horizontal, conhecido como ângulo de “*tilt*”. Na Figura 7, observa-se o lóbulo de radiação principal e a existência de outros lóbulos, conhecidos como secundários, em outros ângulos.

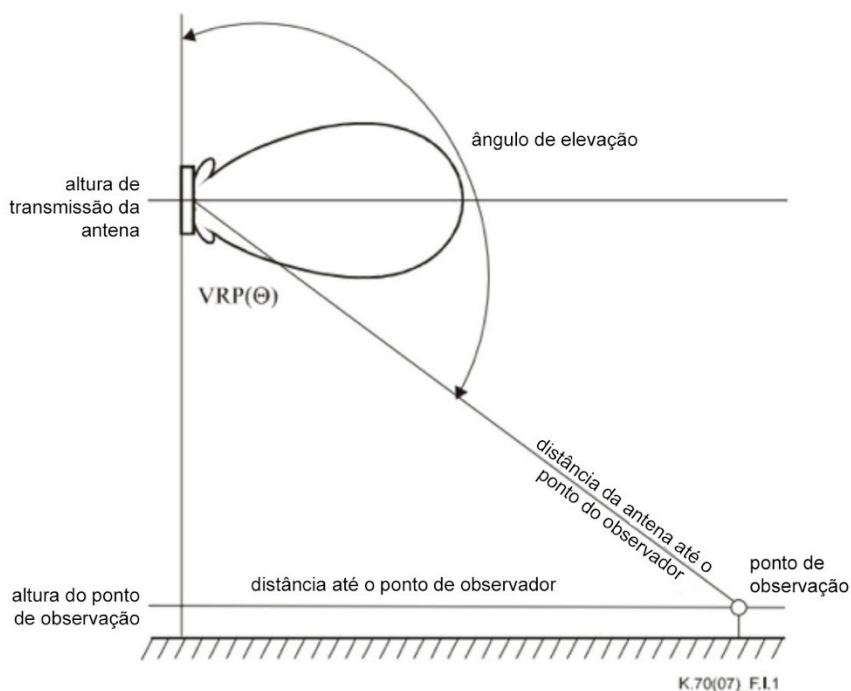


Figura 7: Desenho esquemático de uma ERB  
 Fonte: ITU K.70 (2007)

Conforme Goulart (2005), a antena pode conter dois tipos de *tilt*: o *down-tilt* (inclinação para baixo) e o *up-tilt* (inclinação para cima). Abaixo, a Figura 8 e a

Figura 9 apresentam a distribuição HRP (*Horizontal Radiation Pattern* ou Padrão de Radiação Horizontal) e VRP (*Vertical Radiation Pattern* ou Padrão de Radiação Vertical) respectivamente, de uma típica antena GSM 900 (*Global System for Mobile Communications* ou Sistema Global para Comunicações Móveis).

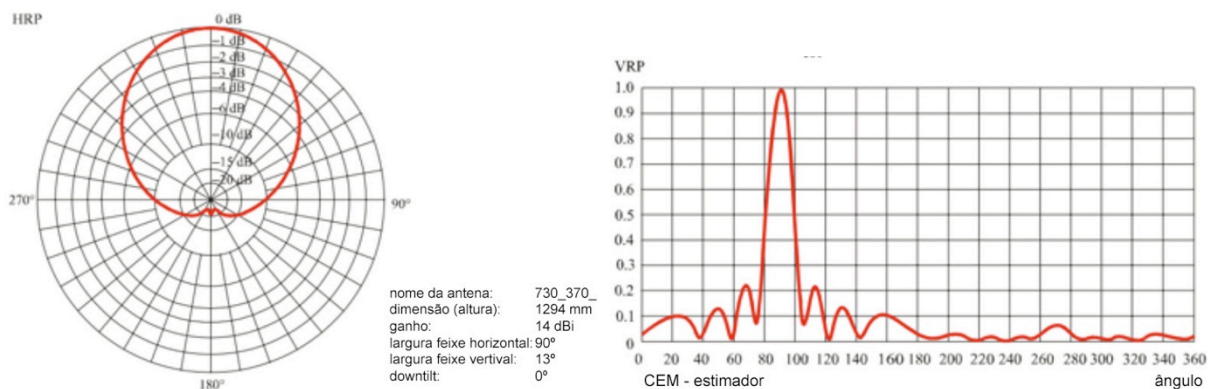


Figura 8: HRP diagrama ERB GSM 900  
Fonte: ITU K.70 (2007)

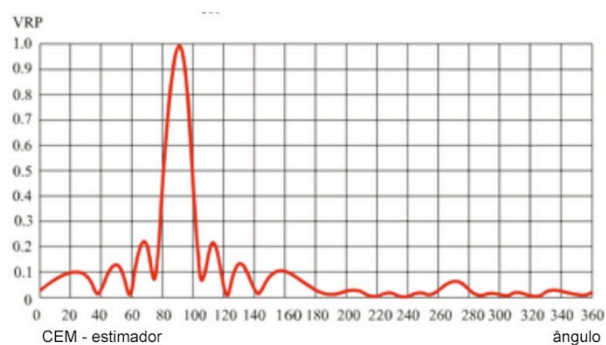


Figura 9: VRP diagrama ERB GSM 900  
Fonte: ITU K.70 (2007)

Para Dode (2010), os principais parâmetros para analisar as radiações eletromagnéticas oriundas das antenas são as suas características técnicas, descritas abaixo:

- a) Frequência ou faixa de frequência de utilização;
- b) Polarização;
- c) Diagrama de irradiação;
- d) Largura de feixe e lóbulos laterais;
- e) Diretividade e ganho;
- f) Impedância de entrada;
- g) Largura da banda e;
- h) *Downtilt* (inclinação do feixe principal).

Na Tabela 6 é possível verificar alguns atributos de algumas ERBs conforme frequências diferentes.



Tabela 6: Principais atributos das ERBs

	GSM 900	GSM 1800/ 1900	CDMA IS-95	W-CDMA/ UMTS
Área geográfica	Mundo	Mundo	EUA	Mundo 869 – 894
Frequência transmissão (MHz)	935 – 960	1805 – 1880 1930 – 1990	870 – 890	1930 – 1990 2110 – 2170 2620 - 2690
Transmissor* de potência nominal (W)	10 – 60	10 – 40	10 – 20	1 – 80 por transportador
Potência nominal/ coeficiente médio de energia	1,0	1,0	1,0	1,0
Altura da antena (m)	25 – 50	25 – 50	25 – 50	35 – 50
Ganho da antena (dBi)	7.5 – 18	8 – 21	8.5 – 17.5	12 – 18
VRP (V/V)	0,4 – 0,03	0,3 – 0,02	0,3 – 0,03	0,15 – 0,05
VRP <i>downtilt</i> (deg.)	0 – 15	0 – 10	0 – 15	0 – 8
EIRP (W) **	100 - 800	30 - 800	800	800

\* Por transportador ou por transmissor

\*\* atenuação de 3 dB

Fonte: ITU K.70 (2007)

### 2.2.2 Redes de transmissão WLAN

A WLAN (*Wireless Local Area Network*) é uma rede de radiotransmissão para computadores e acesso à internet. Servem principalmente para transmissão sem fio de dados entre computadores ou laptops. Segundo IBN (2011), esses sistemas de transmissão funcionam em uma gama de frequências de 2,4 a 2,5 GHz. Estas emitem geralmente um sinal permanente com uma frequência de pulsação cerca de 2, 10 ou 15 Hz, mesmo quando não há troca de dados.

### 2.2.3 Emissoras de rádio e televisão digital

Segundo IBN (2011), a partir de 2002 se implantou a tecnologia digital de radiodifusão, podendo ser citados os:

- a) T-DAB (rádio digital), cujas frequências (similares a ondas pulsadas) variam de 223-240 MHz e 1,452 a 1,467 GHz.
- b) T-DVB (televisão digital), cujas frequências (não pulsada) variam de 47-68 MHz, 174-223 MHz, 470-790 MHz e 814-838 MHz.

## 2.3 EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO DE ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

A caracterização de um material como condutor ou dielétrico é baseada na propriedade dominante do material (SEYBOLD, 2005).

De acordo com IBN (2011), as ondas eletromagnéticas podem ser medidas com diversos equipamentos, como os analisadores de espectro, receptores de banda larga, antenas de medição ou medidores de sinais ou de modulação.

### 2.3.1 Analisadores de espectro

Os analisadores de espectro, conforme IBN (2011), detectam a intensidade da radiação, a potência do campo, a frequência e a modulação com grande precisão e seletividade

As unidades de medida utilizadas para realizar diversas medições são:

- a)  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ : para densidade de radiação (ou densidade de potência);
- b)  $\text{V}/\text{m}$ : para a densidade do campo elétrico e
- c)  $\text{A}/\text{m}$ : para a densidade do campo magnético ou Volts para a tensão das antenas.

Estes permitem visualizar com precisão, no monitor ou conectados a um computador, quais picos se produzem em cada espectro em uma ampla variação de frequências e relacionar exatamente os valores medidos com determinadas emissoras (IBN, 2011). Ao mesmo tempo indicam a intensidade do campo, o tipo de modulação e muitos outros dados.

### 2.3.2 Linhas de transmissão

Frenzel Jr. (2008) cita que a configuração de condutores de uma linha de transmissão é tal que os campos elétricos e magnéticos ficam contidos internamente.

A proximidade dos condutores mantém o campo elétrico concentrado principalmente no dielétrico da linha de transmissão. Os campos magnéticos, em sua maioria, cancelam um ao outro. Os campos elétricos e magnéticos se estendem para fora da linha de transmissão, mas a pequena quantidade de radiação que ocorre é extremamente ineficiente (FRENZEL JR., 2008).

Desta forma, o cabo coaxial é a linha de transmissão mais utilizada pela maioria das aplicações, em virtude da propriedade deste não irradiar qualquer energia eletromagnética. Para Wentworth (2009), esta linha de transmissão propicia o confinamento dos campos eletromagnéticos ao dielétrico existente entre os condutores. Sobre o isolador está um segundo condutor por meio de uma trança tubular ou escudo feito com muitos fios. Um revestimento externo de plástico protege e isola a trança. Em relação aos conectores coaxiais, a utilização destes depende do tipo e do tamanho do cabo, da frequência de operação e aplicação. Estes podem ser dos tipos: PL-259, BNC, F, SMA e N.

Frenzel Jr. (2008) apresenta ainda que um par de condutores conduzindo uma corrente não é considerado uma linha de transmissão a menos que tenha um comprimento de pelo menos  $0,1 \lambda$  da frequência do sinal. Abaixo de cerca de 6 GHz, cabos coaxiais especiais podem ser utilizados de forma eficaz se as distâncias entre a antena e o receptor ou transmissor tiver menos de 12,7 m.

### 2.3.3 Antenas

Para Sadiku (2008), ocorre irradiação quando as ondas EMs se propagam para longe das fontes que deram origem a estas. A emissão de ondas EMs no espaço é obtida, de forma eficiente, com a ajuda de estruturas condutoras ou dielétricas chamadas de antenas.

A antena é um elemento fundamental em qualquer sistema de comunicação sem fios por ondas eletromagnéticas, e funciona como interface entre os elementos do sistema que guiam a onda e o meio no qual ela se propaga. Servem tanto para transmissão quanto recepção de ondas, e suas dimensões físicas são normalmente da ordem de grandeza do comprimento de onda associado à frequência do sinal a ser transmitido ou captado (DODE, 2010).

Segundo Wentworth (2009), o formato e o tamanho destas estruturas condutoras de corrente determinam a quantidade de energia irradiada, assim como a direção da radiação. Para Seybold (2005), todo sistema sem fio precisa de uma antena para irradiar e receber energia eletromagnética. A antena é necessária para melhorar a eficiência da irradiação e o casamento de impedâncias, visando minimizar reflexões (Figura 10). Pode ser usada ainda tanto para transmitir, quando para receber energia EM (SADIKU, 2008).

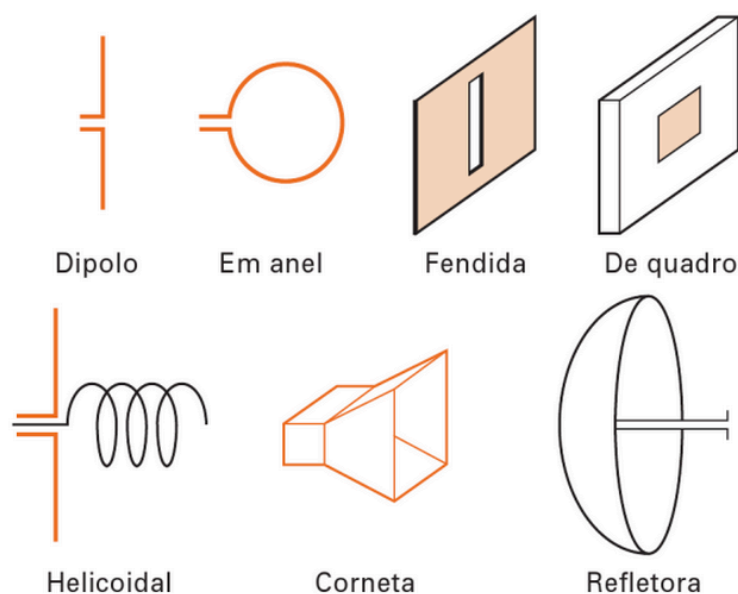


Figura 10: Antenas comuns de elemento único  
Fonte: Wentworth (2009)

Para Farahani (2008), uma antena recebe sinais elétricos de um transmissor e os converte em ondas eletromagnéticas. A eficiência de uma antena realizando esta conversão, conhecida como eficiência de radiação da antena (*antenna radiation efficiency*), é definida pela relação de potência dissipada no espaço com a potência recebida da antena pelo transmissor.

Para Frenzel Jr. (2008), a irradiação ideal acontece se um segmento de fio de transmissão convertido em uma antena tiver um comprimento de um quarto de comprimento de onda na frequência em uso. Desta maneira, a antena tem um comprimento de onda de metade do comprimento de onda da frequência em uso.

São características das antenas, segundo (Sadiku, 2008):

- Diagrama de irradiação;

- Intensidade da irradiação;
- Ganho diretivo;
- Ganho de potência.

O diagrama de irradiação de uma antena é um gráfico de sua irradiação na zona distante Sadiku (2008). Usualmente indica a intensidade de potência ou a intensidade do campo elétrico. Segundo Wentworth (2009), caso a antena irradie ondas eletromagnéticas igualmente em todas as direções, será designada antena isotrópica. Em contraste a uma antena isotrópica, a antena direcional irradia e recebe sinais, preferencialmente em alguma direção. Gráficos tridimensionais de diagramas de irradiação costumam ser difíceis de ser gerados, sendo comum, então, fazer seções destes e assim gerar gráficos dimensionais, conforme Figura 11.

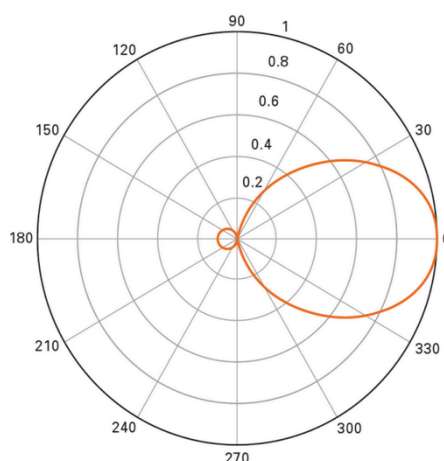


Figura 11: Gráfico de irradiação polar de uma antena  
Fonte: Wentworth (2009)

De acordo com Frenzel Jr. (2008), as antenas geram dois conjuntos de campos (Figura 12):

- Campo próximo (ou campo de Fresnel): descreve a região diretamente em torno da antena na qual os campos enfraquecem com a distância da antena. Não podem ser caracterizados como ondas;
- Campo distante (zona de Fraunhofer): está a 10 comprimentos de onda da antena e é a composição dos campos elétricos e magnéticos. Sua intensidade diminui com o quadrado da distância. Este campo é o mais utilizado em aplicações *wireless*.

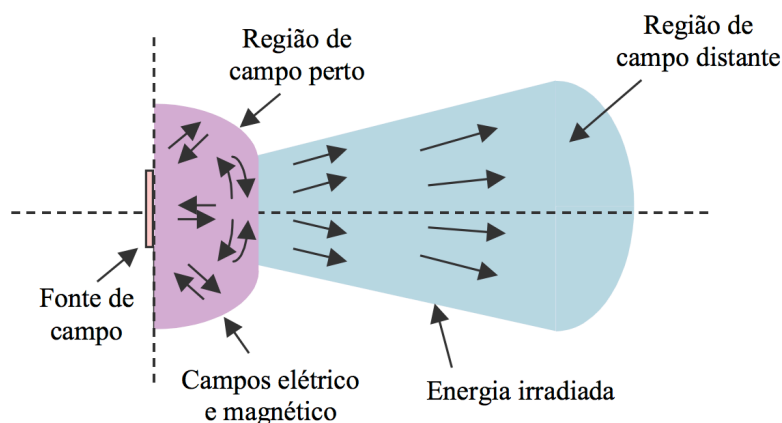


Figura 12: Regiões de campo próximo e campo distante  
 Fonte: Paulino (2001)

O ganho diretivo de uma antena é uma medida de concentração da potência irradiada em uma determinada direção, cita Sadiku (2008).

Segundo Seybold (2005), para uma antena real, existirão certos ângulos de radiação, nos quais fornece maior densidade de potência que outros. A diretividade de uma antena é definida como a proporção da densidade de potência radiada em uma distância  $d$ , na direção de intensidade máxima na densidade de potência média acima de todos os ângulos na distância,  $d$ . Para ITU K.52 (2004), o ganho de uma antena é a razão entre a potência radiada pela unidade de ângulo sólido, multiplicado pela razão entre  $4\pi$  e a potência total radiada. O ganho geralmente é expresso em dBi, para uma antena isotrópica.

Frenzel Jr., (2008) cita a importância da polarização de uma onda eletromagnética. Esta pode ser polarizada verticalmente (campo elétrico perpendicular à Terra) e horizontalmente (campo elétrico paralelo à Terra). Para uma eficiente transmissão e recepção, as antenas devem estar na mesma polarização.

De acordo com Frenzel Jr. (2008), em aplicações de micro-ondas é recomendado o uso de antenas altamente diretivas, de alto ganho, pois na transmissão de sinal em visada direta não há desperdício de energia irradiada, compensando problemas de ruído.

Uma antena dipolo é uma das mais simples e utilizadas antenas, cita Farahani (2008). Esta consiste em dois fios, com tamanho que varia aproximadamente um

quarto do comprimento de onda utilizado de uma determinada frequência. As antenas dipolos podem assumir vários formatos, como pode ser visto na Figura 13.

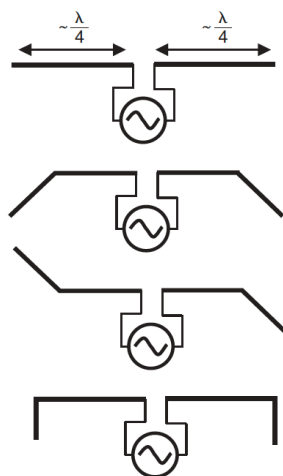


Figura 13: Formatos frequentemente utilizados de uma antena dipolo  
Fonte: Farahani (2008)

Segundo Buckus e Baltrėnas (2013), a radiação transmitida pelas antenas dos aparelhos de celular ocorre por antenas monopolo e dipolo. Frenzel Jr. (2008) cita que estas antenas, incluindo variações como as antenas gravata-borboleta e *Yagi*, podem ser utilizadas em frequências baixas (de micro-ondas), ou seja, menos de 2 GHz.

Frenzel Jr. (2008) cita que o uso de outra antena, tipo corneta (Figura 14), evita o descasamento de impedância e perda de potência do sinal irradiado. Quanto maior a corneta, maior seu ganho e diretividade. O ganho e a diretividade de uma corneta são uma função direta de suas dimensões.

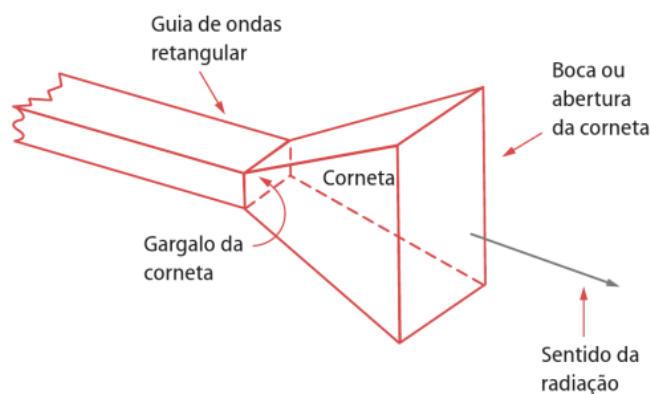


Figura 14: Antena corneta básica  
Fonte: Frenzel Jr. (2008)

#### 2.3.4 Impedância de uma antena

De acordo com Frenzel Jr. (2008), a relação de intensidade do campo elétrico de uma onda irradiada com a intensidade do campo magnético é uma constante chamada de impedância do espaço ou impedância de onda, e tem o valor de 377 ohms.

Um parâmetro importante no desempenho de uma antena é seu componente resistivo, também chamado de resistência da radiação (SEYBOLD, 2005). Conforme Frenzel Jr. (2008), essa resistência não dissipa energia em forma de calor, e sim em forma de energia eletromagnética irradiada.

Segundo Farahani (2008), a impedância de uma antena também é conhecida como resistência de radiação (*radiation resistance*). A impedância de uma antena é a mesma durante os modos de recebimento e transmissão de sinais.

Para Seybold (2005), em antenas, a impedância *driving point* também inclui perdas resistivas dentro da antena e outras impedâncias complexas como os cabamentos e os conectores dentro da antena. Quando as impedâncias da antena e circuito não estão combinadas, o resultado é uma redução da eficiência da antena, pois parte do sinal é refletido de volta à fonte.

Quando o comprimento de uma linha de transmissão é maior do que algumas vezes o comprimento de onda da frequência do sinal, os dois condutores paralelos da linha de transmissão aparecem com uma impedância complexa. Os fios apresentam indutância em série considerável, cuja reatância é significativa em altas frequências (FRENZEL JR., 2008).

Conforme Farahani (2008), a impedância equivalente de uma antena varia com a frequência, e como um receptor é projetado para ter uma performance ótima com uma determinada impedância de uma antena, é importante saber se a impedância da antena é próxima o suficiente para o valor recomendado pelo fabricante. Para esta quantificação, é definida uma taxa da amplitude máxima de tensão sobre a amplitude mínima de tensão: *VSWR (voltage standing wave ratio)*. Quando existe uma diferença de impedância entre a fonte e a carga, uma porção do sinal retorna e cria uma onda estacionária indesejada. O cenário ideal de *VSWR* é 1 (um), pois se considera que não há sinal estacionário, como se pode observar na Tabela 7.



Tabela 7: VSWR

Valor de VSWR	Significado
1	Impedância da antena é exatamente igual ao valor nominal
1 a 2	Impedância da antena é muito próxima ao valor nominal. VSWR inferior a 2.0 corresponde a menos que 0,5 dB de degradação na potência de saída, ou a sensibilidade do receptor.
Acima de 2	Não é recomendado o uso de uma antena com VSWR acima de 2 devido à degradação de potência de saída e a sensibilidade de desempenho do receptor.

Fonte: Farahani (2008)

O total de potência de sinal que um receptor recebe de uma antena não depende apenas da impedância da antena, mas também da impedância do próprio receptor (FARAHANI, 2008). Duas impedâncias formam uma combinação conjugada se as suas partes reais são as mesmas e as suas partes reativas têm o mesmo valor absoluto, mas com diferentes polaridades.

#### 2.4 FORMAS DE PROPAGAÇÃO E FENÔMENOS DE INCIDÊNCIA DE UMA ONDA

Segundo Farahani (2008), uma propagação de sinal em espaço livre (*free space*) ocorre quando um sinal é emitido uniformemente em todas as direções em um local onde não estão presentes quaisquer materiais ou sinais emitidos que não seja o do próprio sinal emitido de uma antena em todas as direções, como se pode observar na Figura 15. No espaço livre, quando a distância de uma antena é dobrada, a potência do sinal será reduzida quatro vezes. É a chamada Lei dos Quadrados. Quando se aumenta a frequência de um sinal, mais se reduz a potência de um sinal a uma mesma distância da antena. O autor cita ainda que partes de um sinal transmitido serão absorvidos em diferentes materiais no entorno, outras partes serão refletidas múltiplas vezes de vários objetos e versões tardias do sinal poderão ser acrescidas ao sinal original. Para Queiroz (2011), a existência de elementos próximos à linha de visada entre antenas, como construções, vegetação e relevo, permite ainda sim a recepção do sinal, mesmo com certa atenuação.

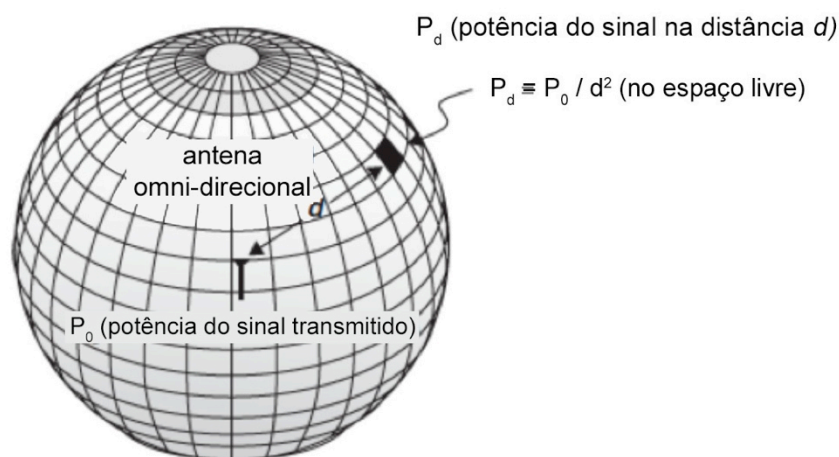


Figura 15: Propagação omnidirecional de uma antena em espaço livre  
Fonte: Farahani (2008)

Farahani (2008) explica ainda que a linha de visão (*line of sight*) significa a existência de um caminho desobstruído entre o transmissor e o receptor, conforme Figura 16.

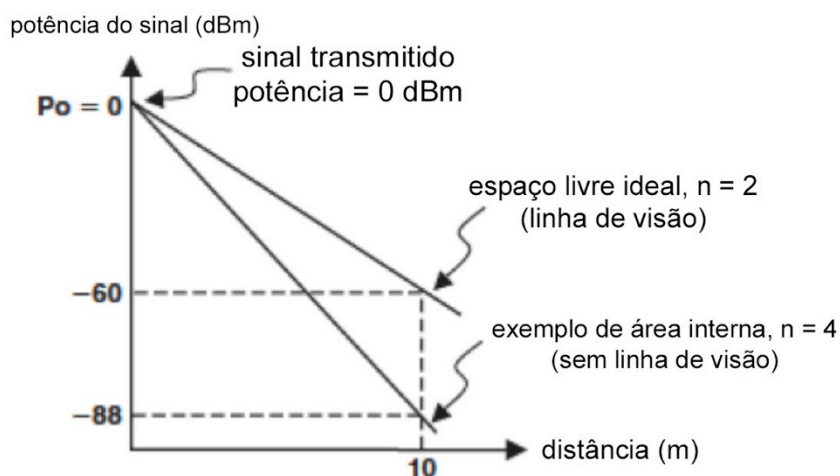


Figura 16: Efeito em um ambiente de uma potência de sinal a uma distância de 10 metros de uma antena  
Fonte: Farahani (2008)

Segundo FCC OET-56 (1999), a velocidade de propagação de uma onda no espaço é a velocidade da luz ( $c = 3 \times 10^8$  m/s) e o comprimento de onda do sinal é a distância que a onda percorre (em metros) durante um período de sinal ( $T$ ).

Segundo Queiroz (2011), a telefonia celular opera basicamente na faixa UHF, onde a propagação se dá por onda espacial, por meio da reflexão das ondas na ionosfera, permitindo percorrer grandes distâncias.

Seybold (2005) afirma que a propagação indireta descreve a propagação terrestre onde a LOS (*line of sight*) está obstruída. Em casos como esse, reflexão e difração em volta de uma construção e/ou folhagens podem fornecer sinal com força suficiente para uma comunicação significativa ocorrer. Frequências HF podem penetrar facilmente em edificações e vegetação densa. VHF e UHF também conseguem penetrar, porém em menor grau. Simultaneamente, VHF e UHF terão uma grande tendência para difratar em volta ou refletir/dispersar em objetos no caminho. Acima de UHF, propagação indireta se torna muito ineficiente e raramente é usada (SEYBOLD, 2005). Para Queiroz (2011), além das características físicas da região, como relevo e topografia, as propagações das ondas podem sofrer variações ao longo do tempo, como temperatura, pressão e umidade.

Além da reflexão e difração, existe uma variedade de fenômenos que ocorrem quando uma onda eletromagnética incide em uma superfície. Esses fenômenos dependem da polarização da onda, da geometria da superfície, das propriedades dos materiais da superfície e das características da superfície relativa ao comprimento de onda da onda eletromagnética.

Segundo Seybold (2005):

- a) Reflexão: sempre quando uma onda eletromagnética incide em uma superfície lisa, uma porção da onda será refletida.
- b) Espalhamento: ocorre quando uma onda eletromagnética incide sobre uma superfície irregular ou rugosa. Os resultados são reflexões em muitas direções diferentes.
- c) Difração: ocorre quando o caminho da onda eletromagnética contorna um obstáculo com uma aresta (ou borda).
- d) Refração: é a alteração da direção de viagem da onda com a porção transmitida entra no segundo material.
- e) Absorção: sempre que uma onda eletromagnética está presente em um material que não esteja em espaço aberto, haverá alguma perda de força com a distância devido às perdas ôhmicas.

- f) Depolarização: os efeitos de transmissão e reflexão dependem da orientação da polarização da onda incidente em relação ao plano de incidência, que pode ter sua polarização alterada da onda transmitida e refletida.

A propagação de ondas eletromagnéticas através de áreas suburbanas a áreas com alto adensamento é de grande interesse, particularmente para telefonia móvel. A atual propagação de RF em áreas urbanas depende da frequência, polarização, geometria das construções, estrutura dos materiais, orientação, altura e densidade. Quando uma onda plana uniforme encontra um meio diferente, ela é parcialmente refletida e parcialmente transmitida (SADIKU, 2008). Esta proporção depende dos parâmetros constitutivos dos meios envolvidos.

Nascimento (1992) também descreve alguns fenômenos quando uma onda eletromagnética se propaga na superfície terrestre, em condições distintas àquelas do espaço livre. O autor cita que podem ocorrer fenômenos como reflexão, refração e difração, de forma semelhante ao que ocorre na ótica, conforme Figura 17.

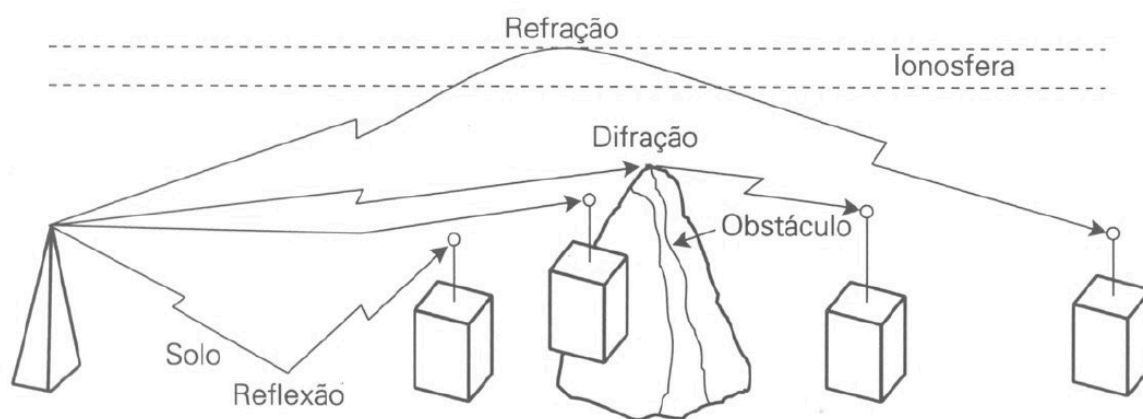
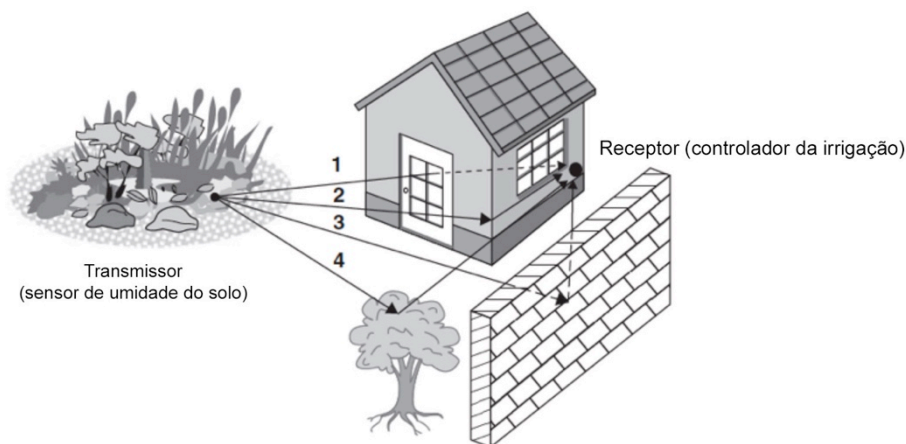


Figura 17: O fenômeno da reflexão, refração e difração  
Fonte: Nascimento (1992)

Para Seybold (2005), difração é o fenômeno no qual ondas eletromagnéticas dobram a borda de um obstáculo, resultando na sombra de um obstáculo para ser parcialmente preenchido. De acordo com Nascimento (1992), seguindo o princípio de Huygens, cada frente de onda equivale a uma coleção de radiadores infinitesimais, radiando para frente ondas esféricas. Quando estas ondas atingem um obstáculo de dimensões comparáveis que seu comprimento de onda, elas o contornam.

Sempre que uma onda eletromagnética incide sobre uma superfície, uma parte deste sinal será refletido. Para Farahani (2008), metais refletem praticamente todo o sinal incidente.

Outro caminho que uma onda eletromagnética pode percorrer é através do espalhamento. Este ocorre quando uma onda eletromagnética incide sobre uma superfície áspera. Segundo (Seybold, 2005), espalhamento é o desvio de ondas eletromagnéticas, devido à falta de homogeneidade no meio. A rugosidade da superfície depende do comprimento de onda do sinal, desta forma, se a variação da superfície é maior que  $\lambda/8$ , a superfície é considerada como áspera e fará o espalhamento do sinal em várias direções. Um exemplo sobre as alternativas de percurso de uma onda em um ambiente com obstáculos pode ser visto na Figura 18.



O sinal transmitido pode alcançar o receptor por meio da:  
 (1) Penetração, (2) Difração, (3) Reflexão, ou (4) Espalhamento

Figura 18: Modos como as ondas podem percorrer no espaço com obstáculos  
 Fonte: Farahani (2008)

Em relação à absorção, Farahani (2008) afirma que as características de absorção de um material e sua temperatura, assim como a frequência do sinal determinam o quanto o sinal é atenuado. Cada material está associado a uma constante de atenuação,  $a$  (dB/m), que é uma função da temperatura e do sinal de frequência. Algumas vezes a constante de atenuação é dada por  $\alpha$  (Nepers/m) ao invés de  $a$  (dB/m). Enquanto Nepers usa um logaritmo de base  $e$  ( $\approx 2.718$ ) *logaritmo*, decibel (dB) usa logaritmo de base 10.

Segundo Queiroz (2011), em um determinado ponto no espaço livre, a intensidade do sinal recebido depende da potência do sinal transmitido, da distância até a fonte

emissora e da frequência da onda eletromagnética. A atenuação no espaço livre é dada por:

$$\text{ATT(dB)} = 20 \log f(\text{GHz}) + 20 \log d(\text{km}) + 92,44 \quad (1)$$

Onde:

ATT = atenuação

$f$  = frequência da onda;

$d$  = distância entre a antena emissora e o ponto considerado.

Segundo Sadiku (2008), existem meios nos quais as ondas EMs perdem energia, conforme se propagam, devido à condutividade deste meio. Chama-se este fenômeno como dielétrico com perdas, pois este meio é parcialmente condutor.

Para Farahani (2008), o efeito de um sinal de frequência na penetração depende dos tipos do material. O autor afirma que sinais de baixa frequência penetram melhor na maioria dos materiais comparados a sinais de alta frequência.

O sinal de penetração de um objeto depende do ângulo na qual o sinal atinge a superfície do objeto, afirma Farahani (2008). Considerando uma parede de *Drywall*, que consiste em duas placas de gesso acartonado e uma estrutura leve de aço entre elas, observa-se que o ângulo de incidência do sinal varia conforme o ângulo da incidência da onda do transmissor. Assim, verifica-se que quanto maior o ângulo de incidência da onda no objeto, maior a perda de sinal, conforme Figura 19 e Figura 20.

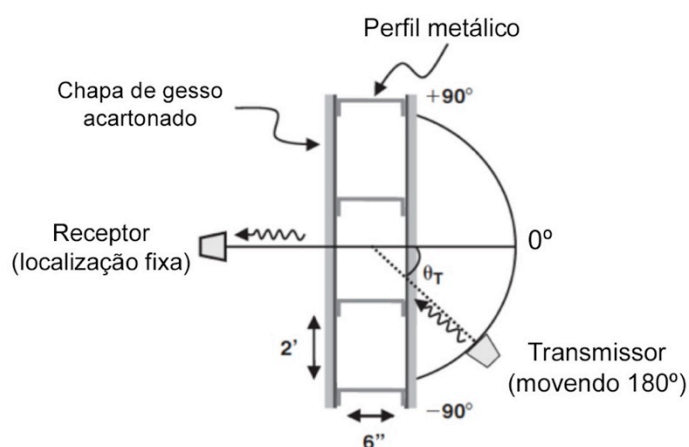


Figura 19: Medida do sinal de penetração de uma parede de *Drywall*  
Fonte: Farahani (2008)

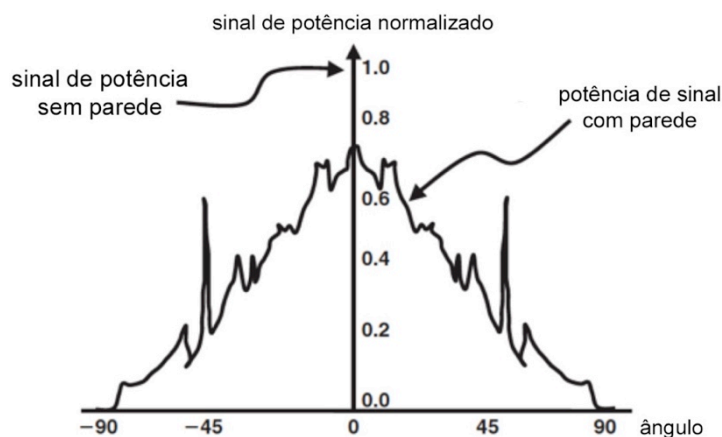


Figura 20: A potência de sinal recebida a partir de vários ângulos de incidência do transmissor  
 Fonte: Farahani (2008)

## 2.5 LEGISLAÇÃO

Neste tópico, será abordado o desenvolvimento das legislações referente à proteção contra a radiação não ionizante no Brasil e no mundo.

### 2.5.1 Legislação internacional

Poucos assuntos na engenharia elétrica evocam tanta controvérsia como o debate sobre os níveis seguro de exposição à energia eletromagnética, cita Seybold (2005). Para o autor, todo sistema que é projetado para radiar RF deveria ser analisado e/ou testado para verificar se a exposição da RF sobre o usuário e o público está dentro dos limites de segurança. A segurança de RF é uma preocupação significativa para muitos sistemas de comunicação comercial devido a altas densidades de potência envolvido e o potencial risco para exposição pública.

São citados na sequência deste tópico, alguns órgãos internacionais responsáveis pela regulação da exposição de RF, como:

- a) ANSI: *American National Standards Institute*;
- b) CENELEC: *European Committee for Electrotechnical Standardization*;
- c) EPA: *U.S. Environmental Protection Agency*;
- d) FCC: *U.S. Federal Communications Commission*;
- e) IEC: *International Electrotechnical Commission*;

f) ICNIRP: *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*;

g) IEEE: *Institute of Electrical and Electronic Engineers*.

Para Martins (2000), a preocupação com efeitos biológicos das radiações não ionizantes aumentou ainda na década de 40 do século XX, muito em função do desenvolvimento do radar. Em 1954, os EUA iniciaram um amplo programa de pesquisas das forças armadas, com objetivo de estabelecer normas de segurança. Este estudo foi divulgado em 1960 e confirmou a natureza térmica e reversível dos efeitos da exposição de RF e micro-ondas. Concluíram ainda que níveis de densidade de potência acima de  $100 \text{ mW/cm}^2$  são perigosos. Adotou-se naquela época um nível máximo dez vezes menor, ou seja,  $10 \text{ mW/cm}^2$ , como padrão de segurança. Segundo Krawczyk (2006), em 1958 os soviéticos apontaram um nível de  $10 \text{ }\mu\text{W/cm}^2$ , limite de 3 ordens de magnitude abaixo dos padrões americanos.

Martins (2000) cita que o mesmo nível de  $10 \text{ mW/cm}^2$  foi adotado em 1966, nas primeiras normas de segurança elaboradas pelo *American National Standards Association* (ANSI C95.1-1966).

Segundo Seybold (2005), um conjunto de padrões conservadores foi desenvolvido pelo Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos (IEEE). Sistemas usados na Europa e em várias partes da Ásia estão mais de acordo com Instituto Europeu de Padrões de Telecomunicações (ETSI) do que os padrões do FCC. Martins (2000) afirma que a norma ANSI/IEEE C95.1-1991 foi desenvolvida por um comitê especializado e fornece até hoje recomendações para prevenir danos ao ser humano por CEMs na faixa de frequência de 3 kHz a 300 GHz.

A ICNIRP, conforme Martins (2000), foi criada em 1992 como sucessora da IRPA/INIRC (*International Radiation Protection Association / International Non-Ionizing Radiation Committee*) e sua norma veio da cooperação entre a Divisão de Saúde Ambiental da OMS e o grupo de trabalho INIRC criado em 1977 pela IRPA. Trata-se de uma organização internacional responsável pela publicação e desenvolvimento das normas de proteção contra radiações não ionizantes adotadas pela maioria dos países da Europa e também no Brasil.

As diretrizes da ICNIRP (1998) que limitam a exposição a variáveis campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos até 300 GHz têm objetivo de estabelecer diretrizes para limitar níveis de exposição a CEMs a fim de garantir proteção contra



os efeitos adversos na saúde humana. Ao estabelecer limites de exposição, a comissão reconhece a necessidade de conciliar uma série de opiniões divergentes de especialistas. Considera ainda a validade dos relatórios científicos e extrapolações a partir de experimentos com animais para efeitos sobre os seres humanos.

Segundo Krawczyk (2006), apenas em 1997 foram firmadas pelo órgão norte-americano *Federal Communications Commission* (FCC) as primeiras legislações de caráter obrigatório referente à limitação de campos eletromagnéticos. Na Comunidade Europeia, ocorreram em 1999. Anteriormente existiam apenas recomendações de aplicação restrita.

Para Seybold (2005), os padrões ANSI/IEEE (e FCC) são baseados em grandes quantidades de dados científicos, representam um relativamente amplo consenso, e são conservadores, mas eles não são absolutos.

Embora tenha havido uma maior preocupação no início e meados da década de 1990 quando o uso de telefone celular cresceu e que a radiação destes aparelhos em proximidade com a cabeça foi responsável por alguns casos de câncer no cérebro, (...). Outras fontes de radiação eletromagnética em residências atualmente proporcionam uma maior exposição e também se acredita que apresentam um risco mínimo. Na faixa de ELF, os campos magnéticos de aparelhos como secadores de cabelo, aquecedores de colchão de água e cobertores elétricos geram um risco maior do que os campos eletromagnéticos de alta frequência, devido à intensidade dos campos e da proximidade de sua operação. Mesmo assim, o risco é mínimo e uma política de "evitar por precaução" (...) é o mais recomendado neste momento (SEYBOLD, 2005).

De acordo com IBN (2011), os valores estabelecidos na DIN/VDE 0848 (Norma alemã que trata da Segurança em campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos para pessoas com implantes submetidas a uma frequência de 0 a 300 GHz) que somente se aplicam às emissoras fixas, são bilhões de vezes maiores que os do entorno natural. De acordo com a frequência, vão de 2 a 10 W/m<sup>2</sup>, enquanto que a densidade de potência da DIN/VDE 0848 para profissionais expostos vai de 10 a 100 W/m<sup>2</sup>.

Ainda segundo IBN (2011), os valores das radiações são baseados em exposições médias de seis minutos, sem considerar os valores de pico dos campos pulsados, que são biologicamente mais suspeitos. Os valores limite estabelecidos pela IRPA e a OMS se assemelham aos da DIN/VDE 0848.

Para Krawczyk (2006), as normas internacionais podem ser divididas em três grupos distintos: as que seguem padrões ocidentais de pesquisa, padrões russos (antigamente soviéticos) e as baseadas no Princípio da Precaução. Segundo os padrões ocidentais, que seguem as normas IEEE C95.1 (1998) e ICNIRP (1998), as margens de segurança admitidas para densidade de potência abaixo de  $10 \text{ mW/cm}^2$  ( $100 \text{ W/m}^2$  ou  $194 \text{ V/m}$ ) não provocam efeitos biológicos perceptíveis. Entre  $10 \text{ mW/cm}^2$  e  $100 \text{ mW/cm}^2$  os sintomas são comportamentais e reversíveis (após remoção da fonte) e acima de  $100 \text{ mW/cm}^2$  é que começam a aparecer os efeitos danosos ao ser humano. As normas russas são mais restritivas na escolha de referência para aplicação do coeficiente de segurança por considerar que níveis menores de campos eletromagnéticos podem causar efeitos biológicos.

As normas russas pretendem ter um nível no qual os efeitos comportamentais, de exaustão da homeostase sejam minimizados. Além disso, são considerados inúmeros estudos de longo prazo na elaboração dos limites das normas. Assim existe claramente a convicção que exposições de longo prazo em níveis menores que os limites ocidentais resultam em efeitos adversos sobre a saúde (KRAWCZYK, 2006).

O Princípio da Precaução atualmente está sendo adotado na Itália, Eslovênia e Suíça, onde adotaram limites bem distintos dos dois grupos supracitados. Na Suíça, por exemplo, reduziram-se os limites ICNIRP por um fator de 10 (intensidade de campo) ou 100 (densidade de potência).

Philips (2000), apresenta na Tabela 8 os limites adotados em vários países, muitos deles inferiores aos padrões e normas internacionais recomendados.

Tabela 8: Padrões comparativos para níveis máximos de exposição do público em geral à RF - 900 e 1800 MHz para as duas bandas principais de telefone móvel em diversos países

Níveis do Público em Geral	Frequência MHz	Campo Elétrico V/m	Potência $\text{W/m}^2$	Potência $\mu\text{W/cm}^2$
Níveis de investigação no Reino NRPB, 1993	900	112	33	3300
	1800	194	100	10000
FCC OET 65: 1997 – 01 EUA. Baseado ANSI/IEEE C95.1 - 1992	900	47	6	600
	1800	61	10	1000
Código 6 de Segurança canadense (SC6) 1993	900	47	6	600
	1800	61	10	1000
ICNIRP, 1998 (reconhecido pela OMS) CENELEC, 1995 (EU)	900	41	4,5	450
	1800	58	9	900
Austrália, 1998 (sob revisão)	900/1800	27	2	200

Níveis do Público em Geral	Frequência MHz	Campo Elétrico V/m	Potência W/m <sup>2</sup>	Potência μW/cm <sup>2</sup>
Duas bases de pesquisa dos EUA	30 – 100.000	19	1	100
Polônia (zona ocupacional intermediária) Zona e Segurança – público em geral	30 – 300.000	19 6	1 0,1	100 10
Rússia, 1988	30 – 300.000	6	0,1	10
Itália, Decreto 381 (1999)	30 – 300.000	6	0,1	10
Comitê de Saúde de Toronto – 2000, no código SC6/100 de Segurança canadense	900	5	0,06	6
	1800	6	0,1	10
Ordem Suíça para ERB a partir de 1 de Fevereiro de 2000	900	4	Não especificado	Não especificado
	1800	6		
UE e Reino Unido. Regulamentados para equipamentos sujeitos a testes de níveis (domésticos e comerciais)	30 – 2000	3	Não especificado	Não especificado
Máximo típico em áreas públicas próximas às torres das ERBs	900 e 1800	2	0,01	1
Cidade de Salzburg	300 – 300.000	0,62	0,001	0,1
Dr. Cherry (NZ) proposta para 2001	300 – 300.000	0,28	0,0002	0,02
Exposição média nos EUA (EPA 1980) Habitante de cidade comum (FCC 1999)	Aprox.	< 0,13	< 0,00005	< 0,005
	30 – 300.000	< 2	< 0,01	< 1
Fundo Natural de Banda Larga	300 – 3000	< 0,00003	< 0,00000001	< 0,000001
Típico comum perto de uma antena de celular manual	900 e 1800	50 – 300	2 – 50	200 -5000

Fonte: Philips (2000)

A ICNIRP (1998), em sua publicação, classifica as diretrizes de proteção à radiação não-ionizante em dois grupos:

- a) Restrições básicas: são os limites máximos de exposição humana a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos variantes no tempo, baseados em efeitos reconhecidos à saúde de modo a garantir que essas grandezas físicas não ultrapassem os limiares mínimos de interação biofísica com tecidos vivos, de modo a não causar danos à saúde;

- b) Níveis de referência: estes níveis são fornecidos para fins de avaliação de exposição com o intuito de determinar se as restrições básicas são susceptíveis de serem ultrapassadas.

Segundo Seybold (2005), para efeitos de análise de segurança, normas de segurança como a ICNIRP (1998) e a IEEE C95.1 (1998) definem dois tipos de exposição chamados: a) exposição controlada e b) não controlada.

Para ICNIRP (1998), os níveis de referência para a exposição em público geral podem ser observadas na Tabela 9.

Tabela 9: níveis de referência para a exposição do público geral

Faixas de frequência	Intensidade campo elétrico (E) ( $\text{Vm}^{-1}$ )	Intensidade campo magnético (H) ( $\text{Am}^{-1}$ )	Campo B ( $\mu\text{T}$ )	Densidade potência (S) ( $\text{Wm}^{-2}$ )
Até 1 Hz	-	$3,2 \times 10^4$	$4 \times 10^4$	-
1 – 8 Hz	10.000	$3,2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$	-
8 – 25 Hz	10.000	$4.000 / f$	$5.000 / f$	-
0,025 – 0,8 kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$	-
0,8 – 3 kHz	$250/f$	5	6,25	-
3 – 150 kHz	87	5	6,25	-
0,15 – 1 MHz	87	$0,73 / f$	$0,92 / f$	-
1 – 10 MHz	$87 / f^{1/2}$	$0,73 / f$	$0,92 / f$	-
10 – 400 MHz	28	0,073	0,092	2
400 – 2.000 MHz	$1,375 f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	$0,0046 f^{1/2}$	$f / 200$
2 – 300 GHz	61	0,16	0,20	10

Fonte: ICNIRP (1998)

A Tabela 10 apresenta as restrições legais até 10 GHz de exposição, em local próximo à fonte.

Tabela 10: restrições básicas até 10 GHz (exposições a campos elétrico e magnético variáveis no tempo)

Características da exposição	Faixas de frequência	Densidade de corrente para cabeça e tronco ( $\text{mA.m}^{-2}$ ) (v. eficaz)	SAR média de corpo inteiro ( $\text{W.kg}^{-1}$ )	SAR localizada (cabeça tronco) ( $\text{W.kg}^{-1}$ )	SAR localizada (membros) ( $\text{W.kg}^{-1}$ )
------------------------------	----------------------	---	---	---	---

Características da exposição	Faixas de frequência	Densidade de corrente para cabeça e tronco (mA.m <sup>-2</sup> ) (v.eficaz)	SAR média de corpo inteiro (W.kg <sup>-1</sup> )	SAR localizada (cabeça tronco) (W.kg <sup>-1</sup> )	SAR localizada (membros) (W.kg <sup>-1</sup> )
Ocupacional	Até 1 Hz	40	-	-	-
	1 – 4 Hz	40 / $f$	-	-	-
	4 Hz – 1 kHz	10	-	-	-
	1 KHz – 100 KHz	$f / 100$	-	-	-
	100 KHz – 10 MHz	$f / 100$	0,4	10	20
	10 MHz – 10 GHz	-	0,4	10	20
Público em geral	Até 1 Hz	8	-	-	-
	1 – 4 Hz	8 / $f$	-	-	-
	4 Hz – 1 kHz	2	-	-	-
	1 KHz – 100 KHz	$f / 500$	-	-	-
	100 KHz – 10 MHz	$f / 500$	0,08	2	4
	10 MHz – 10 GHz	-	0,08	2	4

Fonte: ICNIRP (1998)

Onde:  $f$  é a frequência na unidade indicada em cada faixa.

Já a Tabela 11 apresenta os níveis de referência para exposição ocupacional a campos elétricos e magnéticos variáveis no tempo.

Tabela 11: níveis de referência para exposição ocupacional a campos elétricos e magnéticos variáveis no tempo

Faixas de frequência	Intensidade campo elétrico (E) (V/m <sup>-1</sup> )	Intensidade campo magnético (H) (A/m <sup>-1</sup> )	Campo B (μT)	Densidade potência (S) (W.m <sup>-2</sup> )
Até 1 Hz	-	1,63 x 10 <sup>5</sup>	2 x 10 <sup>5</sup>	-
1 – 8 Hz	20.000	1,63 x 10 <sup>5</sup> / $f^2$	2 x 10 <sup>5</sup> / $f^2$	-
8 – 25 Hz	20.000	2 x 10 <sup>4</sup> / $f$	2,5 x 10 <sup>4</sup> / $f$	-
0,025 – 0,82 kHz	500/ $f$	20 / $f$	25/ $f$	-

Faixas de frequência	Intensidade campo elétrico (E) (V/m <sup>-1</sup> )	Intensidade campo magnético (H) (A/m <sup>-1</sup> )	Campo B (μT)	Densidade potência (S) (W.m <sup>-2</sup> )
0,82 – 65 kHz	610	24,4	30,7	-
0,065 – 1 MHz	610	1,6 / <i>f</i>	2,0 / <i>f</i>	-
1 – 10 MHz	610/ <i>f</i>	1,6 / <i>f</i>	2,0 / <i>f</i>	-
10 – 400 MHz	61	0,16	0,2	10
400 – 2.000 MHz	3 <i>f</i> <sup>1/2</sup>	0,008 <i>f</i> <sup>1/2</sup>	0,01 <i>f</i> <sup>1/2</sup>	<i>f</i> / 40
2 – 300 GHz	137	0,36	0,45	50

Fonte: ICNIRP (1998)

Onde: *f* é a frequência como indicado na coluna “faixa de frequência”.

Já citada anteriormente, outra norma internacional utilizada é a IEEE C-95.1, desenvolvida pelo *Standards Coordinating Committee 28 on Non-Ionizing Radiation Hazard* e aprovada em 1998. Segundo IEEE C95.1 (1998), este documento fornece recomendações para prevenir efeitos nocivos em seres humanos expostos a frequências de campos eletromagnéticos entre 3 KHz e 300 GHz.

Esta norma apresenta os níveis máximos de exposição para ambientes, conforme é apresentado na Tabela 12.

Tabela 12: máxima exposição permissível para ambientes controlados

Parte A: campos eletromagnéticos				
Alcance frequência (MHz)	Força campo elétrico (E) (V/m)	Força campo magnético (H) (A/m)	Densidade potência (S) Campo E, Campo H (mW/cm <sup>2</sup> )	Tempo médio  E  <sup>2</sup> ,  H  <sup>2</sup> ou S (min)
0,003 – 0,1	614	163	(100, 1000000)	6
0,1 – 3,0	614	16,3/ <i>f</i>	(100, 10000/ <i>f</i> <sup>2</sup> )	6
3 – 30	1842/ <i>f</i>	16,3/ <i>f</i>	(900/ <i>f</i> <sup>2</sup> , 10000/ <i>f</i> <sup>2</sup> )	6
30 – 100	61,4	16,3/ <i>f</i>	(1, 10000/ <i>f</i> <sup>2</sup> )	6
100 – 300	61,4	0,163	1,0	6
300 – 3000	–	–	<i>f</i> /300	6
3000 – 15000	–	–	10	6

Parte A: campos eletromagnéticos				
Alcance frequência (MHz)	Força campo elétrico (E) (V/m)	Força campo magnético (H) (A/m)	Densidade potência (S) Campo E, Campo H (mW/cm <sup>2</sup> )	Tempo médio $ E ^2$ , $ H ^2$ ou S (min)
15000 - 300000	–	–	10	$616.000/f^{1.2}$

Nota:  $f$  é a frequência em MHz

Fonte: IEEE C95.1 (1998)

A ITU K.52 (2004) define ainda procedimentos para análise de exposição à CEM. Este procedimento procura classificar zonas de exposição potencial de CEMs, ilustrado na Figura 21 :

- Zona de Conformidade: na zona de conformidade, a potencial exposição a CEM está abaixo dos limites permitidos tanto para exposição controlada/ocupacional quanto exposição sem controle/pública;
- Zona Ocupacional: na zona ocupacional, a potencial exposição a CEM está abaixo dos limites permitidos para exposição controlada/ocupacional, mas ultrapassa os limites permitidos para exposição sem controle/pública;
- Zona Excedente: na zona excedente, a potencial exposição a CEM ultrapassa os limites permitidos tanto para exposição controlada/ocupacional quanto exposição sem controle/pública.

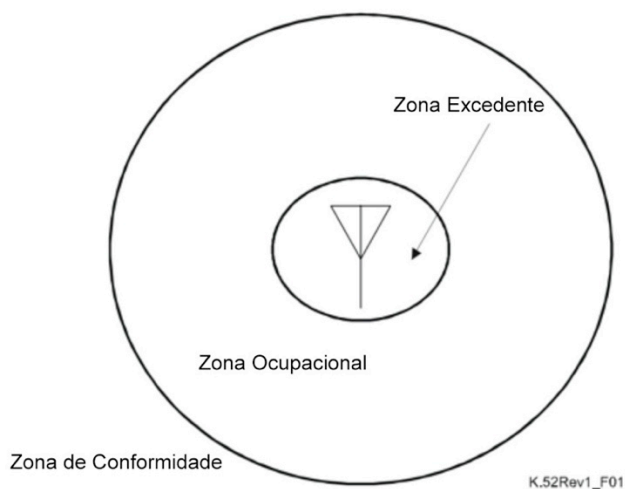


Figura 21: zonas de exposição de CEMs  
Fonte: ITU K.52 (2004)

A (ITU K.52, 2004) classifica ainda as instalações da transmissão em três categorias:

- a) Conformidade inerente: fontes seguras inerentes produzem campos que cumprem os limites de exposição a poucos centímetros de distância da fonte. Precauções pontuais não são necessárias;
- b) Conformidade normal: instalações em conformidade normal podem conter fontes que produzem EMF que pode exceder os limites de exposição relevantes. No entanto, como resultado de práticas usuais de instalação e uso típico dessas fontes para fins de comunicação, a zona excedente destas fontes não deve ser acessível às pessoas, sob condições normais.
- c) Provisoriamente em conformidade: Essas instalações exigem medidas especiais para atingir a conformidade. Isso envolve a determinação das zonas de exposição e as medidas para análise do CEM.

Cabe destacar mais um ponto de relevância no trabalho realizado pelo ITU K.52 (2004), ao definir categorias de acessibilidade (Tabela 13), que dependendo das circunstâncias, analisa a probabilidade de um indivíduo acessar a zona excedente.

Tabela 13: categorias de acessibilidade

Categoria de acessibilidade (CA)	Circunstancias relevantes de instalação	Referência da Figura
	Antena é instalada em uma torre inacessível – o centro da radiação está a uma altura $h$ do nível do solo.	
1	Antena é instalada em estrutura de acesso público (como coberturas) – o centro da radiação é a altura $h$ acima da estrutura. Restrição $h > 3,0$ m	Figura 22
2	Antena é instalada no nível do solo – o centro da radiação está a uma altura $h$ do nível do solo. Existe edificação adjacente com altura $h$ e distância $d$ da antena. Restrição $h > 3,0$ m	Figura 23



Categoria de acessibilidade (CA)	Circunstancias relevantes de instalação	Referência da Figura
3	Antena é instalada no nível do solo – o centro da radiação está a uma altura $h$ ( $h > 3$ m) do nível do solo. Existe edificação adjacente com altura $h'$ e distância $d$ da antena	Figura 24
4	Antena é instalada em estrutura com altura $h$ ( $h > 3$ m). Existe uma área de exclusão associada à antena, podendo ser: <ul style="list-style-type: none"> <li>- área circular ou</li> <li>- área retangular.</li> </ul>	Figura 25

Fonte: ITU K.52 (2004)

Na sequência, são apresentadas algumas imagens referentes às categorias de acessibilidade, publicadas no ITU K.52 (2004).

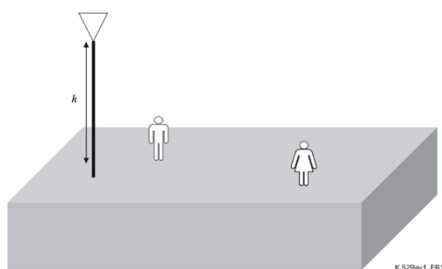


Figura 22: exemplo CA 1

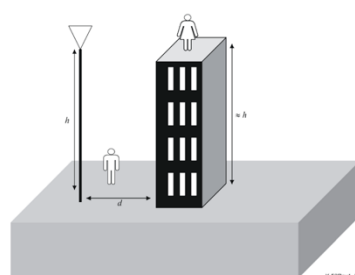


Figura 23: exemplo CA 2

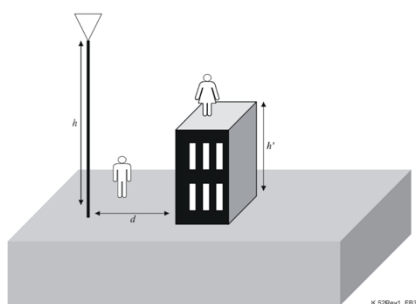


Figura 24: exemplo CA 3

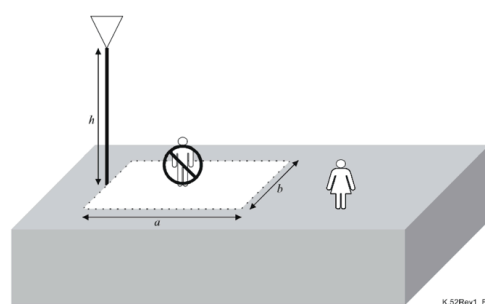


Figura 25: exemplo CA 4

### 2.5.2 Legislação brasileira

De acordo com Tavares (2001), a primeira legislação referente a questões de segurança em âmbito federal envolvendo a exposição a radiações não-ionizantes

foi a Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho e Emprego - NR-15 (1978). Esta Norma, instituída pela Portaria nº 3214, trata de Atividades e Operações Insalubres. O Anexo nº 7 da NR-15 trata das radiações não-ionizantes e as denomina como as radiações de micro-ondas, ultravioletas e laser. A NR-15 apenas informa que as operações e atividades quando expõem os trabalhadores à exposição de radiação não-ionizante é considerada insalubre quando não há proteção adequada, observado em laudo de inspeção realizado no local de trabalho.

Segundo Tavares (2001), a aprovação da Lei Geral de Telecomunicações (Lei nº 9472, de 16/7/97) regulamentou o novo modelo de exploração dos serviços de telecomunicações e criou um órgão regulador para o setor: a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL). Destaca-se nesta Lei:

Art. 19. À Agência compete adotar as medidas necessárias para o atendimento do interesse público e para o desenvolvimento das telecomunicações brasileiras, atuando com independência, imparcialidade, legalidade, impessoalidade e publicidade, e especialmente:

(...) XII - expedir normas e padrões a serem cumpridos pelas prestadoras de serviços de telecomunicações quanto aos equipamentos que utilizarem; (BRASIL, 1997)

Para Dode (2010), em 15 de julho de 1999, o Conselho Diretor da ANATEL decidiu adotar como referência provisória os limites propostos pela ICNIRP, que não considerava a possibilidade de campos eletromagnéticos alterarem a estrutura do DNA humano, considerando apenas os efeitos térmicos (da radiação não ionizante) e desconsiderando os efeitos não térmicos e mais danosos.

Dode (2010) cita ainda que em 2001, o Conselho Diretor da ANATEL deliberou a proposta de regulamentação sobre exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos, na faixa de rádio frequência. Esta consulta pública produziu como resultado a Resolução nº 303 da ANATEL de 2002. Esta resolução regulamenta a limitação da exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos na faixa de radiofrequências entre 9 kHz e 300 GHz associados à operação de estações transmissoras de serviços de telecomunicações. Estes são os mesmos níveis adotados pela ICNIRP.

No Brasil, os limites de exposição humana foram estabelecidos pela Lei nº 11.934, de 5/5/2009, seguindo as recomendações da Organização Mundial de Saúde (OMS). De acordo com os estudos desenvolvidos na OMS, não há evidências

científicas convincentes de que a exposição humana a valores de campos eletromagnéticos abaixo dos limites estabelecidos cause efeitos adversos à saúde.

Dode (2010) afirma ainda que algumas cidades brasileiras, como Campinas (SP), Criciúma (SC), João Pessoa (PB) e Juiz de Fora (MG) criaram suas próprias leis, com padrões de exposição inferiores aos recomendados pela ANATEL/ICNIRP. Algumas destas adotaram o mesmo padrão da Suíça, cujos limites de exposição na faixa de frequência de 900 MHz, são de 4 V/m ou 4,2  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ , e, para faixa de frequência de 1800 MHz, são 6 V/m ou 9,5  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ .

Paulino (2001) apresenta os valores adotados em alguns municípios do Brasil na Tabela 14.

Tabela 14: valores adotados em alguns municípios do Brasil

País / Cidades	Recomendação adotada	Densidade de potência ( $\text{W}/\text{m}^2$ )	Comparação com a ICNIRP
Brasil (referência)	ANATEL	4,35	igual
Belo Horizonte	Lei Municipal	4,35	Igual
Curitiba	Lei Municipal	4,35	Igual
Porto Alegre	Lei Municipal	5,80	Maior
Campinas	Lei Municipal	1,00	Menor
Bauru	Lei Municipal	1,00	Menor
São José dos Campos	Lei Municipal	0,10	Menor

Fonte: Paulino (2001)

### 2.5.3 Princípio da Precaução

Para Antonopoulou e van Meurs (2003), o Princípio da Precaução dentro da UE (União Europeia) foi pela primeira vez formulada publicamente com o Tratado de Maastricht, em 1992 e mais tarde na Declaração de 16 de junho de 1992 durante a Conferência do Meio Ambiente e Desenvolvimento das Nações Unidas no Rio de Janeiro/Brasil, também conhecida como ECO-92. Este princípio aparece no artigo 15 desta Declaração.

Segundo Vineis (2005), o Princípio da Precaução é baseado em dois critérios gerais:

- a) Ação pública adequada deve ser tomada em resposta a evidências, desde que plausível e credível, de dano provável e substancial;
- b) O ônus da prova é invertido: inverte-se a demonstração da presença de risco pela demonstração da ausência de risco.

De acordo com ter Meulen (2005), o Princípio da Precaução afirma que quando há incertezas sobre os riscos futuros de certas políticas ou ações, deve-se abster de tais ações ou políticas.

Esses riscos fazem parte do lado escuro da modernidade, e eles, ou fatores de risco comparáveis, estarão presentes enquanto durar a modernidade — enquanto a rapidez da mudança social e tecnológica continuar a produzir consequências não previstas. Riscos de alta consequência têm uma qualidade distintiva. Quanto mais calamitosos os perigos envolvidos, menor a nossa experiência real do risco que corremos — pois se as coisas "derem errado", já será tarde demais (GIDDENS, 2002).

Para Antonopoulou e van Meurs (2003), este princípio não deixa dúvidas quanto ao Estado aceitar estes princípios mesmo contra sua própria legislação.

O Princípio da Precaução, em vista desses riscos, cujos malefícios ainda não possam ser, ao que alegariam alguns, comprovados cientificamente, ou meramente "fantasiosos" para os detentores do poder econômico da telefonia móvel, ou mesmo evidenciados em vários casos concretos, com a ocorrência de câncer na região craniana de alguns pacientes, determina que sejam tomadas medidas para regular a produção e comercialização de equipamentos de telefonia celular, bem como proibir a instalação de antenas de telefonia celular sem prévio estudo de impacto ambiental e urbanístico, além de respectivo licenciamento, sempre considerando os direitos do consumidor, o direito constitucional ao meio ambiente sadio e sustentável, a preservação do paisagismo e prevenção da poluição visual sob o prisma do valor urbanístico cultural e qualitativo de vida das grandes cidades e metrópoles. Não havendo certeza absoluta quanto à inexistência de riscos à saúde e ao meio ambiente, impõe-se obediência estrita ao princípio da precaução para a preservação da vida com um mínimo de dignidade e de qualidade (SILVA, 2003).

Jacobs (2014) afirma que estudos ambientais identificam eventuais ameaças à saúde pública ou ao meio ambiente quando a certeza científica do risco é baixa, mas o risco potencial é alto. Diretrizes da UE sugerem que medidas de precaução se mantenham provisórias até que uma suficiente certeza científica ocorra.

ICEMS (2006) corrobora com as citações anteriores, ao afirmar que quando houver indicações de possíveis efeitos adversos, mesmo que eles permaneçam incertos, os riscos de não fazer nada podem ser muito maiores do que os de entrar em ação para controlar essas exposições. O Princípio da Precaução desloca o ônus da prova daqueles que suspeitam do risco para aqueles que o desconsideram.

Diversos países já adotaram o Princípio da Precaução em relação às radiações eletromagnéticas de baixa frequência. Esta preocupação com o meio ambiente decorre ainda da Declaração de Estocolmo de 1972, “primeira norma em nível internacional global a considerar o direito ao meio ambiente direito fundamental, a conter princípios referentes ao dever de prevenção e a formular o princípio da responsabilidade para com as futuras gerações” (BOITEUX, 2008). Destaca-se ainda o Princípio 15 da Declaração do Rio de 1992 (ECO-92):

De modo a proteger o meio ambiente, o Princípio da Precaução deve ser amplamente observado pelos Estados, de acordo com suas capacidades. Quando houver ameaça de danos sérios ou irreversíveis, a ausência de absoluta certeza científica não deve ser utilizada como razão para postergar medidas eficazes e economicamente viáveis para prevenir a degradação ambiental (Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento) (RELATÓRIO DA DELEGAÇÃO BRASILEIRA, 1993 *apud* BOITEUX, 2008).

Conforme Antonopoulou e van Meurs (2003), no conceito moderno de proteção à saúde pública, o Princípio da Precaução nasceu da ideia da prevenção e não tinha um status separado. O Princípio da Prevenção, em geral, aborda a necessidade de evitar o risco aparente posto para a saúde humana e atua exclusivamente em provas científicas disponíveis. Já o Princípio da Precaução não requer que a evidência sobre um eventual efeito prejudicial de uma nova política ou tecnologia seja estabelecida por autoridades relevantes. Como já dito anteriormente, o ônus da prova recai sobre aquele que deseja introduzir a nova política, método ou tecnologia.

## 2.6 ONDAS ELETROMAGNÉTICAS E SAÚDE PÚBLICA

Neste capítulo, são descritos alguns estudos sobre influências das ondas eletromagnéticas sobre a saúde humana.

Desde a origem da vida na Terra até o começo do século XX, o ambiente eletromagnético era determinado pelo sol e por outras fontes cósmicas, além das propriedades geomagnéticas da própria Terra; as intensidades de campos eram extremamente baixas. Mas a partir da segunda metade do século, fontes de radiação eletromagnética produzidas pelo homem, com frequências e magnitudes as mais diversas, passaram a ser constituintes dominantes do ambiente eletromagnético terrestre. Sem dúvida, a atividade humana tem mudado o eletromagnetismo da Terra, e existem evidências de que o presente ambiente eletromagnético anormal pode constituir um sério risco à saúde. Mas o fato é que os únicos efeitos óbvios da eletricidade são choque e aquecimento, mas podem existir consequências à saúde que não são tão óbvias, e portanto, podem não estar sendo corretamente protegidas pelos padrões de segurança atuais (MARTINS, 2000).

Para Mattos e Koifman (2003), a ocorrência de efeitos biológicos decorrentes da exposição à eletricidade se originou em estudos realizados na antiga União Soviética, na década de 60 por Asanova e Rakov, porém a primeira menção quanto a uma possível associação entre esta exposição e o desenvolvimento de câncer surgiu em 1979, após pesquisa de Wertheimer e Leeper.

Segundo Martins (2000), algumas vezes a energia eletromagnética não atua como onda, mas como partículas em frequências muito altas. Este fenômeno é conhecido como dualidade onda-partícula e a natureza de partícula eletromagnética (energia por partículas = fótons) tem grande importância pois é esta que determina quais efeitos biológicos a energia eletromagnética provocará. De acordo com FCC OET-56 (1999), um efeito biológico só se torna um perigo para a segurança quando este causa prejuízo perceptível da saúde do indivíduo ou de seus descendentes.

As radiações podem ser divididas em radiações ionizantes e não ionizantes. As radiações ionizantes, consideradas como radiações eletromagnéticas de alta energia (raios-X e raios gama) e a radiação de partículas (radiação alfa e beta, por exemplo), possuem os efeitos mais nocivos aos seres vivos IBN (2011). Já Martins (2000) as define como radiações de frequências extremamente altas com capacidade para produzir ionização através da quebra de ligações químicas no material genético das células, o DNA.

Porém, segundo IBN (2011), as radiações não ionizantes como os raios ultravioletas (UV), os feixes de radar, as ondas de rádio e as micro-ondas (alta frequência), os raios laser, assim como os campos eletromagnéticos, também podem causar danos aos organismos vivos. Contudo, Martins (2000) reforça que estas radiações, por definição, não têm energia radiante suficiente para produzir ionização por onde passa.

Segundo Seybold (2005), a radiação de RF é uma radiação não ionizante, devido ao fato que a energia fotônica da radiofrequência é insuficiente para causar ionização. Na radiação não ionizante, o aquecimento do tecido (efeito térmico) é a única forma de dano ao tecido reconhecido. Outras possibilidades de danos, além dos térmicos, têm sido associados às radiações não ionizantes, mas permanecem sem provas.

Para Dode (2010), os efeitos da exposição externa do corpo humano e de suas células aos CEMs dependem principalmente da sua frequência, da sua intensidade e do tempo de exposição.

De acordo com Martins (2000), como propósito de proteção à radiação, são necessários quantidades para caracterizar a interação de tais campos eletromagnéticos com os sistemas biológicos, chamados de quantidades dosimétricas. Segundo a ICNIRP (1998), para as diferentes faixas de frequência e formas de onda as quantidades dosimétricas são:

- a) Até 10 MHz: densidade de corrente  $J$ ;
- b) Até 100 MHz: corrente elétrica  $I$ ;
- c) Para 100 kHz a 10 GHz: taxas de absorção específica (SAR);
- d) Para 300 MHz a 10 GHz (campos pulsantes): absorção de energia específica (SA);
- e) Para 10 GHz a 300 GHz: densidade de potência  $S$ .

Marc-Vergnes (2010) em seu estudo analisa a hipersensibilidade de pessoas aos CEMs. Embora seja reconhecido que as pessoas que alegam ter hipersensibilidade eletromagnética (EHS) realmente apresentem sintomas, não foi possível encontrar evidências ligando os sintomas aos CEMs. Este termo foi criado em 1997 por Bergqvist *et al.*, e mais de dez anos depois ainda é considerado um pouco confuso, conforme cita o autor. A OMS propôs criar um termo alternativo chamado Intolerância Idiopática Ambiental, mas não contribuiu para esclarecer algumas questões. Foram relacionados 57 sintomas associados à EHS. Em um *workshop* convocado pela OMS em Praga, em 2004, chegou-se a um consenso sobre EHS.

EHS é caracterizado por uma variedade não específica de sintomas que diferem de indivíduo para indivíduo. Os sintomas são certamente reais e podem variar amplamente em sua gravidade. Para alguns indivíduos os sintomas podem mudar seu estilo de vida. O termo "Intolerância Idiopática Ambiental" (IEI) com atribuição ao CEM foi proposto por um grupo de trabalho para substituir o termo Hipersensibilidade eletromagnética uma vez que o último implica em uma relação causal estabelecida entre os sintomas relatados e os CEM... IEI é um descritor sem qualquer implicação etiológica (OMS, 2006).

Segundo Marc-Vergnes (2010), há vários estudos feitos por outros pesquisadores que demonstram a existência de sujeitos enquadrados no grupo dos hipersensíveis aos campos eletromagnéticos. Outros estudos, porém, mostram que EHS não pode ser distinguida de outras doenças ambientais. Mas de qualquer maneira, todos os

estudos sugerem novos experimentos com uma base maior de informações, tempo e dinheiro. Assim, o autor conclui que nenhuma evidência de ligação entre sintomas de EHS e exposição aguda de CEM foi relatada. Porém, sintomas relatados foram admitidos que fossem reais e os efeitos na saúde humana sob longo período de exposição permanecem desconhecidos.

A OET-56 (boletim publicado pela FCC – *Office of Engineering and Technology*) avalia o estado da arte referente a pesquisas de exposição de ondas eletromagnéticas:

Em níveis relativamente baixos de exposição de radiação RF, isto é, uma intensidade de campo inferior daqueles que iria produzir aquecimento significativo e mensurável, a evidência para a produção de efeitos biológicos nocivos é ambíguo e não foi provada. Tais efeitos têm sido por vezes referidos como "efeitos não térmicos". Há vários anos, as publicações começaram a aparecer na literatura científica, principalmente no exterior, relatando a observação de uma ampla gama de efeitos biológicos de baixo nível. No entanto, em muitos destes casos, novas investigações experimentais eram incapazes de reproduzir estes efeitos. Além disso, não houve determinação de que esses efeitos pudessem indicar algum perigo para a saúde humana, em particular no que diz respeito à exposição em longo prazo (FCC OET-56, 1999).

Destaque ainda da FCC OET-56 (1999) a respeito da relação entre exposição de radiação de RF e micro-ondas a causas de câncer.

Alguns estudos também examinaram a possibilidade de uma ligação entre a exposição RF e micro-ondas e câncer. Os resultados até agora têm sido inconclusivos. Enquanto alguns dados experimentais sugerem uma possível ligação entre a exposição e a formação de tumores em animais expostos sob certas condições específicas, os resultados não foram replicados de forma independente. De fato, outros estudos não conseguiram encontrar evidências de uma relação causal para o câncer ou qualquer condição relacionada. Mais pesquisas estão em andamento em vários laboratórios para ajudar a resolver esta questão (FCC OET-56, 1999).

Seybold (2005) distingue ainda a diferença entre efeito e perigo biológico. Uma pequena quantidade de aquecimento em um tecido é um efeito mensurável, mas não necessariamente danoso. A frequência da onda eletromagnética e a parte exposta do corpo são considerações importantes a serem analisadas.

Buckus e Baltrénas (2013) cita estudo da ICNIRP, que em suas declarações feitas em 1996, afirma:

1. Os resultados de estudos epidemiológicos publicados não formam uma base para avaliações de risco de saúde em relação ao uso de telefones celulares e transmissores das ERB;



2. Dados de estudos laboratoriais relevantes ao câncer não fornecem base para a limitação da exposição a campos associados ao uso de telefones celulares e transmissores das ERB;
3. Com a frequência e os níveis de energia envolvidos no uso de telefones celulares não haverá preocupação com choques e queimaduras.
4. Certamente, em determinadas circunstâncias, a radiação do telefone celular pode interferir com as operações de determinados dispositivos elétricos ou eletrônicos (por exemplo, aparelhos auditivos) que afetam estes dispositivos.

Para Cherry (2002), ao analisar as diretrizes da ICNIRP para implantação de antenas de celular, este cita que estas diretrizes ignoraram estudos publicados mostrando a capacidade destas radiações de danificar os cromossomos. Esta análise critica as diretrizes da ICNIRP, pois foi altamente seletiva, parcial e desprezou as evidências genotóxicas e as evidências epidemiológicas dos efeitos do câncer e efeitos reprodutivos.

O projeto REFLEX (UE, 2004), financiado pela União Europeia e acompanhada pelo OMS envolvendo 7 países da Europa e 12 laboratórios, mostrou que os CEMs – ELF têm efeitos genotóxicos sobre culturas de células primárias de fibroblastos humanos e sobre outras linhagens de células, sob exposições em níveis abaixo dos preconizados pela ICNIRP. Este estudo citou alguns efeitos como:

- a) Efeitos genotóxicos em culturas primárias de células de fibroblastos humanos e outras linhas de célula;
- b) Efeitos genotóxicos, quando o campo era intermitente, mas não quando contínuo;
- c) Quebras nas sequências do DNA em nível significativo;
- d) Foram observadas aberrações cromossômicas nos fibroblastos humanos;
- e) SAR 0,3 e 2 W/kg: aumento significativo em quebras das sequências de DNA simples ou duplo, e na frequência dos micronúcleos.

O projeto REFLEX, segundo IBN (2011), se baseou na seleção de um procedimento de exposição estritamente normalizado, que havia sido desenvolvido em Zürich. Os cientistas puderam pesquisar durante três anos em ensaios “duplo-cego” os efeitos dos campos eletromagnéticos de baixas e altas frequências sobre as células

humanas. Foi possível demonstrar a existência de lesões genéticas causadas por CEM, entre os quais se incluem os campos DECT, WLAN e de telefonia móvel. Os ensaios consistiam em expor diferentes tipos de célula a campos de telefonia móvel. Em determinados intervalos de exposição se produziram rupturas dos cromossomos, as denominadas rupturas da cadeia dupla de DNA.

Já a Resolução de Benevento (ICEMS, 2006), organizada pela Comissão Internacional de Segurança Eletromagnética, apresentou várias evidências a respeito de efeitos nocivos à saúde em decorrência da exposição a campos eletromagnéticos nos níveis atuais e reforça a necessidade de um exame abrangente, independente e transparente da evidência que aponta para este tema emergente e potencial de saúde pública. Esta resolução denuncia ainda que há indícios de que as atuais fontes de financiamento privilegiam a análise e interpretação de resultados de pesquisa que apontem para a rejeição de evidências de possíveis riscos à saúde pública. Os cientistas que participaram da elaboração e assinaram esta resolução afirmam ainda que os efeitos biológicos podem se manifestar em decorrência de exposições tanto aos campos eletromagnéticos de frequências extremamente baixas (ELF EMF) quanto aos de radiofrequências (RF EMF).

Como já citado anteriormente, para estabelecer padrões seguros de exposição a CEMs é necessário que haja uma padronização dos valores. Atualmente utiliza-se como padrão as quantidades dosimétricas defendidas pela ICNIRP, que variam de acordo com as faixas de frequência e formas de onda.

Para Martins (2000), durante uma exposição localizada, como por exemplo devido ao uso de telefones celulares irradiando campos muito próximos à cabeça, utiliza-se a dosimetria SAR (*specific absorption rate*), que é definido como potência absorvida por um determinado volume ou massa unitário.

Segundo Dode (2010), SAR é a taxa temporal na qual a energia eletromagnética de radiofrequência é transferida para um elemento de massa de um corpo biológico e também é utilizada para a definição das diretrizes de proteção de exposição aguda à RF. A SAR é expressa em Watts por quilograma (W/kg). Martins (2000) complementa citando que a SAR também é diretamente proporcional ao aumento local de temperatura, responsável pelos efeitos térmicos das ondas eletromagnéticas.

Para Seybold (2005), as diretrizes de exposição da FCC foram adotadas em 1996 e são baseados na taxa de absorção específica - SAR e usam uma exposição em tempo médio de corpo inteiro de 4W/kg (SAR), incluindo margens de segurança. De acordo com Dode (2010), este índice se refere a uma exposição distante 20 cm do corpo humano. Para distâncias inferiores a 20 cm, a SAR é de 1,6 W/kg. Seybold (2005) reforça essa posição devido à geometria da propagação de ondas eletromagnéticas que irradiam a partir de uma fonte e possuem os campos mais fortes e os maiores níveis de exposição diretamente proporcionais à proximidade com a antena transmissora.

Conforme Figura 26, Seybold (2005) apresenta os limites de exposição máxima permitida em  $\text{mW}/\text{cm}^2$  em relação à frequência em MHz. Tanto a densidade de potência e as escalas de frequência são logarítmicas. Os limites mais baixos entre 30 e 300 MHz refletem o alcance de frequência aonde o corpo humano mais prontamente absorve a energia RF com base na sua ressonância.

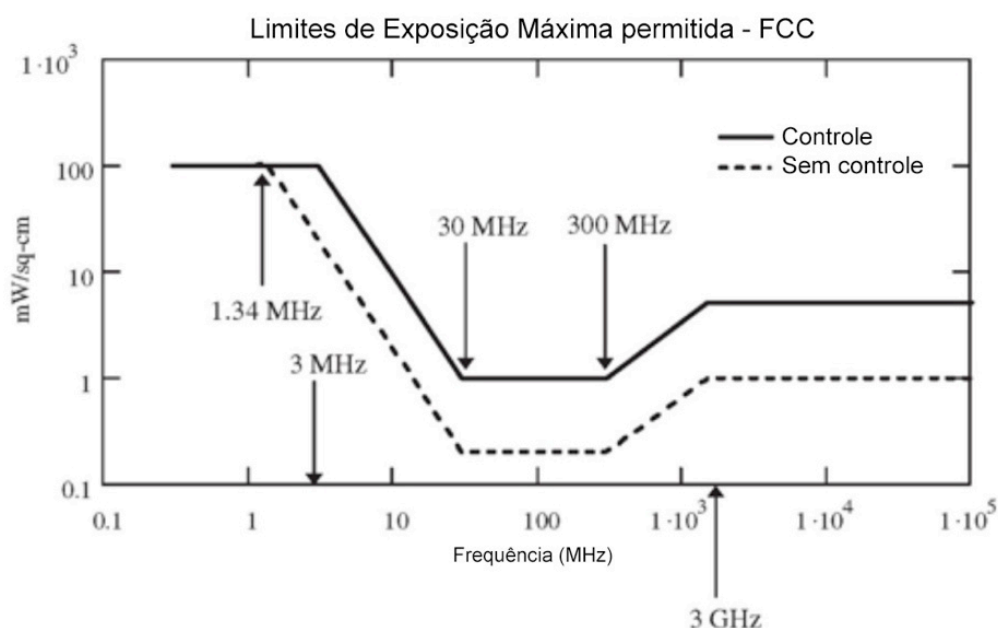


Figura 26: limites da FCC para máxima exposição permitida (densidade de potência equivalente à onda plana)

Fonte: Seybold (2005)

Contudo, IBN (2011), ressalta que atualmente a ciência considera somente a potência de radiação absorvida pelo corpo que determina o efeito biológico da radiação de alta frequência: SAR - magnitude básica reconhecida mundialmente

para medir os efeitos térmicos. Contudo, a SAR somente leva em conta a quantidade de energia de alta frequência transmitida como energia térmica.

Nos tecidos bem irrigados a temperatura corporal se eleva em média 1 a 2 °C com 100.00 mW/m<sup>2</sup>. Em experimentos com animais, sob a influência de micro-ondas de 1.000 mW/m<sup>2</sup>, a temperatura corporal se elevou em 6°C em poucos minutos. O ser humano inicia sua termoregulação a partir de uns 25.000 mW/m<sup>2</sup>. A partir de 500.000 mW/m<sup>2</sup>, apresenta deformações e outros defeitos genéticos, e com 2.000.000 mW/m<sup>2</sup> se tornam mortais. Pode-se demonstrar que se podem produzir perturbações neurológicas a partir de 10 mW/m<sup>2</sup>, e alterações visíveis no EEG (Eletroencefalograma) com uma radiação pulsada a partir de 1 mW/m<sup>2</sup> (IBN, 2011).

Na sequência, Seybold (2005) apresenta as tabelas da FCC sobre os limites máximos de exposição permitidos para um ambiente controlado (ou ocupacional), no qual as pessoas estão cientes dos riscos potenciais da exposição e estão aptos a ter algum controle sobre sua exposição (Tabela 15).

Tabela 15: limites de exposição máxima permitido para ambientes controlados

Frequência (MHz)	Campo $E$ (V/m)	Campo $H$ (A/m)	Densidade de Potência $S$ (mW/cm <sup>2</sup> )	Tempo médio $ E^2 $ , $ H^2 $ , or $S$ (min)
0.3 – 3.0	614	1.63	100 <sup>a</sup>	6
3.0 – 30	1,824 / $f$	4,89 / $f$	(900 / $f^2$ ) <sup>a</sup>	6
30 – 300	61,4	0,163	1,0	6
300 – 1.500	-	-	$f/300$	6
1.500 – 100.000	-	-	5	6

<sup>a</sup> – densidade de potência equivalente para onda plana,  $f$  é a frequência em MHz

Fonte: Seybold (2005)

Na próxima tabela são apresentados os limites de exposição em ambientes não controlados, nos quais as pessoas não estão cientes dos riscos da exposição ou, estando cientes, não podem fazer nada a respeito. Situações como estas podem ser vistas como proximidades de antenas de celular, redes sem fio, e morar ou trabalhar perto das estações de rádio (Tabela 16).

Tabela 16: limites de exposição máximos permitidos para ambientes não controlados

Frequência (MHz)	Campo $E$ (V/m)	Campo $H$ (A/m)	Densidade de Potência $S$ (mW/cm <sup>2</sup> )	Tempo médio $ E^2 $ , $ H^2 $ , or $S$ (min)
0.3 – 1.34	614	1,63	100 <sup>a</sup>	30
1.34 – 30	824 / $f$	2,19 / $f$	(180 / $f^2$ ) <sup>a</sup>	30
30 – 300	27,5	0,073	0,2	30
300 – 1.500	-	-	$f/1,500$	30
1.500 – 100.000	-	-	1	30

Fonte: Seybold (2005)

Para Seybold (2005), a absorção da energia de RF é dependente da frequência baseada em ressonância. O corpo humano adulto absorve a quantidade máxima de RF com 35 MHz, aterrado, e 70MHz se isolado.

Martins (2000) afirma que as atuais normas de referência se baseiam em três tipos de efeitos biológicos das ondas eletromagnéticas: efeitos térmicos, efeitos não térmicos e choques e queimaduras.

O perigo térmico da radiação das altas frequências está mais bem estudado e descrito na literatura especializada, porém os perigos não térmicos estão cada vez mais sendo estudados e todo dia aparecem novos estudos correlacionado os efeitos desta radiação com danos à saúde (IBN, 2011).

Segundo IBN (2011), o corpo humano é composto por uma grande quantidade de partículas carregadas ou polarizadas eletricamente que se encontram na água do tecido corporal. Existem cargas elétricas nas paredes das células e movimentos iônicos de partes carregadas de átomos ou moléculas. Mediante a radiação de micro-ondas, por exemplo, as moléculas de água fortemente polarizadas começam a rodar e a radiação se converte em calor.

Ferreira (2006) cita que um dos primeiros relatos sobre correlação entre CEM e saúde humana ocorreu em 1979 quando Wertheimer e Leeper apresentaram um estudo de correlação entre cabos de distribuição de energia próximos a escolas e aumento de casos de leucemia infantil. O autor cita ainda alguns trabalhos que sugerem que CEMs de altas e/ou baixas frequências podem ser responsáveis por

alterar a atividade transicional de certos genes, induzir quebras no DNA, modificar os níveis celulares de cálcio, induzir a apoptose, diminuir o desempenho da memória de animais em tarefas comportamentais, aumentar o dano oxidativo em lipídios, induzir o câncer e modificar a atividade de enzimas.

Muitos destes primeiros estudos se basearam em pesquisas epidemiológicas. De acordo com Lilienfeld *et al.*, (1967 *apud* Mattos e Koifman, 2003), a epidemiologia é o campo do conhecimento voltado para a análise das causas e mecanismos relacionados à distribuição das condições de saúde em grupos populacionais humanos e animais. A epidemiologia analisa características individuais ou coletivas de grupos populacionais, tentando estabelecer os mecanismos causais de doenças, e dessa forma, propor intervenções que melhorem as condições de saúde das coletividades (MATTOS e KOIFMAN, 2003).

A importância da Epidemiologia para o conhecimento em saúde, através da identificação das causas de ocorrência das doenças, tornou-se tão preponderante que, atualmente, qualquer associação de causa-efeito só é considerada como verdadeira quando sustentada por evidências obtidas através de estudos epidemiológicos. É por esta razão que o debate atual, no âmbito epidemiológico, sobre a associação entre a exposição aos campos eletromagnéticos de baixa frequência (CEM) e a ocorrência de câncer assumiu uma importância fundamental para a compreensão aprofundada deste tema (MATTOS e KOIFMAN, 2003).

Segundo IBN (2011), a profundidade que penetra a radiação de alta frequência no tecido orgânico depende da frequência: com as frequências de telefonia móvel, a profundidade de penetração no corpo humano varia de 1 a 10 cm. Com frequências acima de 10 GHz, como as produzidas pelos radares, frequentemente é menor que um milímetro. Ainda de acordo com IBN (2011), os potenciais elétricos naturais presentes nas paredes das células do corpo podem ser sobrepostos por campos eletromagnéticos externos e afetar assim as funções celulares.

Para Krawczyk (2006), as formas de interação estão ligadas ao comprimento de onda do campo eletromagnético e podem ser divididos em: acoplamentos dos campos elétricos de baixa frequência, acoplamento de campos magnéticos de baixa frequência, absorção de energia dos campos eletromagnéticos e efeitos indiretos, como resultado de fluxo de cargas elétricas (choque). O autor apresenta ainda estudos que mostraram que pessoas submetidas à exposição de campos ELF apresentaram respostas diferentes quanto a sintomas apresentados. Uma parte apresentou excitabilidade, outra fadiga, dor de cabeça e náuseas e ainda uma última

parcela que se mostrou indiferente. Estas pessoas foram submetidas à exposição de níveis de campo eletromagnético entre  $10 \text{ mW/cm}^2$  e  $100 \text{ mW/cm}^2$ . Este tipo de efeito é extremamente variável entre indivíduos, por isso os estudos epidemiológicos não conseguiram ser consistentes com relação à identificação destes efeitos em grandes populações, afirma Krawczyk (2006).

Conforme IBN (2011), a modulação da frequência é relativamente inócua biologicamente, enquanto que a modulação da amplitude é algo mais problemático e a pulsação de baixa frequência é o tipo de modulação mais perigoso. Isto significa que o efeito biológico de uma radiação débil, mas pulsada, é maior que uma radiação forte, mas como modulação de frequência. Assim, a radiação de um emissor débil de uma rede D ou E tem maiores efeitos biológicos que um radiotransmissor forte de FM. A maioria dos cientistas estão de acordo que o problema biológico principal da alta frequência é a baixa frequência contida nela.

Na sequência são citados uma série de estudos relatados por IBN, realizados por vários pesquisadores sobre este assunto.

IBN (2011) cita que entre 1950 e 1970 se descobriu que as micro-ondas provocam cataratas nos olhos. A partir de 1950 se descobriram indícios científicos de leucemia, tumores cerebrais, incidência de câncer, sintomas de estresse entre outros. A partir de 1970 proliferaram os resultados das investigações como deformações genéticas, síndrome de *down*, estresse, perturbações hormonais, neuralgias, zumbido de ouvidos, agressividades, úlceras, infartos do miocárdio, hiper ou hipotensão, danos imunológicos, tumores cerebrais e câncer.

Dr. Lebrecht Von Klitzing, físico médico da Universidade de Lübeck, descobriu que as ondas pulsadas, como as existentes nas redes D e E da telefonia móvel, causam alterações das correntes cerebrais. Na Austrália foi descrito um grande aumento de incidência de tumores cerebrais, que em alguns estados aumentou em 50% para os homens e 62,5% para as mulheres, em poucos anos. IBN (2011) cita ainda estudo do Dr. Hans-Joachim Petersohn que mostrou que os glóbulos vermelhos do sangue se atraem como se estivessem imantados depois de poucos minutos de falar com o telefone celular e se aderirem entre si, como uma pseudoaglutinação do sangue, comprometendo suas funções e o transporte de oxigênio. Este fato também pode ser comprovado e atestado pela Agencia Estatal da Alemanha para a proteção frente às radiações, informando em um documento de 1996. Outros dois estudos da

Grã-Bretanha e Austrália evidenciaram índices maiores de leucemia no entorno de emissoras de televisão e rádio. A distâncias maiores, o índice de leucemia reduz proporcionalmente.

IBN (2011) cita ainda descoberta do Prof. W. Ross Adey, do Centro de Investigações do Cérebro da Universidade da Califórnia, mediante experimentos com animais, que as altas frequências pulsadas não só alteram o EEG, mas incidem no sistema nervoso central. Foi comprovado que com aumento de apenas 0,1 °C da temperatura por meio da radiação de alta frequência foram vistas reações que conduziram a um grande número de reações fisiológicas e neurológicas e condutas sintomáticas.

Para Krawczyk (2006), é possível observar alguns efeitos de campos eletromagnéticos entre 100 KHz e 300GHz.

A partir de 100 kHz o corpo humano começa a absorver os campos eletromagnéticos de forma mais eficiente. A absorção dessa energia se manifesta principalmente na forma de dissipação de calor nos tecidos. Essa absorção ocorre de forma diversa dependendo da frequência. Cada membro do corpo humano tem uma frequência de ressonância onde a absorção de energia é máxima. A frequência de ressonância para absorção de energia dos campos eletromagnéticos é proporcional à maior dimensão do membro do corpo e do comprimento de onda da radiação incidente (KRAWCZYK, 2006).

O autor apresenta ainda na Tabela 17 a absorção da energia eletromagnética em função da frequência.

Tabela 17: Absorção da energia eletromagnética em função da frequência

Frequência	Efeitos
< 100 kHz	Insignificante
100 kHz – 20 MHz	absorção cresce rapidamente e pode ocorrer absorção significativa no pescoço e nas pernas
20 MHz – 300 MHz	alta em todo o corpo, ressonância entre 70 MHz (adulto) e 100 MHz (crianças)
300 MHz – 10 GHz	absorção local significativa e não uniforme
> 10 GHz	principalmente na superfície do corpo

Fonte: Krawczyk (2006)



Ainda segundo Krawczyk (2006), alguns efeitos já comprovados sobre a exposição de campos eletromagnéticos ELF são: queimaduras, catarata, aumento de permeabilidade da barreira hemato-encefálica, efeitos termo-elásticos sobre o ouvido interno e efeitos térmicos.

A Organização Mundial da Saúde em conjunto com a Agência Internacional de Pesquisas sobre o Câncer (IARC) concluiu que campos eletromagnéticos de radiofrequência são possíveis carcinogênicos para humanos (grupo 2b). Segundo IARC (2011), um grupo de 31 cientistas de 14 países se reuniram em Lyon para avaliar riscos da exposição destes campos em humanos. Como resultado, os cientistas avaliaram que as evidências eram limitadas entre usuários de telefone celular para glioma e neuroma, e inadequado para tirar conclusões sobre outros tipos de câncer.

Os resultados apresentados nesta pesquisa mostraram que os níveis medidos estão dentro dos limites estabelecidos pela ICNIRP para o caso de exposição geral (não controlada). Os maiores valores medidos internamente aos edifícios encontrados foram de 18,02 V/m e 14,64 V/m. Já os campos medidos externamente verificaram-se vários pontos com campo superior acima dos limites da Norma. O maior campo encontrado foi de 46,14 V/m. Assim, concluiu que a maioria dos pontos analisados eram seguros para permanência (abaixo de 27 V/m) e que os pontos acima deste nível ainda estavam abaixo do limite ocupacional de 61 V/m, não sendo esperados efeitos biológicos nos ocupantes deste local.

Para Ferreira (2006) os CEMs não ionizantes são capazes de provocar efeitos físicos como a geração de calor.

Em sistemas biológicos o efeito térmico pode diferir muito do aquecimento clássico, pois estes ocorrem devido à absorção de energia de CEMs pelos tecidos, através da vibração das moléculas de água e dos íons nela dissolvidos. A quantidade de calor produzida em um organismo depende primariamente da intensidade da radiação, de algumas propriedades elétricas da biomassa e da eficiência dos mecanismos de termorregulação (FERREIRA, 2006).

Ferreira (2006) afirma que ainda não é conhecido como o mecanismo de interação de CEMs com sistemas biológicos ocorre. Seu trabalho concluiu que os resultados obtidos nesta pesquisa não forneceram explicação sobre possíveis mecanismos pelos quais os CEMs atuam no organismo.

Abdel-Rassoul *et al.* (2007) afirmam que atualmente existe uma grande preocupação referente aos efeitos perigosos quanto à exposição a radiações de radiofrequência (RFR) emitidas por antenas de celulares. Segundo os autores, distúrbios do sistema nervoso podem levar a mudanças de comportamento e podem indicar distúrbios nas funções reguladoras de diversos sistemas do corpo humano. A intensidade das RFR é medida em  $\text{mW}/\text{cm}^2$ . No entanto, o autor apresenta a taxa de absorção específica (*Specific Absorption Rate* – SAR) medida em  $\text{W}/\text{kg}$  de tecido, mais determinante e confiável para estudar os efeitos biológicos das RFR em comparação com as baseadas em densidade de energia, pois procurar refletir o que realmente está sendo absorvido e não a quantidade de energia no espaço.

O estudo conduzido por Abdel-Rassoul *et al.* (2007) pesquisou os efeitos das RFR em 85 pessoas, sendo que 37 eram moradores do edifício onde a antena de celular estava instalada, e os demais 48 eram trabalhadores em um edifício a 10 metros de distância oposta à antena. Foi definido também um grupo de controle, com 80 pessoas, localizado em um edifício a 2 km de distância da antena. Os funcionários foram expostos a 8 horas de RFR enquanto os moradores do edifício sob a antena ficaram 15 horas. Todos os envolvidos responderam a um questionário, participaram de um exame clínico e de uma bateria de testes neurocomportamentais e, por último, foi realizada uma medição ambiental dos níveis de radiação ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ ).

Todos os valores medidos neste experimento eram abaixo do nível máximo permitido de exposição contínua, que é  $0,0080 \text{ mW}/\text{cm}^2$ , de acordo com a legislação local (Egito), no ano 2000. Os resultados mostraram a prevalência de enxaquecas (23,5%), alterações de memória (28,2%), tremores (9,4%), tontura (18,8%), sintomas depressivos (21,7%), distúrbios do sono (23,5%) entre os 85 sujeitos expostos à RFR em comparação aos sujeitos do grupo de controle (10%, 5%, 0%, 5%, 8,8% e 10% respectivamente).

Quando se compara os resultados dos grupos de sujeitos que moram no edifício com os que apenas trabalham, observam-se os seguintes sintomas e suas frequências, com pode-se observar na Tabela 18:

Tabela 18: Reclamações neurológicas entre os habitantes que vivem sob e em frente à antena de celular

reclamações neurológicas	moradores		trabalhadores	
	vivem sob a antena		trabalham em frente à antena	
	N=37	N (%)	N=37	N (%)
enxaqueca	5	(13,5%)	15	(31,3%)
alterações de memória	12	(32,4%)	12	(25,0%)
tremores	4	(10,8%)	4	(8,3%)
tontura	7	(18,9%)	9	(18,8%)
sintomas depressivos	8	(21,6%)	9	(18,8%)
visão turva	7	(18,9%)	12	(25,0%)
distúrbio do sono	4	(10,8%)	15	(31,3%)
irritabilidade	7	(18,9%)	16	(33,3%)
perda de concentração	5	(13,5%)	9	(18,8%)

Fonte: Abdel-Rassoul *et al.* (2007)

Desta forma, Abdel-Rassoul *et al.* (2007) concluíram que os resultados obtidos são muito semelhantes aos encontrados em outras pesquisas, e afirmam que sujeitos expostos à RFR podem apresentar sintomas neurológicos acima de outros não expostos. Concluíram ainda que pessoas próximas a antenas de celular estão mais sujeitas a sua radiação que pessoas que moram abaixo, em virtude da proteção de concreto armado da laje que pode absorver de 5-30% da radiação das antenas. Porém, observa-se um dado interessante referente aos grupos pesquisados, quando os sujeitos expostos à radiação apresentaram resultados melhores em testes de velocidade visual motora e teste de atenção.

Porém, segundo a ICNIRP (1998), os dados obtidos em relação aos efeitos em longo prazo de exposição aos CEMs não são suficientes para a definição de limites de exposição.

Ressalta-se a dificuldade na caracterização das fontes de exposição e incapacidade de se combinar exposições de diferentes fontes de medição; a falta de um modelo dose-resposta e de explicação biológica, somados à dificuldade de se definir o período de exposição de relevância etiológica –

dada a raridade da maioria das doenças de interesse -; além da dificuldade em caracterizar propriamente uma exposição de natureza retrospectiva, como é o caso da exposição aos CEMs (HANSEN, 2000, ICNIRP, 2001 *apud* HABERMANN, 2008).

Augner *et al.* (2010) estudaram os efeitos que a exposição a campos eletromagnéticos de radiofrequência (RF-EMF) pode provocar nas enzimas alfa-amilase, imunoglobina a (IgA) e níveis de cortisol. Para isto, os autores fizeram experimentos com 3 grupos distintos, submetidos a exposições de radiação diferentes. Relatam ainda que são muito poucos os estudos referentes às influências das antenas de celular sobre a saúde humana. Experimentos de curto tempo de exposição são raros, e seus resultados não muito claros. A maioria, segundo Augner *et al.* (2010), de relatos envolvendo questões endócrinas ou sistema imunológico foram limitados a estudos *in vitro* ou teste em animais. Resultados de experimentos em laboratório sobre sinais de telefones celulares diferem consideravelmente dos realizados em antenas de celular. Para os autores, “a vantagem de um controle melhor em condições relevantes deve ser balanceada com a artificialidade do cenário de exposição” (AUGNER *et al.* 2010).

Segundo Augner *et al.* (2010), o experimento consistiu em adaptar um ambiente construído (laboratório da experiência), com uma fonte real de exposição. E para detectar os potenciais efeitos no sistema imunológicos dos sujeitos, foram colhidas e identificadas as concentrações de cortisol, alfa-amilase e imunoglobina (IgA) das salivas de todas as 57 pessoas saudáveis que participaram do experimento. O cortisol é um indicador conhecido do estresse. Já a enzima alfa-amilase, vem ganhando aceitação como indicador de estresse, representando um substituto da psicobiologia do estresse. A imunoglobina A (IgA) é considerada a principal proteína de defesa imediata contra infecções através de alimentos e do ar e apresenta grande importância na relação com os níveis de estresse.

Assim, 57 participantes foram aleatoriamente divididos em 3 cenários experimentais e expostos a diferentes níveis de RF-EMF. Foram instaladas ao redor da edificação antenas GSM 900 MHz e uma 800 MHz. Foram produzidos vários níveis de exposição variando a blindagem e falsas blindagens (placebos) através de cortinas. Foram feitos cenários para os experimentos, nos quais 22 pessoas foram submetidas a um cenário e outras 26 a outro e ambos foram submetidos a 5 sessões teste de 50 minutos cada. O primeiro e o terceiro teste foram realizados

com baixo nível de exposição. Níveis médios e altos de exposição ocorreram no segundo e quarto teste, respectivamente. Foi incluído um terceiro cenário, com 9 participantes para servir de grupo de controle, submetidos a 4 sessões de níveis baixos de exposição. Uma última sessão ocorreu com nível alto de exposição.

Este trabalho sustenta a hipótese de que as RF-EMF em campos de baixa densidade, de acordo com a ICNIRP, podem potencialmente influenciar alguns indicadores psicobiológicos de estresse.

IBN (2011) cita que o Dr. Michael Repacholi, cientista da OMS na Austrália, demonstrou em 1997 que a radiação dos telefones móveis duplica a taxa de tumores em ratos. Entre outros resultados, destaca-se a taxa de câncer linfático aumentado mais que o dobro, depois que os animais foram irradiados duas vezes ao dia durante meia hora com intensidades de telefonia móvel típicas do uso cotidiano. Outro estudo foi realizado por Dr. Andras Varga, diretor científico do instituto de Higiene da Universidade de Heidelberg, que irradiou ovos de galinha com altas frequências. Todos os embriões sem exceção nasceram com deformidades ou morreram. A intensidade de radiação foi 40% inferior aos valores limites oficiais da Alemanha.

Segundo IBN (2011), apesar de todos os resultados de investigações científicas, os sistemas que funcionam com radiações pulsadas se consideram seguros, pois estão dentro dos valores estabelecidos por órgãos internacionais. Contudo, esses valores limites se baseiam unicamente no efeito térmico da radiação de alta frequência. As consequências aos sensíveis sistemas de regulação do organismo humano, como o sistema nervoso e hormonal, o sistema imunológico, a comunicação intercelular não estão contempladas. Completa ainda que em várias conferências internacionais e em congressos recentes foram apresentados vários estudos comprovando os efeitos biológicos dos campos eletromagnéticos, sendo que muito destes fenômenos foram observados com níveis de exposição muito inferiores ao recomendado em todo mundo pela ICNIRP.

Segundo ITU K.70 (2007), seriam formas de mitigar os níveis de radiação aos quais a população é exposta:

- a) Diminuir a potência do transmissor: este é a maneira mais simples de reduzir os níveis de radiação, com prejuízo à redução da área de cobertura;

- b) Aumentar a altura da antena: aumentado a altura da antena, todas as distâncias de todos os pontos de incidência também serão aumentados (Figura 27);

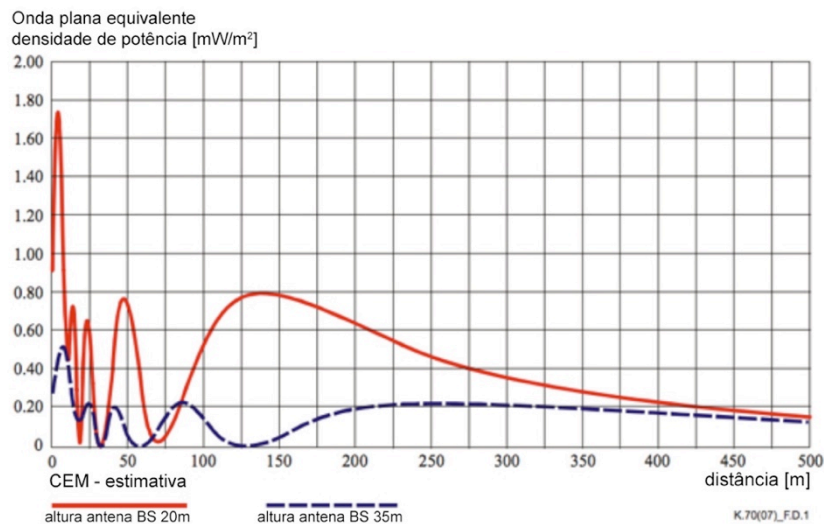


Figura 27: distribuição da densidade de potência em função da altura da antena (ERB GSM 900)  
Fonte: ITU K.70 (2007)

- c) Diminuir o *downtilt* das antenas de transmissão: a principal inclinação do feixe do padrão de radiação vertical (VRP) das antenas de transmissão é frequentemente utilizada por razões de serviço desempenho. Em ERBs, o *downtilt* é também usado para limitar a área de cobertura, aumentando a possibilidade de reuso de frequências (Figura 28);

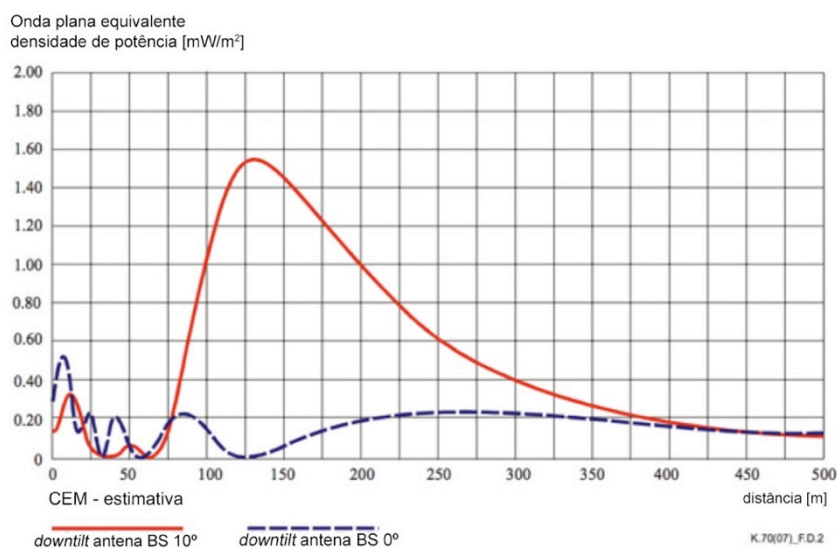


Figura 28: distribuição da densidade de potência em função do *downtilt* (ERB GSM 900)  
Fonte: ITU K.70 (2007)

- d) Aumentar o ganho da antena: o ganho da antena corresponde diretamente à diretividade da antena, isto é, a capacidade de irradiar mais em uma determinada direção e para limitar a radiação em outras direções. Maior ganho implica largura de feixe mais estreito principal e se o VRP preencheu vazios, significa que não haverá perda de cobertura de área (Figura 29);

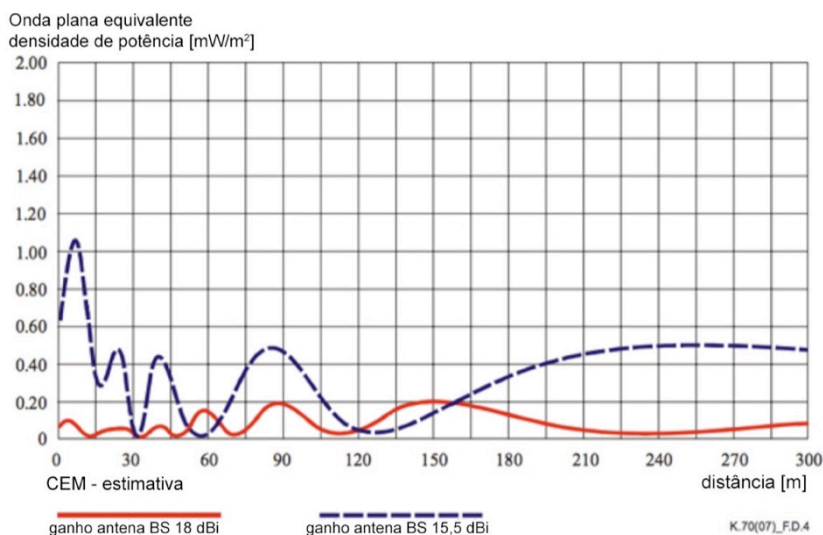


Figura 29: distribuição da densidade de potência em função da mudança no ganho da antena  
Fonte: ITU K.70 (2007)

- e) Mudanças no VRP: introduzir algumas alterações na disposição de alimentação (no sistema fixo de configuração) reduzirá os níveis de radiação para distâncias próximas a antenas, e ao mesmo tempo, manter sem alterar os níveis de radiação para longas distâncias (Figura 30);

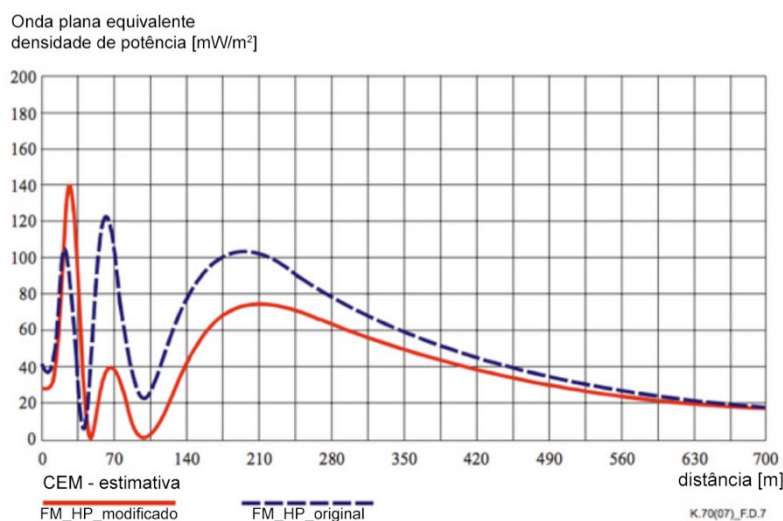


Figura 30: distribuição da densidade de potência após correção do VRP  
Fonte: ITU K.70 (2007)

- f) Mudanças no HRP: embora a redução dos níveis de exposição com esta alteração seja limitada, pode-se reduzir os níveis substituindo os painéis com feixe amplo horizontal por feixe (mais) estreito horizontal (Figura 31) e;

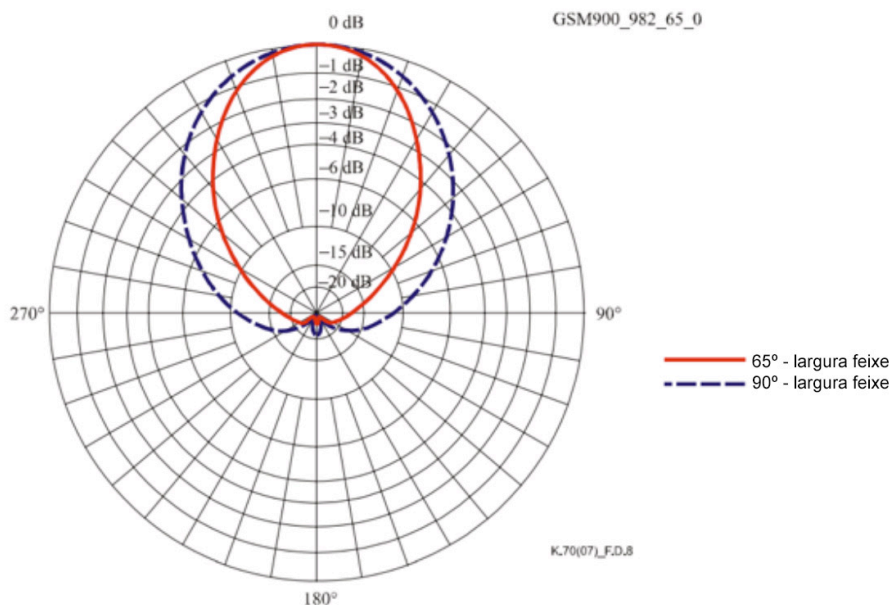


Figura 31: mostra a distribuição dos HRP de dois painéis GSM  
Fonte: ITU K.70 (2007)

- g) Aplicação de vários métodos simultaneamente.

## 2.7 RADIAÇÕES DE ALTA FREQUÊNCIA E O MEIO AMBIENTE

Entre as muitas mudanças no meio ambiente, a exposição de seres aos campos eletromagnéticos artificiais é uma das mais radicais. A contínua, crônica, exposição a uma ampla gama de radiofrequência modulada de campos eletromagnéticos de radiofrequência onera todas as espécies e grupos de todo o mundo. (CUCURACHI *et al.*, 2012)

Segundo Cucurachi *et al.* (2012), são limitadas as pesquisas com foco na investigação ecológica de possíveis efeitos de RF. Devido à falta de informação de efeitos ecológicos da radiofrequência, é plausível que se faça a conexão dos estudos biológicos com os fundamentos ecológicos de um animal individual (cobaia) para interpretações ecológicas em um nível de organização mais alto.

Para Balmori (2009), ninhos de pássaros tendem a perder produtividade quando próximos a antenas de celular. O autor observou que 40% de ninhos de cegonha branca dentro de 200 m destas antenas não tiveram filhotes, enquanto que apenas 3,3% dos ninhos localizados distantes 300 m obtiveram o mesmo resultado negativo. Já dentro de 100 m, foram verificadas várias mortes de filhotes por causas



desconhecidas. Suspeita-se ainda que as antenas estejam comprometendo a reprodutividade das aves. Cucurachi *et al.* (2012) apresentaram também nesta revisão que de 26 trabalhos analisados, 70% destes apresentaram efeitos significativos relacionados à RF.

Balmori (2009) apresenta ainda evidências científicas indicando que a exposição prolongada de CEM, nos níveis encontrados no ambiente, pode afetar o sistema imunológico das aves. Segundo o autor, um sistema imunológico debilitado pode aumentar a susceptibilidade de um pássaro contrair doenças infecciosas, bactérias, vírus e parasitas, além de gerar efeitos genotóxicos. Em relação a alguns mamíferos estudados, observou-se que ratos passaram maior parte do tempo em caixas blindadas quando expostos a micro-ondas e a atividade de morcegos foi significativamente reduzida em ambientes expostos a CEMs maiores que 2 V/m. Animais expostos a CEMs podem sofrer deterioração da saúde e mudança comportamental.

Balmori (2009) continua seu estudo destacando os efeitos de micro-ondas em insetos, espécimes chave para o ecossistema. São sensíveis à radiação eletromagnética e os efeitos a esta exposição pode se tornar uma ameaça à natureza. O autor concluiu ainda que as radiofrequências, especialmente GSM, são altamente bioativas e provocam mudanças significantes em funções fisiológicas de organismos vivos dos insetos. Cucurachi *et al.* (2012) destacam ainda a importância destes efeitos em insetos, como as abelhas, visto sua capacidade de perceber campos magnéticos para se navegar e orientar.

IBN (2011) comenta que enquanto inicialmente se suspeitava que a causa da morte de bosques se radicava nas ondas eletromagnéticas de radar e das emissoras de rádio, televisão e telefonia móvel, atualmente já há provas neste sentido. O Prof. Günter Käs, físico de altas frequências da Universidade Federal da Defesa Neubiberg, expôs emissões de FM sobre mudas de abeto, árvore nativa das Florestas Temperadas da Europa. As mudas expostas a radiação cresceram mais lentamente que o grupo de controle não irradiado. Cucurachi *et al.* (2012) corrobora com IBN ao apresentar que efeitos significantes de exposição a RF inibiu o crescimento de plantas expostas

IBN (2011) cita ainda estudo do físico e técnico eletricista Wolfgang Volkrodt, diretor de desenvolvimento da Siemens, sobre patologias em bosques. Segundo o físico,

pode-se estabelecer uma relação clara entre a mortalidade dos bosques e as altas frequências. As ondas de rádio e de radar, segundo o autor, penetram nas folhas, agulhas e ramos como se tratasse de antenas biológicas. Assim, bosques enfermos têm sinais de televisão melhores que bosques saudáveis.

Conforme estudo de Balmori (2009), em áreas expostas com radiação direta de micro-ondas, verificou-se um baixo índice de crescimento de pinheiros (*Pinus sylvestris*), fato não ocorrido em área livre de radiação. O autor apresentou ainda investigação envolvendo a ultraestrutura de células de pinheiro expostas por radiação de radar, e verificou aumento de produção de resina. Isto foi interpretado como um efeito do estresse causado pela radiação, o que explicaria o envelhecimento e declínio do crescimento. Neste estudo também foi relatada uma baixa germinação de sementes de pinheiros.

IBN (2011) cita que a Suíça está investigando há anos a mortalidade de bosques. Este país também considera que o problema principal é a radiação de micro-ondas das emissoras. Nos Alpes suíços está a rede mais densa das estações emissoras. Na região de Berna, as piores lesões florestais se detectam nos lugares onde a radiação de micro-ondas é mais forte.

Balmori (2009) conclui em seus estudos indicações que a radiação de micro-ondas, provenientes da telefonia móvel, pode produzir efeitos especialmente nos sistemas nervoso, cardiovascular, imunológico e reprodutivo da vida silvestre, como:

- a) Dano no sistema nervoso;
- b) Rompimento do ritmo circadiano;
- c) Mudança na frequência cardíaca e pressão arterial;
- d) Comprometimento da saúde e imunidade;
- e) Comprometimento na construção de ninhos e fertilidade das espécies;
- f) Problemas genéticos e de desenvolvimento.

## 2.8 SISTEMAS CONSTRUTIVOS DE VEDAÇÃO NO BRASIL

Neste tópico serão abordados os sistemas construtivos voltados para vedação utilizados no Brasil. Serão analisados os seguintes sistemas construtivos de vedação:

Alvenarias:

- a) Alvenaria com blocos cerâmicos para vedação;
- b) Alvenaria com blocos cerâmicos estruturais;
- c) Alvenaria com blocos de concreto estrutural;
- d) Alvenaria com bloco de solo-cimento;

Sistemas construtivos estruturados em perfis leves:

- e) *Light Wood Framing*;
- f) *Light Steel Framing*;
- g) *Drywall*;

## 2.8.1 Alvenarias

### 2.8.1.1 Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação

A Norma Brasileira que define os parâmetros e requisitos dos blocos cerâmicos para alvenaria de vedação é a NBR 15.270-1/2005.

Segundo NBR 15.270-1 (2005), caracteriza-se como bloco cerâmico para vedação o componente cerâmico da alvenaria de vedação que possui furos prismáticos perpendiculares às faces que os contém. É produzido para assentamento com furos na horizontal e na vertical. Podem apresentar várias dimensões, conforme Anexo A.

Ainda segundo a NBR 15.270-1 (2005), a resistência à compressão ( $f_b$ ) dos blocos cerâmicos de vedação define, como níveis mínimos:

- a) 1,5 MPa para blocos assentados com os furos na horizontal (Figura 32) e,
- b) 3,0 MPa para blocos assentados com furos na vertical (Figura 33).

Tem ainda como características:

- a) Absorção de água (AA) entre o mínimo de 8% e máximo de 22%.
- b) Tolerâncias dimensionais individuais de  $\pm 5$  mm e a tolerâncias dimensionais relativas à média das dimensões são de 3 mm, para cada grandeza considerada: largura, altura e comprimento.
- c) Espessura mínima das paredes dos blocos de 7mm e dos septos de 6 mm.

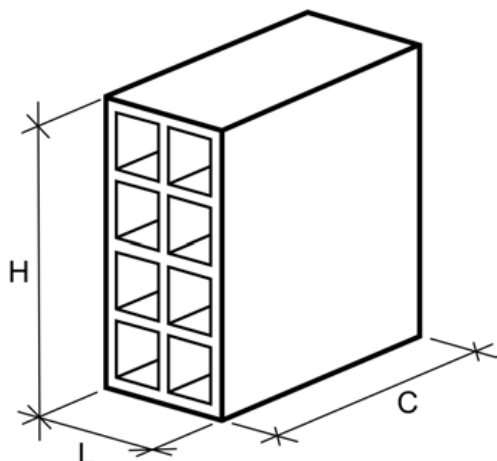


Figura 32: blocos com furo na horizontal  
Fonte: NBR 15.270-1 (2005)

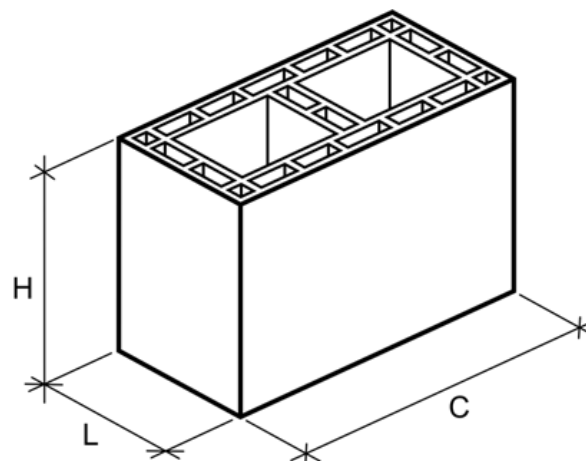


Figura 33: blocos com furo na vertical  
Fonte: NBR 15.270-1 (2005)

### 2.8.1.2 Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural

Segundo NBR 15.270-2 (2005), define-se bloco cerâmico estrutural o componente de alvenaria estrutural que possui furos prismáticos perpendiculares às faces que os contêm. Devem ser assentados com os furos na vertical. Detalhes ver Anexo B.

Conforme NBR 15.270-2 (2005), podem ser classificados como:

- a) bloco cerâmico estrutural de paredes vazadas: empregado na alvenaria estrutural não armada, armada e protendida (Figura 34);
- b) bloco cerâmicos estrutural de paredes maciças: empregado na alvenaria estrutural não armada, armada e protendida (Figura 35);
- c) Bloco cerâmico estrutural perfurado: empregado na alvenaria estrutural não armada (Figura 36).

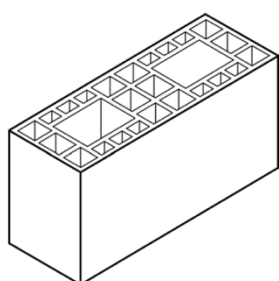


Figura 34: bloco com paredes vazadas  
Fonte: NBR 15.270-2 (2005)

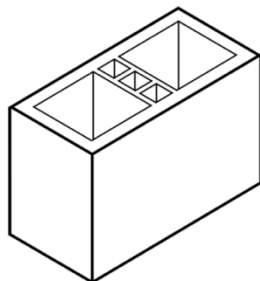


Figura 35: bloco com paredes maciças  
Fonte: NBR 15.270-2 (2005)

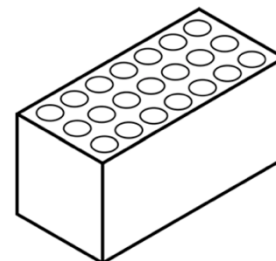


Figura 36: bloco perfurado  
Fonte: NBR 15.270-2 (2005)

Tem ainda como características, de acordo com a NBR 15.270-2 (2005):

- a) Absorção de água (AA) entre o mínimo de 8% e máximo de 22%.
- b) Tolerâncias dimensionais individuais de  $\pm 5$  mm e a tolerâncias dimensionais relativas à média das dimensões são de 3 mm, para cada grandeza considerada: largura, altura e comprimento.
- c) Espessura mínima das paredes vazadas de 8 mm e dos septos de 7 mm.
- d) Espessura mínima das paredes maciças de 20 mm e dos septos de 7 mm.
- e) Espessura mínima das paredes dos blocos perfurados de 8mm.

#### 2.8.1.3 Blocos de concreto para alvenaria estrutural

Segundo a NBR 6136 (1994), os blocos vazados de concreto, confeccionados de acordo com esta Norma, devem atender, quanto ao seu uso, às seguintes classes:

- a) classe AE - para uso geral, como em paredes externas acima ou abaixo do nível do solo, que podem estar expostas à umidade ou intempéries, e que não recebem revestimento de argamassa de cimento;
- b) classe BE - limitada ao uso acima do nível do solo, em paredes externas com revestimento de argamassa de cimento, para proteção contra intempéries e em paredes não expostas às intempéries.

A composição desses blocos, segundo a NBR 6136 (1994), utiliza somente cimento Portland. Somente agregados graúdos e miúdos de massa específica normal devem obedecer a NBR 7211. A Norma ainda permite o uso de aditivos e adições, desde que garantam as propriedades intrínsecas deste material, comprovados através de ensaios.

O dimensionamento dos blocos deve seguir os valores que constam no Anexo C, assim como os valores de resistência à compressão característica ( $f_{bk}$ ).

Tem ainda como características, de acordo com a NBR 6136 (1994):

- a) Absorção de água (AA) deve ser menor ou igual a 10%.
- b) Tolerâncias dimensionais individuais de  $\pm 2$  mm para a largura e de  $\pm 3$  mm para altura e comprimento.
- c) Espessura mínima das paredes vazadas nos blocos M-15 de 25 mm para as paredes longitudinais e 25mm ou 188 mm/m para as paredes transversais.

- d) Espessura mínima das paredes vazadas nos blocos M-20 de 32 mm para as paredes longitudinais e 25mm ou 188 mm/m para as paredes transversais.

#### 2.8.1.4 Blocos vazados de solo-cimento sem função estrutural

Segundo a NBR 10.834 (1994), os blocos vazados de solo-cimento possuem seção transversal útil entre 40 e 80% da seção transversal total, constituído por uma mistura homogênea, compactada e endurecida de solo, cimento Portland, água e eventualmente aditivos, em proporções que permitam atender às exigências desta Norma.

Conforme a NBR 8491 (1984), de abril de 1984, define-se o bloco maciço de solo-cimento como tijolo com volume real não inferior a 85% de seu volume total bruto, constituído por uma mistura homogênea de solo, cimento Portland, água e, eventualmente, aditivos.

Os blocos e tijolos de solo-cimento vazados são classificados da seguinte forma:

- a) Blocos comuns: formato retangular e dimensões nominais definidas conforme a NBR 10835/1994 (Figura 37) e;
- b) Blocos especiais: Possuem formas e dimensões nominais diferentes das que constam na NBR 10835/1994 (Figura 38). As especificações são feitas de comum acordo entre o fabricante e o comprador.

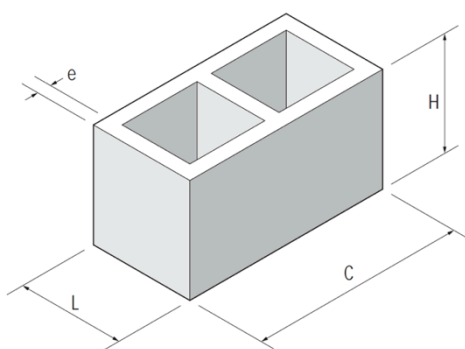


Figura 37: bloco comum de solo-cimento  
Fonte: NBR 10.834 (1994)

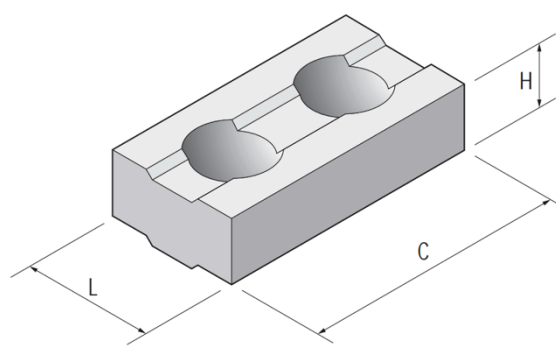


Figura 38: bloco especial de solo-cimento  
Fonte: NBR 10.834 (1994)

Os blocos vazados de solo-cimento devem ter resistência à compressão, de acordo com NBR 10.834 (1994), maior ou igual a 2,0 Mpa para valores médios, e maior ou igual a 1,7 Mpa para valores individuais, aos 28 dias de idade.

Em relação à absorção de água, conforme NBR 10.834 (1994), o valor deve ser menor ou igual a 20% para valores médios, e menor ou igual a 22% para valores individuais para blocos vazados aos 28 dias de idade.

### 2.8.2 Sistemas construtivos estruturados em perfis leves

São apresentados neste tópico, uma breve compilação com os principais componentes dos sistemas construtivos estruturados em perfis leves, a saber:

- a) *Light Wood Framing*;
- b) *Light Steel Framing*;
- c) *Drywall*.

Segundo SINAT nº 05 (2011), o sistema de *Light Wood Framing* deve ser composto por vários componentes, os quais destacam-se:

- 1) Quadros estruturais: formado por peças de madeira maciça serrada tratadas quimicamente sob pressão, quando não apresentar resistência natural;
- 2) Fechamentos externos: constituídos por chapas de OSB (*Oriented Strand Boards*), chapas de madeira compensada ou chapas cimentícia;
- 3) Fechamentos internos: constituídos por chapas de OSB, chapas de madeira compensada ou chapas cimentícia ou chapas de gesso acartonado para *Drywall*;
- 4) Isolantes térmicos: placas de lã de rocha ou vidro, poliestireno expandido ou outro material, com condutividade térmica menor que 0,06 W/m°C e resistência térmica  $\geq 0,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ ;
- 5) Materiais absorventes acústicos: placas de lã de rocha ou lã de vidro e fibras cerâmicas;
- 6) Barreiras impermeáveis: não-tecidos impermeáveis à água e permeáveis ao vapor d'água.

Maiores informações sobre a caracterização do sistema pode ser visualizada no documento completo do SINAT nº 05 de 2011.

O sistema *Light Steel Framing*, sistema estruturado por perfis de aço conformados a frio, segundo SINAT nº 03 revisão 01 (2012), tem como característica principal a utilização de perfis de aço com revestimento metálico e fechamentos em chapas delgadas. Os principais componentes deste sistema são:

- 1) Quadros formados por perfis estruturais de aço leve com proteção anticorrosiva: constituem as guias, montantes, cartola e travessas;
- 2) Fechamentos: são constituídos de chapas delgadas como placas cimentícia, réguas cimentícia, chapas de OSB e chapas de gesso acartonado;
- 3) Isolantes térmicos: placas de lã de rocha ou vidro, poliestireno expandido ou outro material, com condutividade térmica menor que  $0,06 \text{ W/m}^\circ\text{C}$  e resistência térmica  $\geq 0,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ ;
- 4) Materiais absorventes acústicos: placas de lã de rocha ou lã de vidro e fibras cerâmicas;
- 5) Barreiras impermeáveis: não-tecidos impermeáveis à água e permeáveis ao vapor d'água.

Detalhes construtivos podem ser visto na Figura 39.

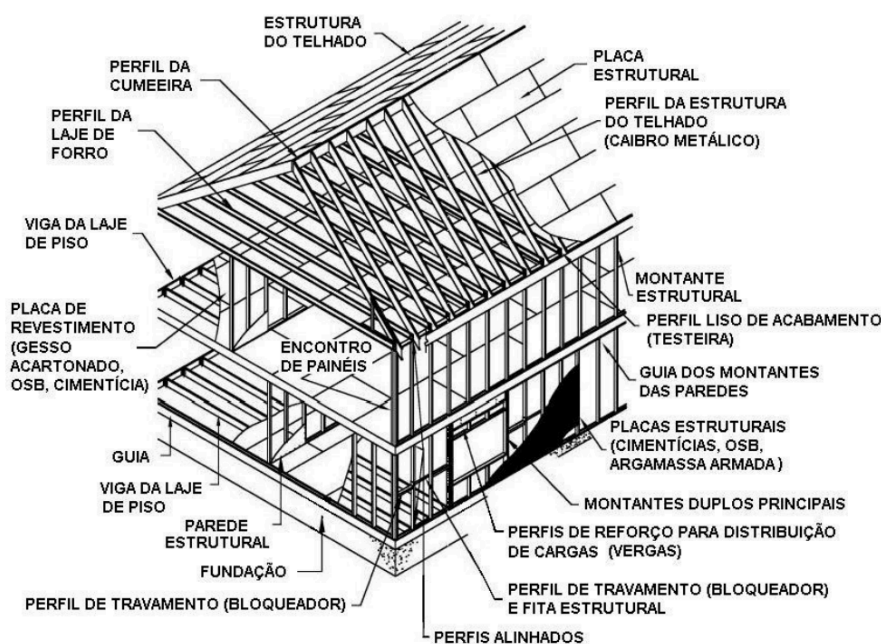


Figura 39: Esquema típico de uma residência em light steel framing  
Fonte: Silva e Silva (2008)

### 2.8.2.1 Perfis estruturais de *Light Wood Framing*

Todas as principais caracterizações do material responsáveis estruturalmente pelo sistema construtivo foi retirado da NBR 7190 (1997) – Norma para dimensionamento de uma estrutura de madeira. O objetivo desta Norma é fixar as condições gerais que devem ser seguidas no projeto, na execução e no controle das estruturas correntes de madeira, tais como pontes, pontilhões, coberturas, pisos e cimbres.



Além das regras desta Norma, devem ser obedecidas as de outras normas especiais e as exigências peculiares a cada caso particular.

A NBR 7190 (1997) define as propriedades da madeira como condicionadas por sua estrutura anatômica, devendo distinguir-se os valores correspondentes à tração dos correspondentes à compressão, bem como os valores correspondentes à direção paralela às fibras dos correspondentes à direção normal às fibras. Devem também distinguir-se os valores correspondentes às diferentes classes de umidade.

A densidade básica da madeira é a massa específica convencional obtida pelo quociente da massa seca pelo volume saturado. A massa seca é determinada mantendo-se os corpos de prova em estufa a 103°C até que a massa do corpo de prova permaneça constante. O volume saturado é determinado em corpos-de-prova submersos em água até atingirem peso constante NBR 7190 (1997). A resistência é determinada convencionalmente pela máxima tensão que pode ser aplicada a corpos de prova isentos de defeitos do material considerado, até o aparecimento de fenômenos particulares de comportamento além dos quais há restrição de emprego do material. O projeto das estruturas de madeira deve ser feito admitindo-se uma das classes de umidade em elementos estruturais, conforme Tabela 19.

Tabela 19: classes de umidade madeira

Classes de umidade	Umidade relativa do ambiente $U_{amb}$	Umidade relativa do ambiente $U_{eq}$
1	$\leq 65\%$	12%
2	$65\% < U_{amb} < 75\%$	15%
3	$75\% < U_{amb} < 85\%$	18%
4	$U_{amb} > 85\%$ durante longos períodos	$\geq 25\%$

Fonte: NBR 7190 (1997)

A Norma ainda estabelece três classes de resistência: C 20, C 25 e C 30 para madeiras de coníferas e quatro classes de resistência: C 20, C30, C 40 e C 60 para as madeiras dicotiledôneas.

Os preservativos de ação prolongada responsável por 80% da madeira tratada no mundo são, segundo NBR 7190 (1997):

- a) Creosoto;
- b) Pentaclorofenol;
- c) CCA (cromo – cobre – arsênio);
- d) CCB (cromo – cobre – boro).

Para Zenid (2009), preservação de madeira é todo e qualquer procedimento ou conjunto de medidas que possam conferir à madeira em uso maior resistência aos grandes agentes de deterioração, proporcionando maior durabilidade. O autor cita ainda que existe legislação federal e instruções normativas entre IBAMA e ANVISA que disciplinam o setor da preservação de madeiras no Brasil, tornando obrigatório para peças ou estruturas de madeira o tratamento preservativo.

A Norma recomenda, em virtude da grande variabilidade de agentes biológicos de deterioração da madeira, na falta de outras informação, os seguintes tratamentos de preservação:

- a) Dicotiledôneas: pincelamento;
- b) Coníferas: impregnação por autoclave.

No Brasil, o tratamento mais recomendado utiliza produtos hidrossolúveis, em especial o CCA (arseniato de cobre cromatado). Como ainda não há norma brasileira para o *Light Wood Framing*, utiliza-se como referência principal normas canadenses e norte-americanas que recomendam retenção mínima de 4,0 kg de ingrediente ativo/m<sup>3</sup>, para as madeiras utilizadas em aplicações gerais. Todavia, segundo Silva (2012), este produto já é proibido em diversos países como Japão, Indonésia, Suécia e Dinamarca, devido sua alta toxicidade, pois contém entre seus componentes o cromo (metal pesado) e o arsênio, considerado nocivo ao ser humano.

A NBR 7190 (1997) apresenta ainda, como informação, a tabela com os valores médios das propriedades de rigidez e resistência de algumas madeiras nativas e de reflorestamento. Em função do sistema de *Light Wood Framing* utilizar madeiras de reflorestamento, especialmente pinus, são apresentados no Anexo D apenas as propriedades destas madeiras. Segundo Nakamura (2010), esta preferência se dá pelo rápido crescimento desta árvore e maior permeabilidade ao tratamento de autoclave, fundamental para evitar ataques de insetos xilófagos.

### 2.8.2.2 Perfis estruturais de *Light Steel Framing*

Segundo SINAT nº 03 revisão 01 (2012), os tipos de perfil mais utilizados presentes nesta diretriz devem atender às dimensões mínimas e tolerâncias dimensionais estabelecidas na NBR 6.355/2003, conforme Anexo E.

Segundo Silva e Silva (2008), as guias são usadas na horizontal para formar a base e o topo dos montantes. São utilizadas também para o travamento de vigas e montantes, e montagem de vergas, conforme Figura 40.

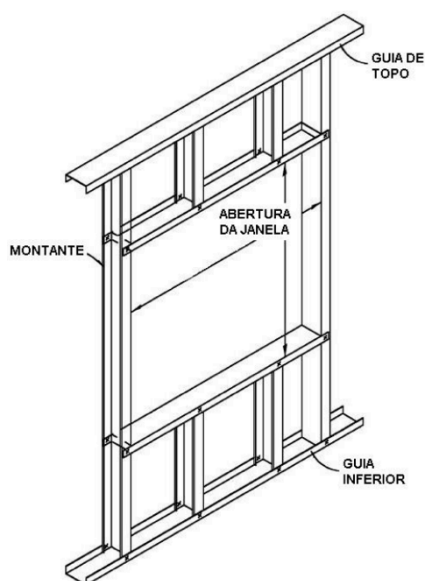


Figura 40: vista geral da instalação dos perfis  
Fonte: Silva e Silva (2008)

A resistência mínima de escoamento deve ser de 230 Mpa, segundo NBR 6.673/1981. A proteção contra-corrosão são dadas pela NM 278, NBR 7.397, NBR 7.008/2012 e NBR 15.578/2008.

As cargas laterais (cargas de vento) devem ser consideradas conforme a NBR 6.123/1998, sendo que o deslocamento horizontal no topo da edificação deve atender ao critério estabelecido na NBR 14.762/2001.

### 2.8.2.3 Perfis para paredes de *Drywall*

Os perfis de aço galvanizado para estruturas de *Drywall* devem seguir a risca as normas definidas na NBR 15.217/2009 – Perfis de Aço para Sistemas Construtivos em Chapas de Gesso para *Drywall* – Requisitos e Métodos de Ensaio.

De acordo com NBR 15.217 (2009), os perfis de aço galvanizado seguem os parâmetros do Anexo F. Os parafusos utilizados são do tipo trombeta e ponta de agulha, podendo ter dimensões (nominais) de 25 mm, 40 mm.

#### 2.8.2.4 Chapa de OSB

Segundo Zenid (2009), a chapa de OSB foi desenvolvida para suprir uma demanda estrutural. Os painéis são formados por camadas de partículas ou de feixes de fibras com resinas fenólicas. Cada painel consiste de três a cinco camadas, orientadas em ângulo de 90° umas com as outras. O autor cita ainda a grande resistência à flexão estática destes painéis.

Segundo SINAT nº 03 revisão 01 (2012), as propriedades das chapas de OSB estrutural ou com chapas de OSB com acabamento na face externa podem ser vistas no Anexo G.

Em relação à resistência a ataques de cupins e fungos, a SINAT nº 03 revisão 01 (2012) classifica conforme categorias, conforme Anexo H.

#### 2.8.2.5 Chapa de gesso acartonado

Segundo NBR 14.715 (2001), chapas de gesso acartonado são chapas fabricadas industrialmente mediante um processo de laminação contínua de uma mistura de gesso, água e aditivos entre duas lâminas de cartão, onde uma é virada sobre as bordas longitudinais e colada sobre a outra.

As chapas podem ser de três tipos, conforme Tabela 20.

Tabela 20: tipos de chapas de gesso acartonado

Tipos de chapa	Código	Aplicação
<i>Standard</i>	ST	Paredes, revestimentos e forros em áreas secas
Resistente à umidade	RU	Paredes, revestimentos e forros em áreas sujeitas à umidade por tempo limitado (de forma intermitente)
Resistente ao fogo	RF	Paredes, revestimentos e forros em áreas secas, com chapas especialmente resistentes ao fogo

Fonte: NBR 14.715 (2001)

As características geométricas devem atender os limites estabelecidos no Anexo I, assim como os limites para as características físicas e mecânicas das chapas de gesso acartonado apresentados no Anexo J.

#### 2.8.2.6 Placas cimentícias

As principais propriedades das placas cimentícia podem ser vista na Tabela 21.

Tabela 21: Método de avaliação das características de placas cimentícias

	A média dos resultados de ensaio realizados nas duas direções deve ser:
Resistência mecânica (resistência à flexão na tração)	Classe A - Categoria 2 > 4MPa Categoria 5 > 18MPa (condição saturada) Classe B – Categoria 2 > 7MPa; Categoria 5 > 22MPa (condição de equilíbrio) Conforme NBR 15.498/2007
Reação ao fogo	Baixa combustibilidade - materiais Classe I a Classe II-A (critério do CB – IT 10)
Permeabilidade à água	Baixa: em situações de ensaios pode aparecer traços de umidade na face inferior das placas, porém sem surgimento de gotas de água (critério NBR 15.498/2007)
Absorção à água	$A \leq 25\%$
Durabilidade: resistência após ciclos de imersão em água e secagem	A resistência à flexão após ensaio não deve ser inferior a 0,70 da resistência de referência (critério NBR 15.498/2007)
Durabilidade: resistência à água quente	A resistência à flexão após ensaio não deve ser inferior a 0,70 da resistência de referência
Variação tridimensional em função de gradientes higrotérmicos	conforme especificação de projeto

Fonte: SINAT nº 03 revisão 01 (2012)

### 2.8.2.7 Barreira impermeável

Outro componente deste sistema construtivo é a membrana hidrófuga. Este material forma uma barreira contra o calor, vento e umidade. Permite a saída do vapor d'água do interior das paredes, sendo sua composição 100% fibras de polipropileno (TYPAR, 2013). Este material é instalado na face externa da parede, para proteger a estrutura de madeira da umidade.

## 2.9 ANÁLISES DE ATENUAÇÃO ELETROMAGNÉTICA EM SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Neste tópico serão abordados os métodos para analisar a atenuação eletromagnética em alta frequência e micro-ondas de materiais e sistemas construtivos.

De acordo com ITU K.70 (2007), as restrições envolvendo a exposição a CEMs são baseadas diretamente nos seus efeitos na saúde humana.

Seidel e Rappaport (1992) apresentam em seu trabalho análises estatísticas de medições de perdas no caminho em uma frequência de 914 MHz dentro de quatro edificações, e então classificam as medições baseadas nas envoltórias físicas do espaço. Um modelo estatístico de uma forma simples " $d$ " é usado para relatar perda média para o registro da distância onde a distância  $d$  é a distância entre o transmissor e o receptor medidos em três dimensões, e  $n$  é a média exponencial da perda, sendo  $n=2$  em espaço aberto.

Segundo Seidel e Rappaport (1992), as medições em edifícios de escritório tinham transmissores e receptores localizados em um mesmo nível (pavimento), a fim de quantificar a perda causada pelas divisórias e paredes de concreto entre os equipamentos.

Neste experimento, os autores utilizaram uma frequência de 914 MHz transmitida por uma antena monopolo omnidirecional de 1/4 de onda a uma altura de 1,0 ou 1,5 m acima do piso. A antena omnidirecional do receptor móvel estava a 1,0 ou 1,8 m acima do piso. O receptor podia medir instantaneamente sinais entre 0 e -91 dBm acima de 15 kHz. Com uma potência de transmissão de +29 dBm, a máxima perda do sistema era 120 dB. Esta configuração foi projetada pois contempla o alcance máximo esperado para uma rede de comunicações para uso pessoal.

A Tabela 22 apresenta o FAF (*Floor Attenuation Factor*), o desvio padrão das diferenças medidas e previstas e o número de pontos analisados.

Tabela 22: fator de atenuação de piso (FAF) médio em dB para diferentes níveis de piso entre transmissor e receptor e os desvios padrão

	FAF (dB)	$\sigma$ (dB)	nº de localidades
Edifício para escritório 1:			
Através de 1 pvto.	12,9	7,0	52
Através de 2 pvto.	18,7	2,8	9
Através de 3 pvto.	24,4	1,7	9
Através de 4 pvto.	27,0	1,5	9
Edifício para escritório 2:			
Através de 1 pvto.	16,2	2,9	21
Através de 2 pvto.	27,5	5,4	21
Através de 3 pvto.	31,6	7,2	21

Fonte: Seidel e Rappaport (1992)

A relação entre a análise do modelo com o análise *in loco* mostraram que há maior precisão quando diferentes edifícios e áreas diferentes dentro de uma mesma edificação são consideradas separadamente.

O Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia dos Estados Unidos, por meio do Programa de Automação da Construção nº 3, intitulado Atenuação do Sinal Eletromagnético em Materiais de Construção, publicou uma série de dados referente à atenuação de ondas eletromagnéticas em vários sistemas construtivos. Segundo Stone (1997), este experimento pode apresentar dados sobre:

- a) A atenuação de potência em função da espessura do material;
- b) Os valores da permissividade elétrica e constantes dielétricas de um determinado material em função da frequência.

Stone (1997) analisou os seguintes materiais:

- a) Tijolo cerâmico;
- b) Bloco de concreto;

- c) Concreto simples;
- d) Vidro;
- e) Madeira;
- f) Compensado de madeira;
- g) *Drywall*;
- h) Concreto armado;
- i) Malhas reforçadas de aço;

Segundo Stone (1997), para cada material foram produzidas amostras com diferentes espessuras para medir a atenuação em função da distância de penetração. Cada amostra foi colocada em um área de testes especial que consiste em antenas tipo corneta. Estas estavam dispostas a 2 metros de distância com uma barreira de isolamento de metal RF entre as antenas para eliminar os sinais refletidos.

Ainda segundo estudo de Stone (1997), o obstáculo de isolamento continha uma vão em seu centro contra o qual as amostras eram posicionadas. As medições da perda de potência foram tomadas em intervalos de 2 MHz, na faixa de 0,5 a 2 GHz, e de 3 a 8 GHz. Espectros de potência de frequência foram gerados para cada material em função da espessura.

Nesse estudo, a antena de recepção de uma unidade móvel foi localizada no lado oposto do material a ser analisado. O sistema de transmissão de micro-ondas utilizou o equipamento Hewlett-Packard HP8530 analisador de rede / receptor de micro-ondas combinado com um sintetizador de frequência HP 83623A, um conversor de frequência HP 8511A, e um controlador de múltiplos canais HP 85330 A, conforme imagens esquemáticas na Figura 41 e Figura 42.



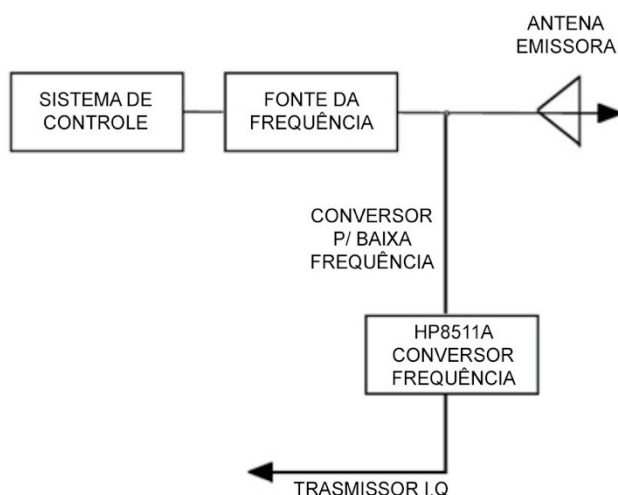


Figura 41: desenho esquemático do sistema de transmissão

Fonte: Stone (1997)

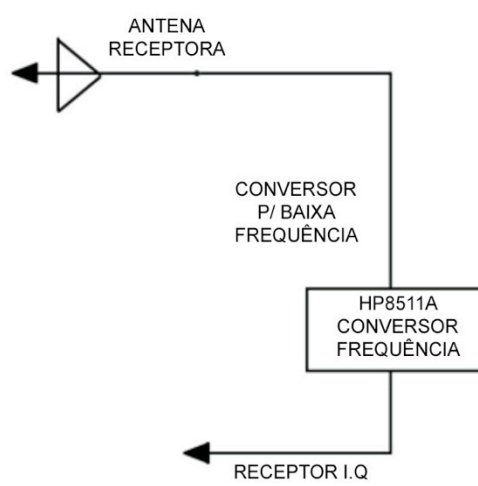


Figura 42: desenho esquemático do sistema de recepção

Fonte: Stone (1997)

Para as medições com uma largura de banda de frequência “baixa” (0.5 até 2.0 GHz), foi utilizada a antena *dual-polarize Quad-ridged Horn*, modelo WJ-48450 *Watkins-Johnson*, como se pode ver na Figura 43. Estas antenas corneta têm a capacidade de emitir sinais polarizados horizontalmente e verticalmente. Neste teste, apenas a polarização vertical foi utilizada. Na Figura 44, é possível verificar sua utilização medindo a atenuação de uma parede de alvenaria.

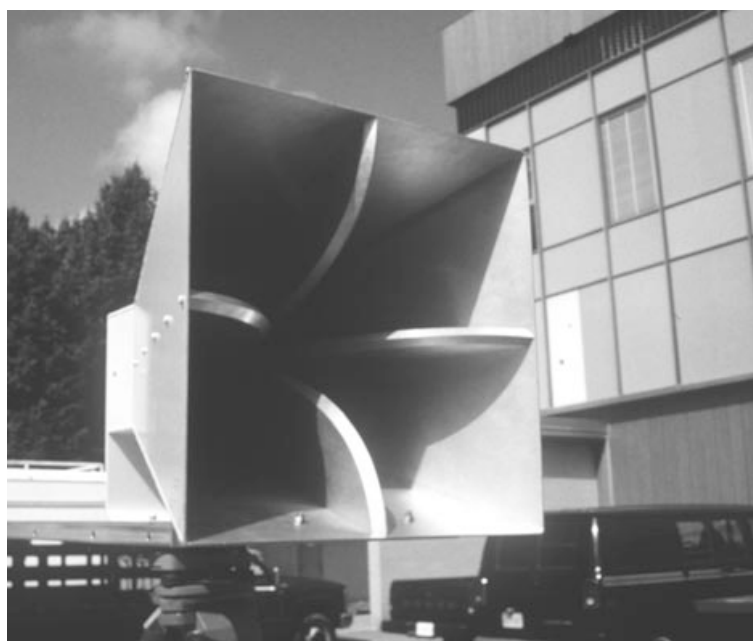


Figura 43: Quadridged 0.5 a 2.0 GHz utilizada nos testes NIST

Fonte: Stone (1997)

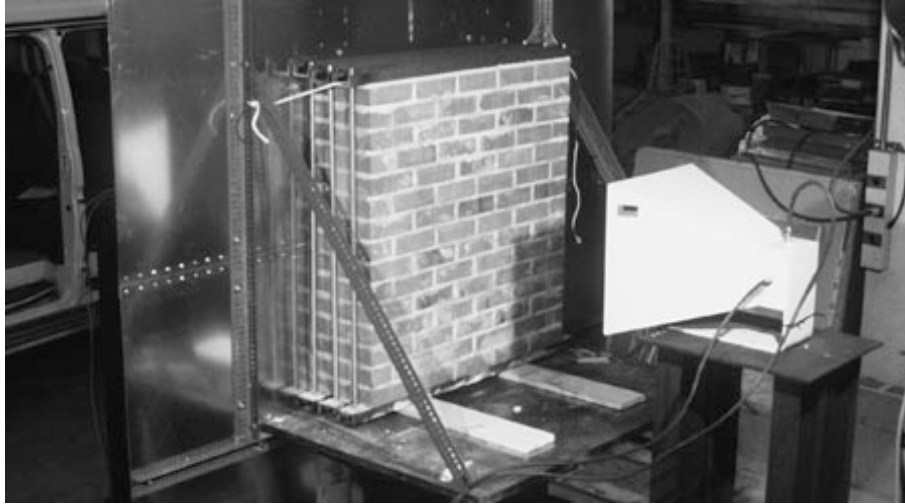


Figura 44: experimento com a antena Quadridged 0.5 a 2.0 GHz  
Fonte: Stone (1997)

Segundo Stone (1997), nos testes com variação de 3.0 a 8.0 GHz, foram utilizadas as antenas FR6400 da *Flam & Russel, Inc*, com padrões de radiação com baixa estrutura de lóbulos laterais, conforme Figura 45.

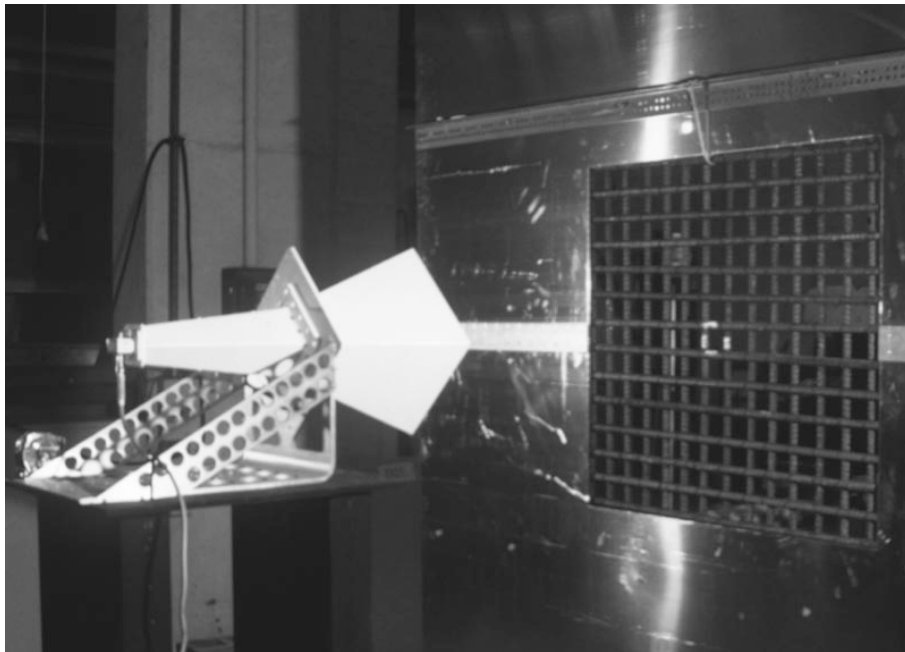


Figura 45: Flam & Russel Diagonal Range Illumination Horn (3.0 a 8.0 GHz)  
Fonte: Stone (1997)

As instalações onde ocorreram os ensaios, devido ao grande número de amostras em tamanho representativo, se localizavam dentro do laboratório interno do NIST equipado com guindaste para suspender e movimentar as amostras. Segundo Stone (1997), ensaios preliminares com sistema de radar mostraram problemas devido aos

múltiplos sinais e distorcendo (através das amostras) a transmissão do sinal. Cálculos mostraram que um escudo eletromagnético, com 2,5 m<sup>2</sup> e 3 mm de espessura do painel feito de alumínio bloqueariam qualquer múltiplo sinal refletido, exceto aqueles originados das reflexões internas dentro da espessura da amostra, conforme Figura 46.

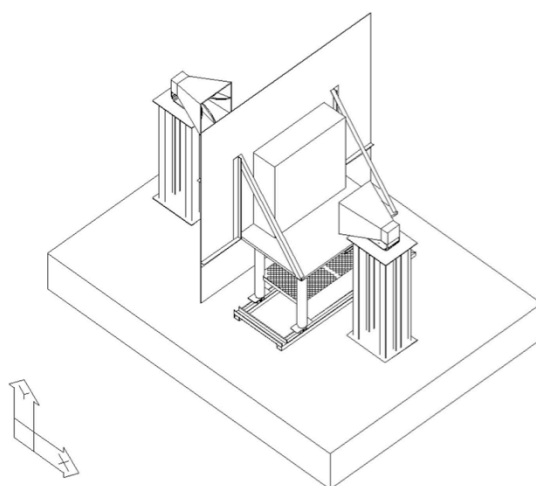


Figura 46: vista isométrica do NLS teste

Fonte: Stone (1997)

O escudo eletromagnético tem um vão de 914 mm<sup>2</sup>, no centro cujo sinal transmitido pode passar sem obstrução (Figura 47). A difração de múltiplos sinais originada pelas bordas do escudo alcançam o receptor em tempo posterior, sendo facilmente eliminada.

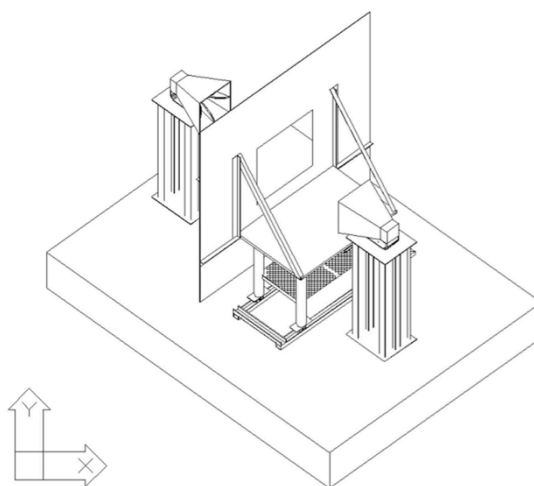


Figura 47: vista isométrica do NLS teste, mostrando o vão central no escudo eletromagnético

Fonte: Stone (1997)

Este estudo contou ainda com um sistema de trilhos que permitiam o deslocamento das amostras de forma perpendicular à linha de transmissão, a fim de proceder ensaios com várias amostras ao mesmo tempo, analisando sistemas com espessuras diferentes. Cada material ou sistema construtivo contou com ensaios com 3 ou 4 espessuras diferentes, como pode ser visto na Figura 48, Figura 49 e Figura 50. A madeira e o compensado de madeira foram analisados em estado seco e úmido.

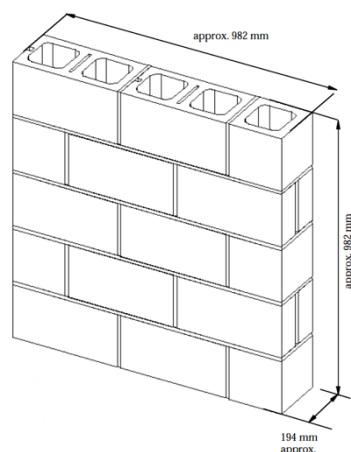


Figura 48: amostra parede simples

Fonte: Stone (1997)

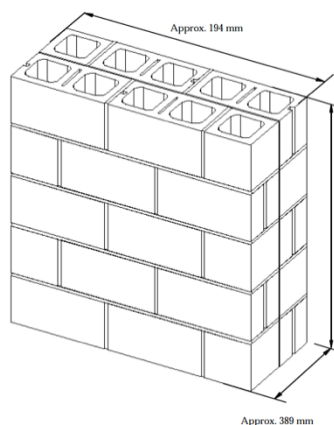


Figura 49: amostra parede dupla

Fonte: Stone (1997)

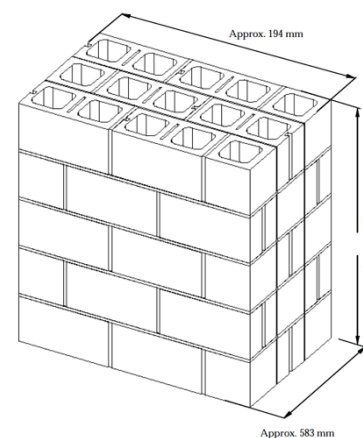


Figura 50: amostra parede tripla

Fonte: Stone (1997)

Conforme Stone (1997), o protocolo de teste consistia nos seguintes passos:

- 1) Analisar o espectro de resposta espaço livre: que consiste em analisar no começo e final dos dias de teste a resposta do espectro sem nenhuma amostra na área de teste;
- 2) Analisar o espectro de resposta para as amostras testadas;
- 3) Testes de variação espacial: Dez testes distintos foram realizados para cada amostra. Após cada medição na plataforma, a amostra era deslocada 6 milímetros perpendicular à linha de transmissão de sinal entre as duas antenas. O teste foi repetido até o deslocamento máximo de 60 mm.

A fase de processamento de dados utilizou vários procedimentos para melhorar a utilidade do espectro de atenuação, conforme Stone (1997).

Todos as amostras de todos os materiais analisados foram devidamente caracterizados. Todas as dimensões de altura, largura e espessura foram anotadas de cada unidade de cada sistema, incluindo cavidades, como por exemplo a amostra de parede de tijolos cerâmicos (Tabela 23).

Tabela 23: dimensões de uma parede de tijolos assentados

Número da amostra	Altura ao longo da parede	Largura parede (mm)	Comprimento Tijolo (mm)	Altura Tijolo (mm)	Espessura argamassa base (mm)	Largura argamassa superior (mm)
1	0.0	90.3	192.4	56.5	10.3	10.8
2	63.5	90.9	190.5	56.8	12.9	11.1
3	130.2	90.3	193.4	55.6	11.4	13.3
4	200.0	91.1	192.9	55.2	15.4	10.4
5	269.9	90.1	192.1	55.7	15.2	18.5
6	336.6	89.4	192.4	54.0	15.7	14.1
7	406.4	91.1	191.7	56.2	11.8	16.4
8	476.3	91.2	192.5	55.1	16.2	12.7
9	546.1	89.4	191.1	55.4	19.2	13.3
10	619.1	91.2	191.5	55.9	13.9	11.4
11	689.0	89.8	191.4	55.5	11.1	15.0
12	755.7	88.8	192.7	54.8	15.6	14.2
13	828.7	89.8	192.9	54.4	14.3	11.8
14	898.5	91.3	192.2	55.9	12.3	17.1
15	968.4	89.1	191.6	54.8	15.8	10.5
Média		<b>90.3</b>	<b>192.1</b>	<b>55.4</b>	<b>14.1</b>	<b>13.4</b>
Desvio padrão		0.8	0.8	0.8	2.4	2.5

Fonte: Stone (1997)

As argamassas utilizadas foram submetidas a testes de compressão e seus traços caracterizados.

Como ilustração, são apresentados na Figura 51 e na Figura 52 os coeficientes de transmissão e a magnitude do sinal recebido, respectivamente, para testes em alvenaria de tijolos cerâmicos.

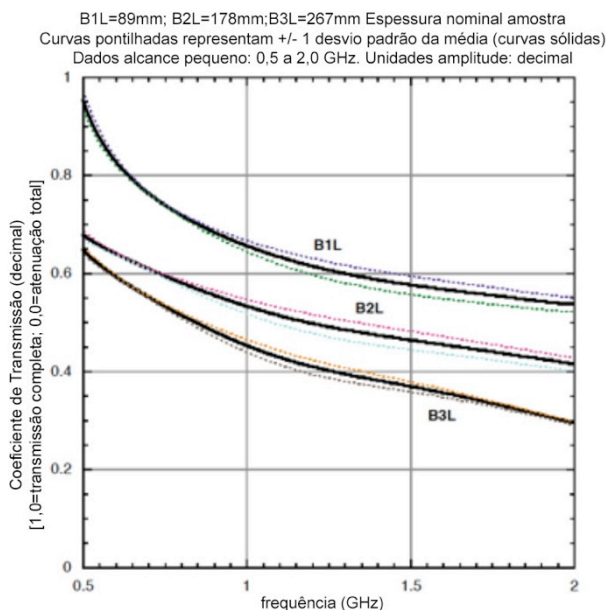


Figura 51: coeficiente de transmissão para tijolos cerâmicos

Fonte: Stone (1997)

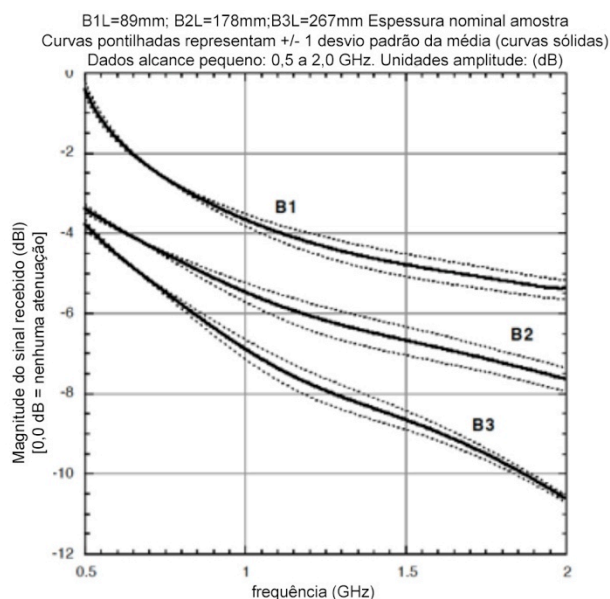


Figura 52: magnitude de sinal recebido para tijolo cerâmico

Fonte: Stone (1997)

Wilson (2002) em seu experimento investiga a propagação de RF através de diferentes sistemas construtivos comuns dentro de uma faixa de frequência. O autor procura analisar e comparar a energia transmitida, refletida e absorvida em duas bandas de frequência específicas para sistemas WLAN nos padrões IEEE 802.11:

- a) 2.2 – 2.4 GHz ISM e;
- b) 5.15 – 5.35 GHz UNII.

Primeiramente foram realizados testes nos materiais compostos, tanto em ambiente construído como modelos construídos em laboratório para determinar e modelar as perdas através destas estruturas. Estes são considerados como ensaios em espaço aberto, realizados com antenas tipo corneta. Foram analisados os seguintes materiais em laboratório:

- a) vidro;
- b) *limestone*;
- c) alvenaria de tijolos cerâmicos;
- d) paredes de concreto;
- e) paredes de *Drywall*.

No ambiente construído, foram analisados:

- a) pisos de edifícios e;

b) paredes internas e externas.

O segundo tipo de ensaio realizado por Wilson (2002) foi realizado em materiais homogêneos, para determinar a permissividade complexa precisa do material, na qual poderia ser utilizada para cálculos da perda teórica através de qualquer composto. A técnica mais comum para este tipo de teste consiste em determinar a permissividade por meio de parâmetros de difusão quando a amostra é colocada no caminho de uma onda eletromagnética.

Wilson (2002) cita que o primeiro teste para estimar permissividade usa o duplo pressuposto de uma onda incidente planar e material dielétrico plano-paralelo infinito. Além disso, a permissividade é considerada constante ao longo da gama de frequência observada. Para as estruturas compostas uma estimativa da permissividade relativa foi realizada, embora as equações sobre o comportamento das ondas em estruturas compostas sejam mais complexas do que para os materiais homogêneos.

Todas as medições, segundo Wilson (2002), foram realizadas dentro de uma câmara anecoica, com o propósito de eliminar interferência do ambiente externo e minimizar as múltiplas reflexões. Foram utilizadas duas antenas *ETS Lindgen 3115* (*double ridged guided horns*) com faixa de banda de 1 – 18 GHz, conforme Figura 53 e Figura 54.



Figura 53: equipamento de teste e antena receptora

Fonte: Wilson (2002)



Figura 54: antena transmissora, quadro absorvedor e chapa de cobre

Fonte: Wilson (2002)

Segundo Wilson (2002), a configuração do experimento consistiu em alocar uma antena em uma “zona de silêncio” no final da câmara com um suporte para as amostras 76,2 cm afastado da antena transmissora. A moldura de 1 x 1 m,

constituída de material absorvente de sinal, possui um vão de 43 x 43 cm no centro (correspondendo a 2,9 comprimentos de onda em 2 GHz) e foi projetada para minimizar difração em volta da moldura, conforme Figura 55.

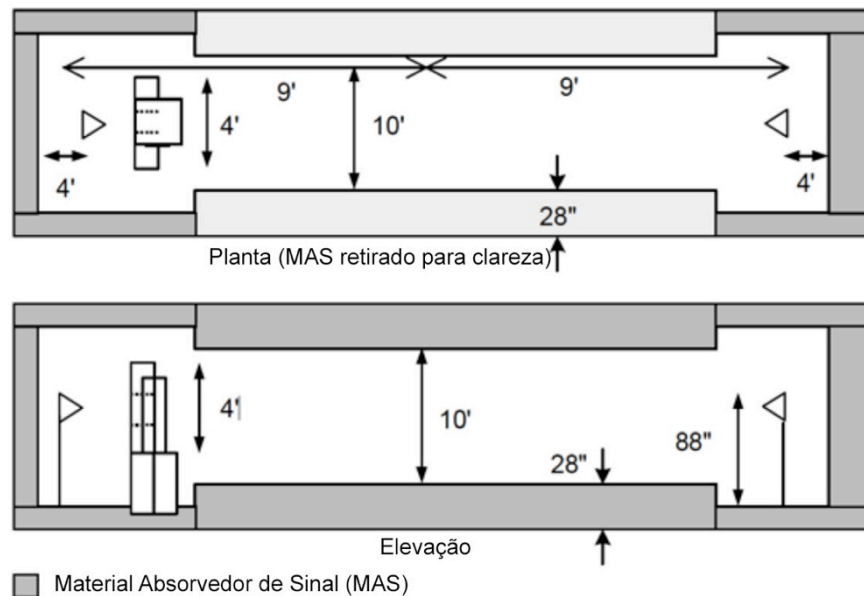


Figura 55: diagrama esquemático da configuração do experimento

Fonte: Wilson (2002)

Ainda sobre este estudo, foi utilizado um analisador de rede HP 8720D para medir os parâmetros de difração em cada material, conectado às duas antenas. O equipamento foi configurado para uma varredura de 1 a 12 GHz em 801 passos, usando largura de banda de 30 kHz. Foram realizadas duas medições de referência, uma com o suporte vazio e outra com a chapa de cobre na mesma janela. Já as demais medições foram realizadas com os demais materiais.

Wilson (2002) destaca ainda as fontes de ruído que podem prejudicar o trabalho. O autor destaca que a principal fonte de ruído em um experimento como este é o equipamento de teste em si. Existe ainda a questão da energia transmitida através da difração em volta da amostra. Sistemas construtivos construídos com várias peças podem permitir ainda a propagação de onda por vazios entre as peças. A estrutura de teste foi posicionada próxima à antena transmissora de forma a minimizar a distorção da onda incidente. Porém, esta proximidade torna ainda mais difícil isolar o sinal refletido através da antena.

Os resultados obtidos por Wilson (2002) incluem vários materiais utilizados na construção civil. Estes foram devidamente especificados em função de suas



dimensões e propriedades. Na Tabela 24 destacam-se os com maior relevância para a construção civil no Brasil.

Tabela 24: coeficiente de transmissão e reflexão em 2,3 GHz e 5,25 GHz

Material	T (dB)			R (dB)		
	2,3 GHz	5,25 GHz	$\Delta$	2,3 GHz	5,25 GHz	$\Delta$
Acrílico (7,1 mm)	-0,3560	-0,9267	0,5707	-12,23	-5,65	-6,5753
Tijolo cerâmico (seco)	-4,4349	-14,621	10,186	-12,53	-8,98	-3,5459
Tijolo cerâmico (úmido)	-4,5119	-14,599	10,087	-12,52	-9,41	-3,1185
Telha	-0,0872	-0,1795	0,0923	-21,07	-18,7	-2,3470
Vidro	-0,4998	-1,6906	1,1908	-11,29	-4,9	-6,3446
<i>Drywall</i> (12,8 mm)	-0,4937	-0,5149	0,0211	-12,11	-11,5	-0,6390
Chapa aglomerado	-1,6511	-1,9508	0,2997	-8,59	-14,1	5,5359
Chapa compensado	-1,9138	-1,8337	-0,0801	-9,05	-30,5	21,422

Fonte: Wilson (2002)

Na Figura 56 e Figura 57, se pode observar o esquema de medição de um sistema construtivo.



Figura 56: vista frontal de amostra de bloco cerâmico

Fonte: Wilson (2002)



Figura 57: vista posterior de amostra de bloco cerâmico

Fonte: Wilson (2002)

Outro trabalho que procurou verificar como diferentes paredes e diferentes materiais afetam a atenuação eletromagnética nas frequências de 433 MHz, 868 MHz, 2,4

GHz e 5,0 GHz foi desenvolvido por Ali-Rantala *et al.* (2003). Conforme os autores, foram analisadas paredes de concreto, madeira e chapa de gesso, em diferentes espessuras: 0,15 m, 0,20 m, 0,25m, 0,30m e 0,40 m. Esta análise contou com a utilização de modelos de propagação computacional, chamados *Multi-Channel-Coupling*. Este estudo desenvolveu uma simulação de ambiente construído.

Segundo Ali-Rantala *et al.* (2003), as propriedades eletromagnéticas com os maiores efeitos na atenuação de um sinal são a constante dielétrica ( $\epsilon_r$ ) e a condutividade ( $\sigma$ ). Assim, foram utilizados os seguintes parâmetros para os materiais analisados:

- a) concreto:  $\epsilon_r = 4$  e  $\sigma=0,05$  S/m;
- b) chapa de gesso:  $\epsilon_r = 2,3$  e  $\sigma=0,03$  S/m;
- c) madeira:  $\epsilon_r = 4,2$  e  $\sigma=10 \times 10^{-5}$  S/m;

Os autores reforçam que a umidade na madeira afetam significativamente as propriedades eletromagnéticas da madeira. A madeira, segundo Ali-Rantala *et al.* (2003), tem baixa condutividade e pode ser considerada como isolante. Os resultados deste estudo em paredes de madeira podem ser vistos na Tabela 25.

Tabela 25: resultados de atenuação em paredes de madeira (a espessura não afeta os resultados)

Nº amostra	433 MHz	868 MHz	2,4 GHz	5,0 GHz
1	- 35 dB	- 45 dB	- 60 dB	- 65 dB
2	- 35 dB	- 45 dB	- 55 dB	- 60 dB
3	- 35 dB	- 40 dB	- 50 dB	- 55 dB
4	- 35 dB	- 40 dB	- 50 dB	- 55 dB
5	- 35 dB	- 40 dB	- 50 dB	- 55 dB
6	- 35 dB	- 40 dB	- 50 dB	- 55 dB
7	- 35 dB	- 40 dB	- 55 dB	- 60 dB
8	- 35 dB	- 45 dB	- 60 dB	- 65 dB

Fonte: Ali-Rantala *et al.* (2003)

Os resultados apresentados neste trabalho para paredes de concreto mostraram que a espessura da parede exerce influência na atenuação eletromagnética, conforme Tabela 26.

Tabela 26: resultados de atenuação em paredes de concreto (f = 2.4 GHz)

E (m)	Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4	Nº 5	Nº 6	Nº 7	Nº 8
0,15 m	-80dB	-70dB	-55dB	-45dB	-45dB	-55dB	-65dB	-80dB
0,20 m	-90dB	-75dB	-60dB	-45dB	-65dB	-65dB	-70dB	-90dB
0,25 m	-100dB	-90dB	-60dB	-50dB	-65dB	-65dB	-80dB	-100dB
0,3 m	-100dB	-90dB	-60dB	-50dB	-65dB	-65dB	-80dB	-100dB
0,40 m	-120dB	-100dB	-65dB	-55dB	-70dB	-70dB	-80dB	-120dB

Fonte: Ali-Rantala *et al.* (2003)

Segundo Ali-Rantala *et al.* (2003), os resultados desta pesquisa mostraram que a atenuação de sinais transmitidos dependem apenas da frequência utilizada e não da espessura das paredes quando as paredes eram de madeira. Quando as paredes eram de concreto e de chapa de gesso, os modelos mostraram que não apenas a frequência da transmissão mas também a espessura têm efeito significativo na atenuação do sinal, considerando que a atenuação das chapas foi maior que a do concreto.

Dobkin (2005), analisa estudo de Stone (1997) e apresenta algumas limitações de dados, como nenhum experimento para medir a reflexão das amostras, embora os dados foram medidos de forma a retirar qualquer reflexão do ambiente em volta da área de teste. O autor continua e cita o fato que o ângulo de incidência é perpendicular à amostra, resultando em coeficientes de reflexão da maioria dos materiais menor que 0.5.

Ainda segundo Dobkin (2005), em função de os dados analisados por Stone (1997) utilizarem dois sistemas com alcances diferentes, observou-se que os dados analisados com frequências mais baixas apresentaram valores consistentes e sensíveis. O mesmo não foi observado com as altas frequências, que mostraram uma dependência de frequência complexa e são quantitativamente inconsistentes com os dados de frequência mais baixa.

Segundo estudo de Peña *et al.* (2003, *apud* Dobkin, 2005), análises de blocos e concreto sob radiação de 900 MHz mostraram resultados semelhantes aos pesquisados por Stone (1997). O resultado para 23 cm de parede de tijolo resultou em 6 dB de absorção, consistente com o outro estudo para uma parede de tijolo de

9 cm. Porém, estudos com concreto armado mostraram absorção muito menor que reportado por Stone (1997).

Dobkin (2005) cita ainda pesquisa realizada por Reifsneider (2003), na qual as recomendações de atenuação de materiais como vidro, chapas para divisórias, madeira e tijolo, são em boa parte consistentes com as de Stone (1997), enquanto que os dados para concreto são consistentes com Peña *et al.* (2003), como é apresentado na Tabela 27.

Tabela 27: valores recomendados de atenuação (dB) em vários sistemas de construção internos

Obstáculo	900 MHz	1.8 GHz	2.4 GHz
Parede interna ( <i>Drywall</i> )	2	2,5	3
Tijolo, concreto, bloco de concreto	13	14	15
Parede de divisória	1	1,5	2
Porta de Madeira	2	2,5	3
Vidro (janela)	2	2,5	3
Vidro (janela) com isolamento	10	10	10

Fonte: Reifsneider (2003 *apud* Dobkin, 2005)

Dobkin (2005) afirma ainda que estudos realizados por diversos autores apresentam constantemente resultados discrepantes entre si, de forma que o autor resume a discussão a respeito dos materiais de construção com algumas observações:

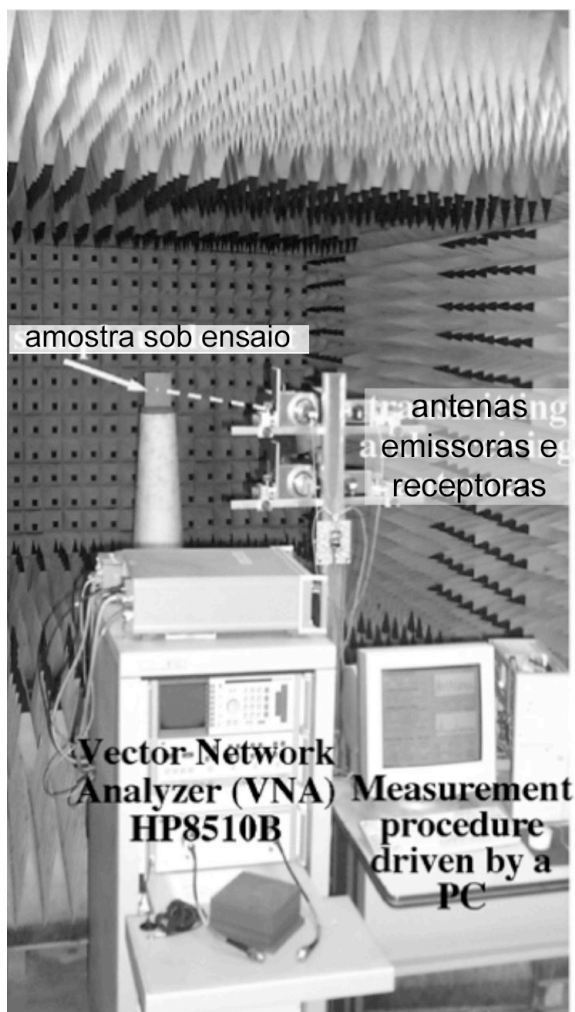
- a) Absorção de materiais comumente utilizados em construção com espessuras comuns podem ser classificados como:
  - Grande perda: concreto espesso, alvenaria ou madeira maciça: 10-20 dB / parede;
  - Perda modesta: paredes simples de tijolos, alvenaria fina, painéis de madeira, paredes de estuque: 5-10 dB / parede;
  - Baixa perda: madeira compensada, vidro, portas de madeira, as paredes de divisórias, paredes de *Drywall*: menos de 5 dB / obstáculo.
- b) A maioria dos materiais tem índices de refração em torno de 2 – 3, considerando um ângulo de incidência normal em torno de  $\Gamma = 0,4$  para camadas espessas.

- Fina camada de reflexão depende fortemente da espessura, variando de cerca de 0,1 a 0,6. No entanto, mesmo com o pico isto representa a perda de transmissão de um par de decibéis;
- Perda de reflexão vai se tornar significativa para a radiação polarizada verticalmente nas paredes em ângulos de incidência de mais de 70 graus;
- Reflexões de pisos e tetos estão sujeitos a ângulo de Brewster para antenas de polarização vertical.

Em outro estudo, Sagnard e El Zein (2005) desenvolveram estudo no qual são propostos métodos de processamento de dados para a caracterização dielétrica de coeficientes de reflexão dependente da frequência de materiais de construção, considerando uma faixa de frequência ampla. Dois tipos de abordagens foram desenvolvidas para obter, a partir de medições do espectros, as estimativas da permissividade complexa *versus* frequência equivalente ou reconstrução da resposta ao impulso. Ambas as abordagens têm sido utilizadas para a caracterização de diferentes tipos de materiais de construção. Uma base de dados das respostas dielétricas dos materiais está em construção, a fim de proporcionar o simulador de propagação determinista, com as características de materiais de construção.

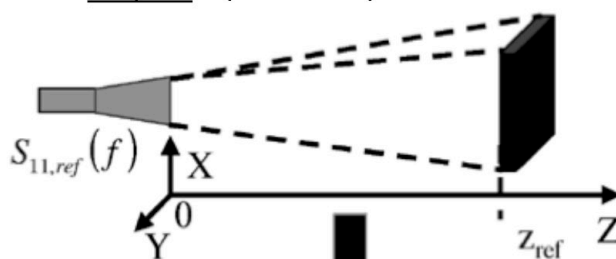
Segundo Sagnard e El Zein (2005), o processo de modelação, com base nas relações analíticas de Fresnel, consiste em determinar os coeficientes de reflexão de um material dielétrico em camadas, em ambas as polarizações TE e TM (perpendicular e paralela, respectivamente), em frequências baixas pertencentes ao espectro do sinal do sinal transitório incidente com uma onda frontal plana. Este artigo, enfim, procura caracterizar os materiais de construção de camada única, com permissividade complexa relativa  $\epsilon$  e espessura  $d$ , com ou sem uma placa metálica nos fundos. Para comprovar a teoria, Sagnard e El Zein (2005) utilizaram acrílico (*plexiglass*) como referência por ter suas propriedades dielétricas bem caracterizadas em outro estudo.

O trabalho realizado por Sagnard e El Zein (2005) foi realizado em uma câmara anecoica de 4 m de profundidade. Foram utilizadas quatro antenas tipo corneta de banda X as quais estavam posicionadas na frente das amostras a serem analisadas, colocadas sobre um pilar coberto de poliestireno a 3 m de distância das antenas, conforme Figura 58.

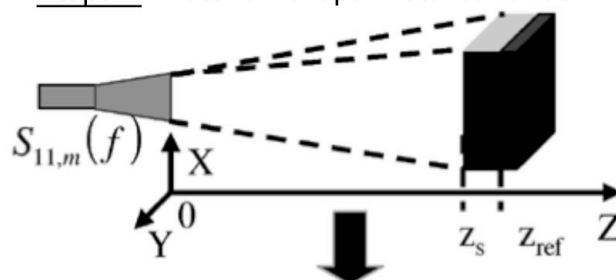


### 3 medidas de reflexão:

Etapa 1: apenas chapa metálica



Etapa 2: material+chapa metálica fundo



Etapa 3: apenas material

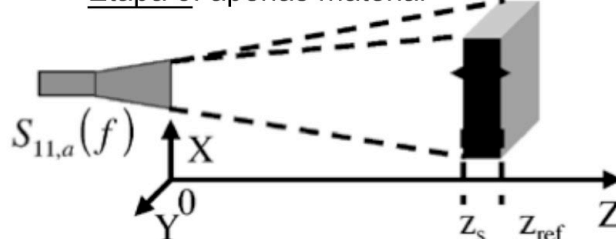


Figura 58: configuração do experimento dentro de uma câmara anecoica para medir reflexões

Fonte: Sagnard e El Zein (2005)

De acordo com Sagnard e El Zein (2005), a disposição das antenas dentro da câmara permite medições com vários estados de polarização, utilizando um analisador de rede vetorial HP 8510B, que fez varreduras entre 8 e 12,5 GHz.

As amostras, compostas de materiais puros, mediam 17x17cm. Os materiais analisados foram:

- a) PVC;
- b) Estruturas de madeira;
- c) Gesso;
- d) Argamassa;
- e) Concreto.

Para caracterizar a amostra dielétrica, o que implica na determinação da permissividade complexa, três medidas foram realizadas com as mesmas dimensões e configurações da antena, discriminadas abaixo:

- a) Medida  $S_{11\text{ ref}}(f)$ : utilizando uma chapa metálica com as mesmas dimensões da amostra (etapa da calibração);
- b) Medida  $S_{11\text{ m}}(f)$ : utilizando a estrutura composta do material acoplado à chapa metálica;
- c) Medida  $S_{11\text{ a}}(f)$ : utilizando apenas o material a ser analisado.

Após estas medições, foi utilizado um algoritmo de otimização para determinar a permissividade complexa, conforme Tabela 28.

Tabela 28: características de materiais de construção medindo a reflexão

Amostras	Espessura $d$ (cm)	Permissividade complexa $\epsilon$ (valor médio em 8;12,5 GHz)	$T_{\text{BF}}$ (ns)
PVC (M1)	4,05	$4,34 - j 0,028$	0,58
Madeira de Faia (M2)	3,86	$3,81 - j 0,2$ (S)	0,5 (S)
		$4,54 - j 0,2w3$ (P)	0,55 (P)
Madeira Sipo (M3)	6,34	$3,7 - j 0,17$	0,81
Gesso 100% (M4)	3,95	$5,74 - j 0,06$	0,51
Gesso (80%) + Silica (20%) (M5)	3,73	$4,33 - j 0,095$	0,6
Argamassa (M6)	4,78	$7,1 - j 0,27$	0,85
Concreto (a/c 0,5) (M7)	4,84	$7,7 - j 0,33$	0,9
Concreto (a/c 0,7) (M8)	5,07	$6,9 - j 0,4$	0,89

Fonte: Sagnard e El Zein (2005)

Segundo Farahani (2008), várias medições experimentais chegaram a resultados aproximados quanto à atenuação de sinal causado por vários objetos. A Tabela 29, apresenta alguns resultados aproximados e variam consideravelmente de um experimento ao outro.

Tabela 29: Atenuação de sinal em vários objetos

Objeto (temperatura ambiente)	Frequência Sinal	Atenuação do Sinal (dB)
Divisória Naval (2") (SEIDEL & RAPPAPORT, 1992)	914 MHz	1,5
Piso de um edifício (SEIDEL & RAPPAPORT, 1992)	914 MHz	17
Piso de um edifício (SEYBOLD, 2005)	1 - 2 GHz	23
Parede de concreto interna (4") (SEYBOLD, 2005)	1 - 2 GHz	6
Parede de alvenaria interna (5") (SEYBOLD, 2005)	1 - 2 GHz	2,5
Chapa de gesso (SEYBOLD, 2005)	1 - 2 GHz	1,5
Vidro reforçado (SEYBOLD, 2005)	1 - 2 GHz	8

Fonte: Farahani (2008)



### 3 MÉTODO

Neste capítulo, são apresentados todos os estudos realizados para realização da pesquisa de caráter exploratória.

Primeiramente, são descritas as formas de produção das amostras utilizadas neste trabalho. Na sequência, são apresentados os métodos dos experimentos utilizados, separados em estudos preliminares, contendo três experimentos distintos, e o estudo principal, que fornecerá os dados relevantes para esta pesquisa.

Ao todo foram utilizados quatro estudos, de forma sequencial. Os três primeiros ensaios laboratoriais mostraram resultados inconsistentes e com vários ruídos que comprometeram a verificação do nível de atenuação da onda eletromagnética. Esses experimentos são descritos nos tópicos abaixo de forma resumida.

O quarto estudo foi elaborado conforme resultados apresentados nos métodos anteriores, a fim de obter dados mais consistentes.

Assim, considera-se neste trabalho que os três primeiros estudos experimentais realizados servem como referência (estudos preliminares) para o quarto estudo, sem produção de dados a serem considerados neste trabalho. Serão considerados apenas os resultados obtidos no quarto experimento, denominado neste trabalho como método principal.

#### 3.1 PRODUÇÃO DAS AMOSTRAS: CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Em todos os métodos experimentais foram utilizadas as mesmas amostras dos sistemas construtivos analisados neste trabalho.

Foram produzidas 07 (sete) amostras de sistemas construtivos de vedação, de 40 x 40 cm. As dimensões das amostras foram definidas com base no tamanho dos blocos de alvenaria estrutural (modular), para evitar cortes. Dimensões maiores que estas comprometeriam ainda o manuseio das amostras, em função do peso dos prismas.

As amostras correspondem aos seguintes sistemas construtivos:

- 1) Alvenaria com blocos cerâmicos não estruturais (alvenaria tradicional);
- 2) Alvenaria com blocos cerâmicos estruturais;
- 3) Alvenaria com blocos de concreto;

- 4) Alvenaria com blocos de solo-cimento;
- 5) Estrutura de *Light Wood Framing*;
- 6) Estrutura de *Light Steel Framing* e;
- 7) Estrutura de *Drywall*.

Todas as amostras deste estudo não receberam qualquer tratamento ou revestimento, pois buscou-se analisar o coeficiente de atenuação eletromagnética dos sistemas construtivos no modo “puro”. As especificações de cada amostra poderão ser observadas no capítulo 3.3.3, onde será abordada a Delimitação do trabalho. Assim, trabalhos futuros poderão analisar o comportamento de vários revestimentos e tratamentos de superfície, considerando a natureza dos sistemas construtivos analisados nesta pesquisa.

### 3.1.1 Caracterização dos materiais

Todo o procedimento de execução das amostras foi registrado e devidamente caracterizado.

As amostras de alvenaria foram construídas no CESEC (Centro de Estudos da Engenharia Civil), da UFPR (Universidade Federal do Paraná). Os blocos utilizados foram obtidos de empresas que atendem as normas da ABNT que caracterizam estes materiais. As amostras dos sistemas construtivos pré-fabricados foram produzidas por empresas especializadas em construir com este sistema.

Todas as amostras dos sistemas construtivos foram pesadas em balança da marca Toledo, com capacidade máxima e mínima de 60 kg e 0,2kg, respectivamente. Não foi realizado ainda qualquer ensaio de resistência de qualquer amostra utilizada neste experimento.

#### 3.1.1.1 Argamassa de assentamento

Todas as argamassas de assentamento deste experimento eram do tipo Multiuso, industrializada, de natureza cimentícia. O preparo da argamassa foi feito *in loco*, dentro do Laboratório de Tecnologia em Argamassa (LATECA) da UFPR, utilizando recipiente plástico e colher de pedreiro para a mistura.

Foi utilizado 1.8774,4 g de água para cada 10 kg de argamassa. Todas as medidas foram pesadas em balança de precisão, da marca Katashi, modelo BL-3200 B, conforme Figura 59 e Figura 60.



Figura 59: balança pesando amostra de argamassa  
Fonte: Autor (2014)



Figura 60: balança pesando amostra de água  
Fonte: autor (2014)

A argamassa foi submetida a ensaios de compressão e flexão, por meio de ensaios em laboratório. Primeiramente, as amostras de argamassa foram colocadas em formas e deixadas curar por sete dias, conforme Figura 61 e Figura 62.



Figura 61: molde corpo de prova de argamassa  
Fonte: Autor (2014)



Figura 62: moldagem do corpo de prova de argamassa  
Fonte: Autor (2014)

Foi utilizada a prensa da marca Emic, linha DL para a realização desse ensaio.

Os ensaios ocorreram conforme NBR 13.279:2005 - Determinação da resistência à Compressão e NBR 13.279:2005 - Determinação da resistência à tração na Flexão, conforme Figura 63 e Figura 64.



Figura 63: ensaio de resistência do corpo de prova

Fonte: Autor (2014)



Figura 64: ensaio de resistência do corpo de prova

Fonte: Autor (2014)

Os resultados do ensaio de resistência à compressão são apresentados na Tabela 30.

Tabela 30: resistência à compressão dos corpos de prova de argamassa

Corpo de Prova	Força Máxima (N)	Resistência Compressão (Mpa)
CP1	9.876	6,17
CP2	8.898	5,56
CP3	8.325	5,20
CP4	11.353	7,10
CP5	9.365	5,85
CP6	9.760	6,10
CP7	11.212	7,01
CP8	10.558	6,60

Fonte: Relatório de Ensaio LATECA (2014)

Os resultados do ensaio de resistência à flexão são apresentados na Tabela 31.

Tabela 31: relatório de ensaio da resistência à tração na flexão

material	Altura (mm)	Força Máxima (N)	Resistência Flexão (Mpa)
CP1	40,0	843	1,98
CP2	40,0	846	1,98
CP3	40,0	811	1,90
CP4	40,0	821	1,92
CP5	40,0	737	1,73
CP6	40,0	837	1,96
CP7	40,0	959	2,25
CP8	40,0	731	1,71

Fonte: Relatório de Ensaio LATECA (2014)

Os relatórios dos ensaios realizados podem ser vistos no APÊNDICE A e APÊNDICE B.

### 3.1.1.2 Alvenaria blocos cerâmicos não estruturais

Este sistema construtivo é composto por blocos cerâmicos não estruturais, com as seguintes dimensões conforme fabricante:

- Altura: 19 cm
- Largura: 29 cm
- Espessura: 11,5 cm

Os blocos foram assentados com argamassa cimentícia industrializada, preparada *in loco* conforme descrito no item anterior. A argamassa de assentamento tem 1 cm de espessura entre blocos, tanto vertical quanto horizontalmente. Não foi executada argamassa de revestimento da amostra a ser analisada. Os blocos foram obtidos em uma cerâmica localizada em Curitiba, sendo a primeira a obter a qualificação PSQ – Programa Setorial de Qualidade.

Os blocos obtidos possuíam as seguintes dimensões, conforme Tabela 32.

Tabela 32: dimensionamento dos blocos cerâmicos não estruturais

material	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Espessura (cm)
Bloco 1	29,1	11,3	13,8
Bloco 2	29,0	11,3	13,8
Bloco 3	29,0	11,3	14,0
Meio bloco 1	8,0	11,4	14,0
Meio bloco 2	7,8	11,3	13,9
Meio bloco 3	8,0	11,5	14,0

Fonte: Autor (2014)

Para o preparo do prisma, foram utilizados 03 blocos inteiros e 03 fragmentos para que o conjunto tenha como dimensões 40x40cm de comprimento e largura, conforme Figura 65.



Figura 65: prisma de bloco cerâmico não estrutural

Fonte: autor (2014)

O prisma alcançou um peso total de 24,40 kg, o que corresponde ao peso de 152,50 kg/m<sup>2</sup>.

### 3.1.1.3 Alvenaria blocos cerâmicos estruturais

Este sistema construtivo é composto por blocos cerâmicos estruturais, com as seguintes dimensões:

- Altura: 19 cm
- Largura: 39 cm

- Espessura: 14 cm

Os blocos foram assentados com argamassa cimentícia industrializada, preparada *in loco* conforme descrito no item anterior. A argamassa de assentamento possuía 1 cm de espessura entre blocos horizontalmente. Os vãos dos blocos não foram preenchidos com concreto ou qualquer outro material. Não foi executada argamassa de revestimento da amostra a ser analisada. Os blocos foram obtidos em uma cerâmica localizada em Curitiba, sendo a primeira a obter a qualificação PSQ – Programa Setorial de Qualidade.

Os blocos obtidos possuíam as seguintes dimensões, conforme Tabela 33.

Tabela 33: dimensionamento dos blocos cerâmicos estruturais

material	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Espessura (cm)
Bloco 1	39,0	13,9	19,0
Bloco 2	39,0	14,0	19,0

Fonte: Autor (2014)

Para o preparo do prisma, foram utilizados 02 blocos inteiros e para que o conjunto tenha como dimensões 40x40cm, foi feito um requadramento das faces com argamassa industrializada, sendo esta a mesma utilizada no assentamento, conforme Figura 66.

O prisma alcançou um peso total de 16,04 kg, correspondendo a um peso de 100,25 kg/m<sup>2</sup>.



Figura 66: prisma de bloco cerâmico estrutural

Fonte: Autor (2014)

#### 3.1.1.4 Alvenaria de blocos de concreto estrutural

Este sistema construtivo é composto por blocos de concreto estruturais, com as seguintes dimensões:

- Altura: 19 cm
- Largura: 39 cm
- Espessura: 14 cm

Os blocos foram assentados com argamassa cimentícia industrializada, preparada in loco conforme descrito no item anterior. A argamassa de assentamento possuía 1 cm de espessura entre blocos horizontalmente. Os vãos dos blocos não foram preenchidos com concreto ou qualquer outro material. Não foi executada argamassa de revestimento da amostra a ser analisada.

Os blocos foram obtidos em uma empresa que atende as seguintes normas para fabricação dos blocos:

- a) NBR-6136:2014 - Especificações para blocos vazados de concreto simples para alvenaria com função estrutural.
- b) NBR-7186:1982 - Método de ensaio para blocos vazados de concreto simples com função estrutural.
- c) NBR-7184:1992 - Método de ensaio para blocos vazados de concreto simples sem função estrutural.
- d) NBR-8215:1983 - Método de ensaio para preparo e compressão de prismas de blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural.

Ainda seguindo procedimentos de controle de qualidade, amostras da produção dos lotes são regularmente encaminhadas para o laboratório do Centro de Desenvolvimento Tecnológico (CDTEC).

Os resultados são registrados em Laudos Técnicos e Certificados de Conformidade atestando que os produtos são elaborados de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Os blocos obtidos possuíam as seguintes dimensões, conforme Tabela 34.



Tabela 34: dimensionamento dos blocos de concreto

Material	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Espessura (cm)
Bloco 1	39,2	14,0	19,0
Bloco 2	39,1	14,0	19,1

Fonte: Autor (2014)

Para o preparo do prisma, foram utilizados 02 blocos inteiros e para que o conjunto tenha como dimensões 40x40cm, foi feito um requadramento das faces com argamassa industrializada, sendo esta a mesma utilizada no assentamento, conforme Figura 67.

O prisma alcançou um peso total de 21,16 kg, o que corresponde ao peso de 132,25 kg/m<sup>2</sup>.



Figura 67: prisma de bloco de concreto

Fonte: autor (2014)

### 3.1.1.5 Alvenaria de bloco de solo-cimento

Este sistema construtivo é composto por blocos de solo-cimento, com as seguintes dimensões:

- Altura: 7 cm
- Largura: 25 cm
- Espessura: 12,5 cm

Os blocos foram assentados com argamassa cimentícia industrializada, preparada apenas com adição de água conforme traço especificado pelo fornecedor. Foi

executado rejuntamento entre os blocos para completa vedação dos pequenos vazios entre os blocos. Os vãos dos blocos não serão preenchidos com concreto ou qualquer outro material. Não foi executada argamassa de revestimento nem impermeabilização da amostra a ser analisada, conforme Figura 68.



Figura 68: prisma de blocos de solo-cimento  
Fonte: Autor (2014)

Os blocos obtidos possuíam as seguintes dimensões, conforme Tabela 35.

Tabela 35: dimensionamento dos blocos de solo-cimento

Material	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Espessura (cm)
Bloco 1	25,1	7,0	12,5
Bloco 2	25,0	7,0	12,6
Bloco 3	25,2	7,0	12,5
Bloco 4	25,0	7,0	12,5
Bloco 5	25,1	6,7	12,5
Meio Bloco 1	12,5	7,0	12,5
Meio Bloco 2	12,5	7,0	12,5
Meio Bloco 3	12,5	7,0	12,5
Meio Bloco 4	12,5	7,0	12,5
Meio Bloco 5	12,5	7,0	12,5

Fonte: Autor (2014)

Para o preparo do prisma, foram utilizados 05 blocos inteiros e 5 meio blocos e para que o conjunto tenha como dimensões 40x40cm, foi feito um requadramento das faces com gesso, pois a argamassa cimentícia teve problemas de aderência.

O prisma alcançou um peso total de 29,51 kg, correspondendo a um peso de 184,44 kg/m<sup>2</sup>.

#### 3.1.1.6 Estrutura de *Light Wood Framing*

Este sistema construtivo é composto por montantes em madeira de reflorestamento passados pelo processo de autoclave. Esses montantes são responsáveis pelo desempenho estrutural do conjunto. Os elementos que compõe a vedação da estrutura, do lado externo para o interno, são respectivamente:

- Placa cimentícia;
- Membrana hidrófuga;
- Chapa de OSB;
- Isolamento térmico-acústico entre montantes (manta de lã de fibra de poliéster);
- Chapa de OSB;
- Placa de gesso acartonado.

Todos os materiais com madeira são fixados com grampos metálicos por pistola de compressão ou pregos tipo ardox ou tipo anelado. A placa de cimento e de gesso acartonado são fixadas por meio de parafusos. Não foi executado qualquer acabamento superficial sobre as camadas externas e internas (placa cimentícia e placa de gesso acartonado respectivamente). A espessura do sistema construtivo é de 14 cm, conforme Figura 69.

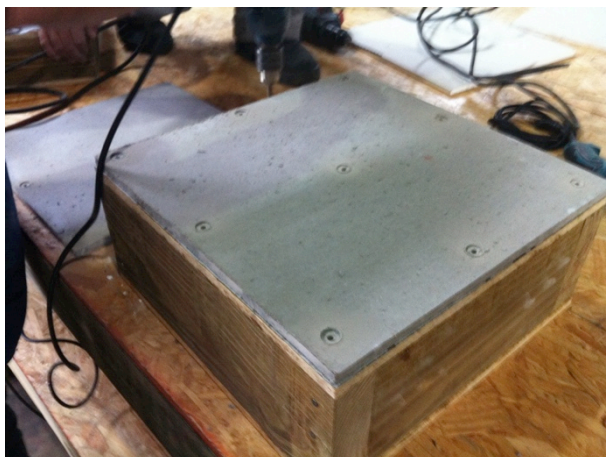


Figura 69: estrutura de *light wood framing*

Fonte: Autor (2014)

A estrutura alcançou um peso total de 12,72 kg, o que corresponde ao peso de 79,5 kg/m<sup>2</sup>.

#### 3.1.1.7 Estrutura de *Light Steel Framing*

Este sistema construtivo é composto por perfis de aço galvanizado, responsáveis pelo desempenho estrutural do conjunto. Os elementos que compõe a vedação da estrutura, do lado externo para o interno, são respectivamente:

- Placa cimentícia;
- Membrana hidrófuga;
- Isolamento térmico-acústico entre montantes (manta de lã de PET);
- Placa de gesso acartonado.

Todos os materiais foram fixados por meio de parafusos. Não foi executado qualquer acabamento superficial sobre as camadas externas e internas (placa cimentícia e placa de gesso acartonado respectivamente). A espessura do sistema construtivo é de 14 cm, conforme Figura 70.



Figura 70: estrutura de light steel framing  
Fonte: autor (2014)

A estrutura alcançou um peso total de 6,21 kg, correspondendo a um peso de 38,81 kg/m<sup>2</sup>.

#### 3.1.1.8 Estrutura de *Drywall*

Este sistema construtivo é composto por perfis de aço galvanizado, responsáveis pelo desempenho estrutural do conjunto. Os elementos que compõem a vedação da estrutura, do lado externo para o interno, são respectivamente:

- Placa de gesso acartonado;
- Isolamento térmico-acústico entre montantes (manta de lã de PET);
- Placa de gesso acartonado.

Todos os materiais são fixados por meio de parafusos. Não foi executado qualquer acabamento superficial sobre as camadas externas e internas (placa cimentícia e placa de gesso acartonado respectivamente). A espessura do sistema construtivo é de 9,0 cm, conforme Figura 71.



Figura 71: estrutura de *Drywall*

Fonte: autor (2014)

A estrutura alcançou um peso total de 3,63 kg, o que corresponde ao peso de 22,69 kg/m<sup>2</sup>.

### 3.2 ESTUDOS PRELIMINARES

Ao todo foram realizados três estudos preliminares e, como se poderá observar nos próximos capítulos, os métodos utilizados, assim como os resultados obtidos servirão de base para definição do método principal desta pesquisa, visto que os ruídos internos de cada estudo foram intensos e não puderam medir a atenuação direta.

#### 3.2.1 Estudo 1: análise em Célula GTEM

Este estudo exploratório utilizou os equipamentos disponíveis do LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento) e ocorreu dentro de sua infraestrutura. As frequências analisadas estavam dentro de um espectro de 10 MHz e 3.0 GHz.

O equipamento utilizado para fazer as medições foi a Célula GTEM (*Gigahertz Transverse Electro Magnetic*), modelo 1250, da marca alemã TESEQ, capaz de fazer análises de várias faixas de campos eletromagnéticos sem interferência externa, conforme Figura 72.



Figura 72: célula GTEM 1250  
Fonte: TESEQ

### 3.2.1.1 Experimento

Todas as amostras foram levadas para o laboratório de compatibilidade eletromagnética localizado dentro do LACTEC.

A primeira amostra a ser testada foi a estrutura de *Light Wood Framing*, que foi colocada dentro da célula GTEM 1250, apoiada em suportes de EPS (poliestireno expandido), conforme Figura 73. A amostra foi disposta na posição horizontal.

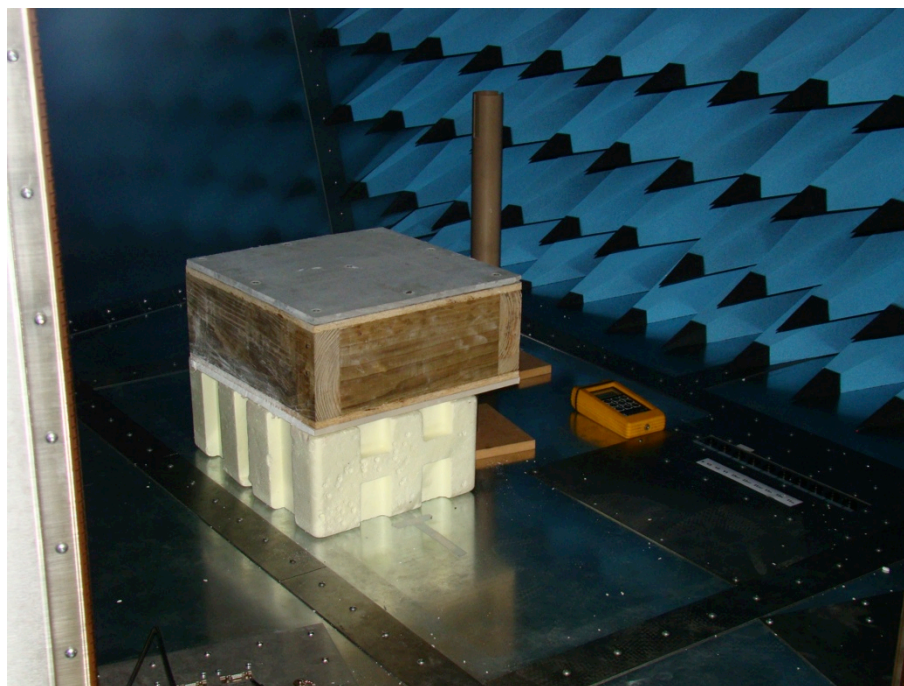


Figura 73: amostra dentro da célula GTEM  
Fonte: autor (2014)

Para medir a atenuação da onda eletromagnética, foi utilizado o sensor EMR-300 *Wandel & Goltermann*, conforme Figura 74 e Figura 75.



Figura 74: sensor EMR-300 WG  
Fonte: autor (2014)



Figura 75: antena de recepção do sinal  
Fonte: autor (2014)

A geração da onda elétrica foi configurada em equipamento que faz parte da célula GTEM. Este equipamento foi configurado para emitir ondas de 0 a 800 MHz, em um campo elétrico estável de 10 V/m, conforme Figura 76 e Figura 77.



Figura 76: equipamento da célula GTEM  
Fonte: autor (2014)



Figura 77: equipamento da célula GTEM  
Fonte: autor (2014)

Os resultados eram acompanhados por meio da leitura do sensor EMR-300 *Wandel & Goltermann*, localizado no interior da célula, conforme Figura 78 e Figura 79.





Figura 78: leitura do sinal recebido pelo sensor EMR-300 WG  
Fonte: autor (2014)



Figura 79: acompanhamento em tempo real das leituras  
Fonte: autor (2014)

Enquanto iam sendo feitas as leituras, podia se observar que estas apresentavam variações muito acentuadas, com picos muito altos de campo elétrico, de forma que a amostra funcionava como amplificador do sinal em determinadas frequências. Em virtude deste fato, optou-se por aumentar a altura da amostra em relação ao piso do equipamento, para eliminar ou atenuar este ruído, conforme Figura 80 e Figura 81.



Figura 80: amostra em uma altura média  
Fonte: autor (2014)



Figura 81: amostra em uma altura alta  
Fonte: autor (2014)

O resultado obtido nesta análise pode ser visto na Figura 82, onde é possível ver as variações do sinal. Como o equipamento foi configurado para gerar um campo elétrico constante de 10 V/m, esperava-se que o sinal recebido pelo sensor ficasse sempre inferior a este valor, considerando que parte do sinal seria refletido e absorvido pela amostra.

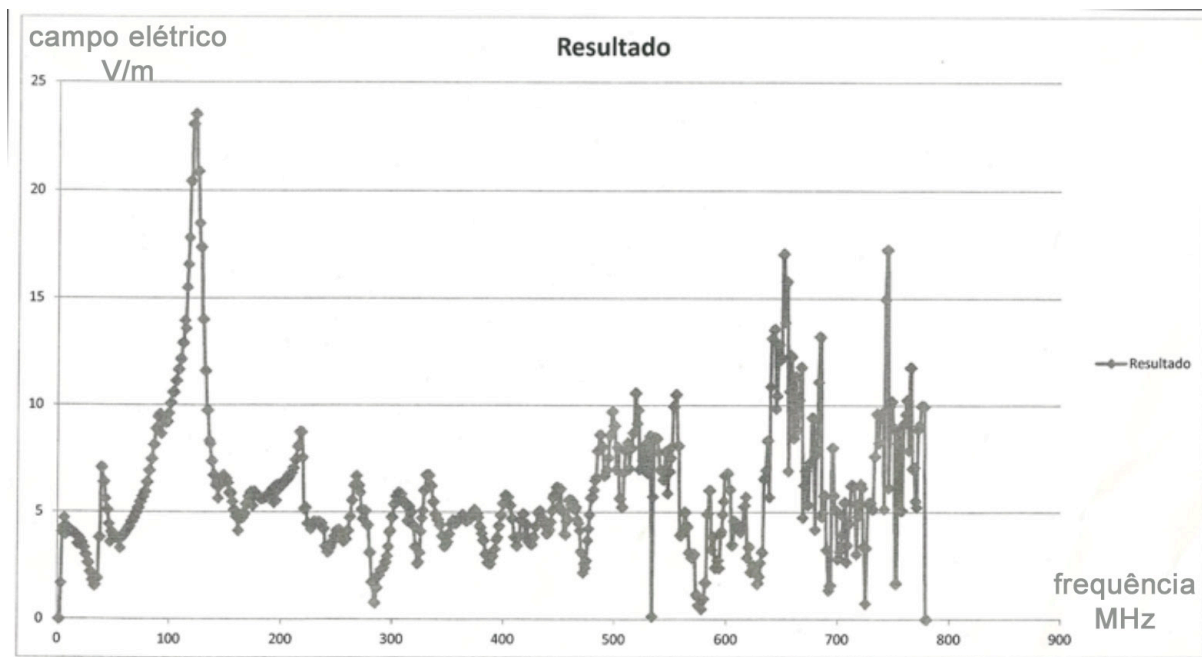


Figura 82: resultado do primeiro teste na célula GTEM – *Light Wood Framing*  
 Fonte: LACTEC (2014)

A hipótese para este fenômeno está relacionada à contaminação da antena por difração do sinal e reflexões contínuas das paredes do equipamento, configurando um processo dinâmico dentro da área de testes. Desta forma, foi planejado um segundo ensaio, utilizando os mesmos materiais e equipamentos, incluindo apenas um novo material para minimizar a difração e reflexão do sinal. Para isto, utilizou-se de um tecido cuja composição é algodão com 18% de cobre e prata. Trata-se de fibra de algodão com uma malha de 0,02mm de fios de cobre banhados em prata. Produto suíço que atenua até 38dB (99,98% de eficiência na blindagem) em uma frequência de 1 GHz.

Para o segundo ensaio, foi utilizado este material formando uma espécie de “saia”, em volta da amostra, para não permitir que o campo penetre por baixo e contamine a leitura da antena. A altura definida para apoiar a amostra foi de 68 cm, sendo o sensor colocado a 30 cm de altura em relação ao piso do equipamento, conforme Figura 83 e Figura 84.



Figura 83: interior do suporte da amostra com o sensor

Fonte: autor (2014)



Figura 84: amostra e suporte dentro da célula GTEM

Fonte: autor (2014)

O tecido foi fixado em todo o perímetro da parte superior da amostra, cobrindo inclusive o sensor em parte do experimento, conforme Figura 85 e Figura 86.

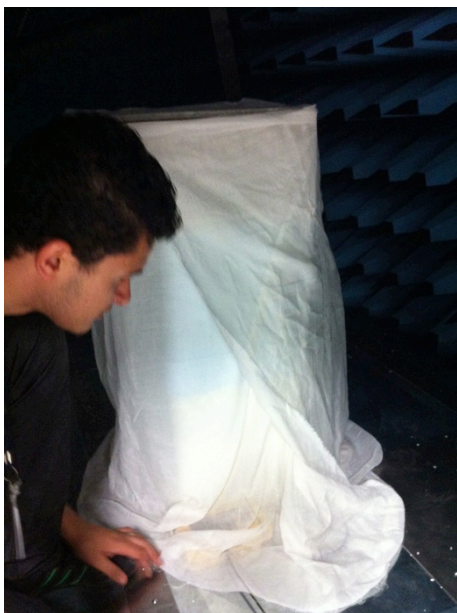


Figura 85: conjunto coberto pelo tecido Swiss Shield @ Naturell

Fonte: autor (2014)



Figura 86: conjunto pronto para medição com sensor exposto

Fonte: autor (2014)

O resultado deste ensaio não conseguiu evitar que distorções aparecessem na leitura do sensor, embora houvesse uma redução da amplitude das medições. Neste experimento, grande parte do espectro de frequência ficou abaixo dos 10 V/m.

Exceção à faixa de frequência entre 100 e 200 MHz, na qual o conjunto amplificou o sinal em 2,5 vezes. Maiores detalhes do experimento podem ser vistos na Figura 87.

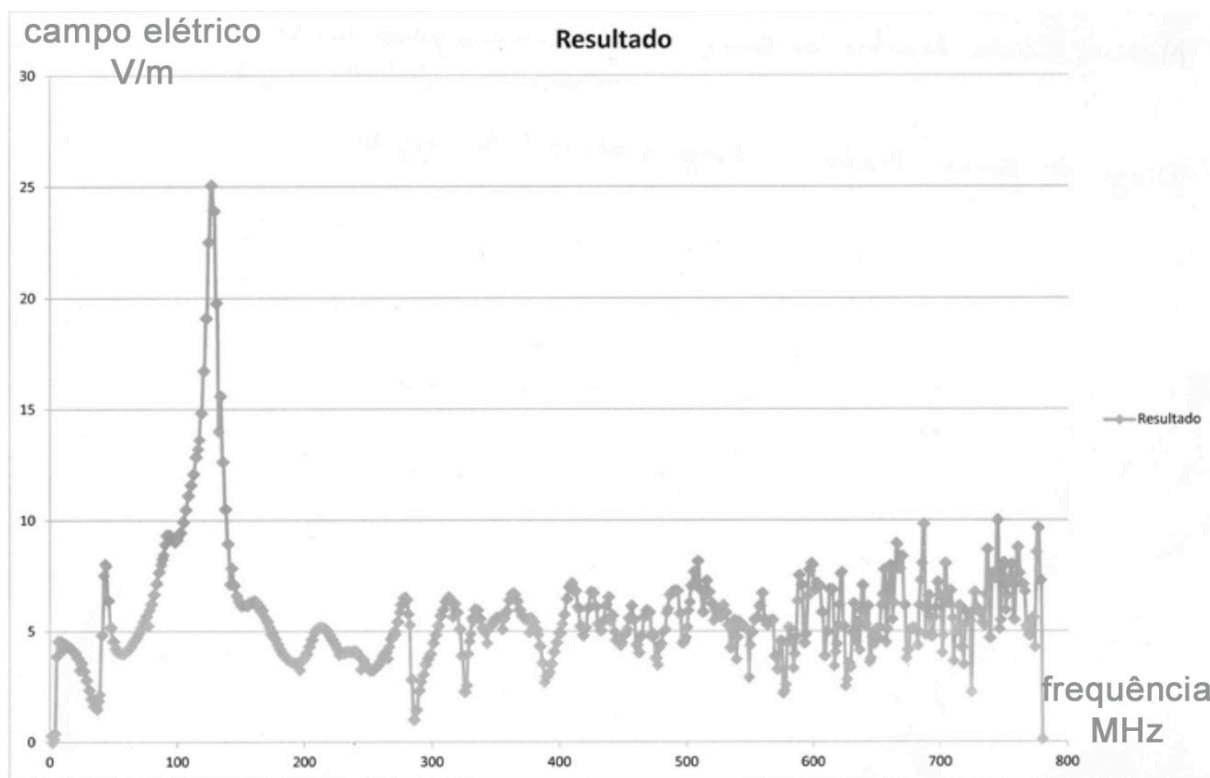


Figura 87: resultado do segundo teste na célula GTEM – *Light Wood Framing*  
Fonte: LACTEC (2014)

Em uma análise posterior aos testes realizados foi apontado um fator que pode ter comprometido a análise neste estudo: a disposição incorreta da amostra no equipamento. Esta, na posição horizontal, não se configurava como obstáculo às ondas emitidas pelo emissor de ondas do equipamento. Caso esta hipótese esteja correta, qualquer resultado obtido neste estudo estaria incorreto, devido à configuração equivocada da amostra na área de testes.

Com base nessas análises, este estudo de análise da atenuação de ondas eletromagnéticas mostrou-se inconclusivo, devido às grandes variações de leitura do equipamento. Desta forma, descartou-se realizar os ensaios com os outros sistemas construtivos e considerar qualquer dado obtido.

### 3.2.2 Estudo 2: antenas dipolo em laboratório

Esta pesquisa de caráter exploratório utilizou os equipamentos disponíveis do laboratório de telecomunicações do Departamento de Engenharia Elétrica da UFPR

e ocorreu dentro de sua infraestrutura. Foram utilizadas as 07 (sete) amostras de sistemas construtivos de vedação, de 40 x 40 cm, do experimento realizado no estudo anterior. Os sistemas construtivos analisados foram:

- 1) Alvenaria com blocos cerâmicos não estruturais;
- 2) Alvenaria com blocos cerâmicos estruturais;
- 3) Alvenaria com blocos de concreto;
- 4) Alvenaria com blocos de solo-cimento;
- 5) Estrutura de *Light Wood Framing*;
- 6) Estrutura de *Light Steel Framing* e;
- 7) Estrutura de *Drywall*.

As frequências poderiam ser analisadas dentro de um espectro de 0,1 MHz a 990 MHz, conforme capacidade do gerador de sinais.

Para geração de sinal de alta frequência, foi utilizado um gerador acoplado a uma antena dipolo, produzida no próprio laboratório. Este equipamento, da marca Hewlett-Packard, modelo 8656B, tem a capacidade de emitir um sinal de 0,1 a 990 MHz, conforme Figura 88.



Figura 88: equipamento gerador de sinal  
Fonte: autor (2014)

Para analisar a potência e a frequência do sinal transmitido através da amostra foi utilizado um analisador de espectro, da marca Hewlett-Packard, modelo 8590 A, que tem a capacidade de analisar um espectro de frequência entre 1 MHz e 1,5 GHz, conforme Figura 89.



Figura 89: modelo do analisador de espectro  
Fonte: autor (2014)

Acoplados a estes equipamentos, duas antenas dipolos capazes de captar sinais de radiofrequência em toda a faixa especificada por meio de cabos coaxiais. Estas antenas estavam acopladas a diedros de chapas metálicas, formando um ângulo de  $90^\circ$ , para restringir a direção da onda. Este sistema é apresentado na Figura 90.



Figura 90: sistema composto de uma antena dipolo e diedro em chapa metálica  
Fonte: autor (2014)

Este experimento foi dividido em duas etapas: 1) reflexão das ondas eletromagnéticas e 2) permissividade das ondas eletromagnéticas.

### 3.2.2.1 Análise da reflexão das ondas eletromagnéticas

O experimento foi realizado dentro do próprio laboratório. Tanto antenas como amostras ficaram apoiadas diretamente sobre piso de madeira, tipo taco. Para fixar os pontos onde ficariam localizadas as antenas e a amostra, foram coladas fitas no piso, de acordo com Figura 91. O ângulo de incidência na amostra é de  $45^\circ$ .

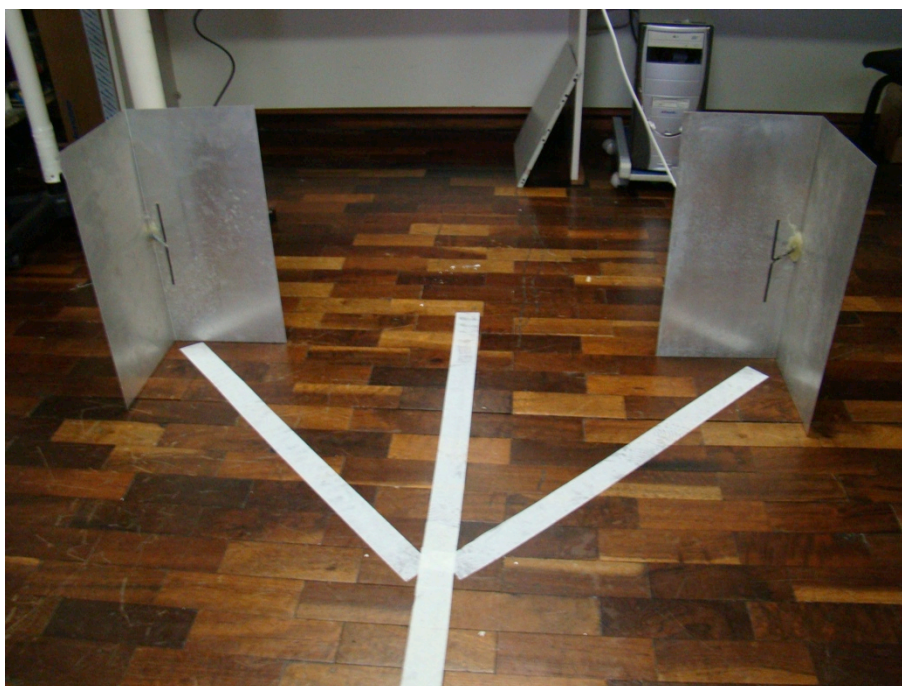


Figura 91: área demarcada para ensaio (análise de ruído ambiental)  
Fonte: autor (2014)

A primeira análise foi feita sem qualquer amostra e serve de referência para as medições seguintes, detectando o ruído ambiental. As demais medições tinham como obstáculo sete amostras, obtendo valores mínimos e máximos da diferença do potencial elétrico, cuja unidade é  $\mu\text{V}$ , como pode se ver na Tabela 36. O resultado da amostra com blocos cerâmicos estruturais foi descartado, pois o resultado não foi anotado. As amostras de *Light Steel Framing* e *Light Wood Framing* tiveram as duas faces analisadas, por apresentarem materiais diferentes.

O gerador dos sinais de alta frequência foi configurado para emitir uma onda eletromagnética na frequência de 900 MHz.

Tabela 36: reflexão de ondas eletromagnéticas em sistemas construtivos de vedação

Material	Ângulo de incidência ( $\sigma$ )	$\mu\text{V}$ (min)	$\mu\text{V}$ (máx)	$\mu\text{V}$ (média)
Sem material	45°	45	95	70
Bloco cerâmico não estrutural	45°	42	108	75
Bloco de concreto	45°	215	240	227,5
Bloco de solo-cimento	45°	170	190	180
<i>Light Wood Framing</i> (gesso)	45°	190	205	197,5
<i>Light Wood Framing</i> (placa cimentícia)	45°	200	240	220
<i>Light Steel Framing</i> (gesso)	45°	45	95	70
<i>Light Steel Framing</i> (placa cimentícia)	45°	140	170	165
<i>Drywall</i>	45°	45	95	70

Fonte: Autor (2014)

A sequência de imagens de cada medição pode ser vista na Figura 92 até a Figura 97.



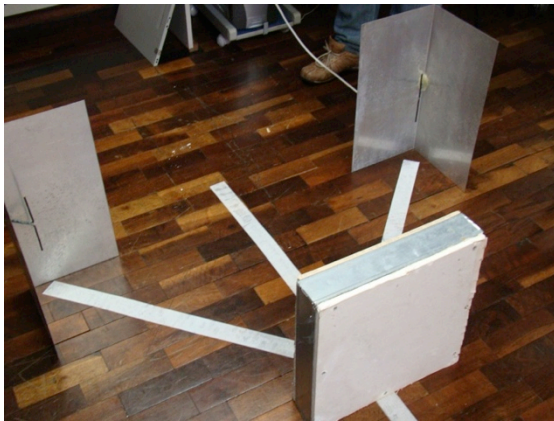


Figura 92: análise da amostra de *Drywall*  
Fonte: autor (2014)

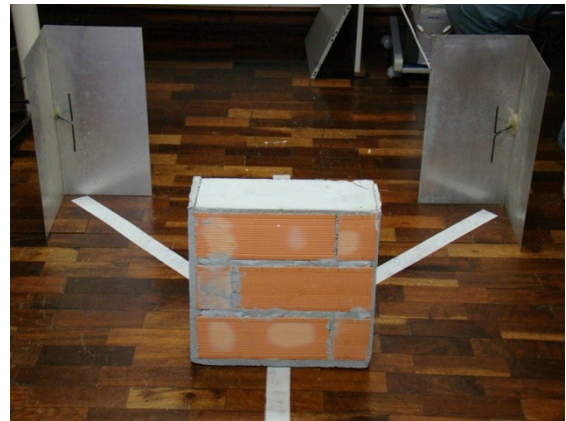


Figura 93: análise da amostra de alvenaria não estrutural  
Fonte: autor (2014)



Figura 94: análise da amostra de bloco de concreto  
Fonte: autor (2014)



Figura 95: análise da amostra de bloco de solo-cimento  
Fonte: autor (2014)



Figura 96: análise da amostra de *Light Wood Framing*  
Fonte: autor (2014)



Figura 97: análise da amostra de *Light Steel Framing*  
Fonte: autor (2014)

### 3.2.2.2 Análise da atenuação das ondas eletromagnéticas

Foram realizados ensaios de atenuação de ondas eletromagnéticas com as amostras de sistemas construtivos, porém nenhum resultado obteve consistência suficiente para servir como parâmetro de atenuação para ondas eletromagnéticas de alta frequência.

Vários são os fatores que levaram a esta contestação, como:

- a) Dimensão pequena da amostra;
- b) Antenas com pouca diretividade;
- c) Equipamentos não calibrados;
- d) Interferência de objetos ao redor;
- e) Interferência de outras fontes de sinal eletromagnético;

Fenômenos como difração e reflexão puderam ser observados de forma empírica, vindo a prejudicar a leitura correta do analisador de espectro.

Com base no que foi observado neste ensaio, propõe-se mais um método de análise para se obter a atenuação dos sistemas construtivos de vedação.

### 3.2.3 Estudo 3: antenas *yagi* e parabólica em laboratório

Este experimento foi realizado dentro de laboratório do SIMEPAR (Sistema Meteorológico do Paraná), localizado dentro da Universidade Federal do Paraná.

Este método consiste em posicionar duas antenas com alto ganho, alinhadas entre si, a uma determinada distância, conectadas a uma gerador de sinal e analisar de espectro respectivamente, para realizar ensaio de atenuação eletromagnética das amostras dos sistemas construtivos de vedação utilizadas em outros experimentos.

Entre as antenas eram posicionadas as amostras, de forma a compor um obstáculo ao sinal, gerando fenômeno de atenuação, entre outros, como reflexão e difração.

Foram analisadas seis frequências em cada amostra, a saber:

- a) 800 MHz;
- b) 900 MHz;
- c) 1800 MHz;

- d) 1900 MHz;
- e) 2400 MHz;
- f) 2500 MHz.

Para geração de sinal de alta frequência, foi utilizado um gerador acoplado a uma antena diretiva. Esse equipamento, da marca Hewlett-Packard, modelo 8665B (*High Performance Signal Generator*), tem a capacidade de emitir um sinal até 6 GHz.

Os sinais emitidos por esta antena, acoplada ao gerador de sinais, eram recebidos por outra antena de mesma propriedade, acoplada a um analisador de espectro, modelo ANRITSU Spectrum Master MS2723C.

Ambas as antenas foram conectadas aos equipamentos por meio de cabos coaxiais, marca Aquário, modelo RGC – 213, de 1,5 m de comprimento e conectores tipo N.

Foram utilizados dois tipos de antenas para este experimento:

- a) antena celular Quadriband 800, 900, 1800 e 1900 MHz: marca Aquário, modelo CF-4000.
- b) antena parabólica de grade: marca Aquário, modelo MM-2420.

Os equipamentos utilizados neste experimento estão mais detalhados no capítulo 3.3 método PRINCIPAL: medições em campo aberto.

Os ensaios foram realizados dentro do laboratório do SIMEPAR, utilizando uma mesa de madeira para apoiar as amostras.

As antenas foram dispostas a ficar apontadas para o centro das amostras, a 80 cm de suas extremidades até a face da amostra.

Foram utilizados nível e trena laser para alinhamento e determinação das distâncias das antenas às amostras.

Dentro do laboratório, todos os aparelhos celulares foram desligados durante as medições.

Os ensaios foram realizados em dois turnos: manhã e tarde.

Foram utilizadas as duas antenas e todas as amostras representando os sete sistemas construtivos de vedação pesquisados neste trabalho, conforme Tabela 37.

Tabela 37: sequência de medições em laboratório do SIMEPAR

Período	Antena	Amostra
Manhã	CF-4000	Livre (sem amostra)
		<i>Drywall</i>
		<i>Light Wood Framing</i>
Tarde	CF-4000	Livre (sem amostra)
		<i>Light Steel Framing</i>
		<i>Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais</i>
		<i>Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais</i>
		<i>Alvenaria de blocos concreto</i>
Tarde	MM-2420	<i>Alvenaria de blocos de solo-cimento</i>
		Livre (sem amostra)
		<i>Drywall</i>
		<i>Light Wood Framing</i>
		<i>Light Steel Framing</i>
Tarde	MM-2420	<i>Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais</i>
		<i>Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais</i>
		<i>Alvenaria de blocos concreto</i>
		<i>Alvenaria de blocos de solo-cimento</i>

Fonte: autor (2015)

Ao todo, foram realizadas três medições livres, ou seja, sem presença de amostra, a fim de medir a atenuação da transmissão livre, sem obstáculo direto.

Todas as amostras foram posicionadas no centro da linha de visada entre as antenas. Da Figura 98 à Figura 105 são apresentadas imagens das medições em laboratório, utilizando apenas as antenas CF-4000, para as frequências de 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz e 1900 MHz.



Figura 98: medição livre  
Fonte: autor (2015)



Figura 99: medição da amostra *Drywall*  
Fonte: autor (2015)



Figura 100: medição amostra Light Wood Framing  
Fonte: autor (2015)



Figura 101: medição amostra alvenaria  
cerâmica estrutural  
Fonte: autor (2015)



Figura 102: medição amostra alvenaria de solocimento

Fonte: autor (2015)



Figura 103: medição amostra alvenaria de concreto

Fonte: autor (2015)



Figura 104: medição amostra alvenaria cerâmica não estrutural

Fonte: autor (2015)



Figura 105: medição amostra alvenaria Light Steel Framing

Fonte: autor (2015)

Repetindo o mesmo padrão da medição de atenuação de sinal com as antenas CF-4000, foram analisadas as frequências de 2400 MHz e 2500 MHz com as antenas parabólicas MM-2420, como se pode ver da Figura 106 à Figura 113.



Figura 106: medição livre  
Fonte: autor (2015)



Figura 107: medição da amostra *Drywall*  
Fonte: autor (2015)



Figura 108: medição amostra *Light Wood Framing*  
Fonte: autor (2015)



Figura 109: medição amostra alvenaria cerâmica estrutural  
Fonte: autor (2015)



Figura 110: medição amostra alvenaria de solo-cimento

Fonte: autor (2015)



Figura 111: medição amostra alvenaria de concreto

Fonte: autor (2015)



Figura 112: medição amostra alvenaria cerâmica não estrutural

Fonte: autor (2015)



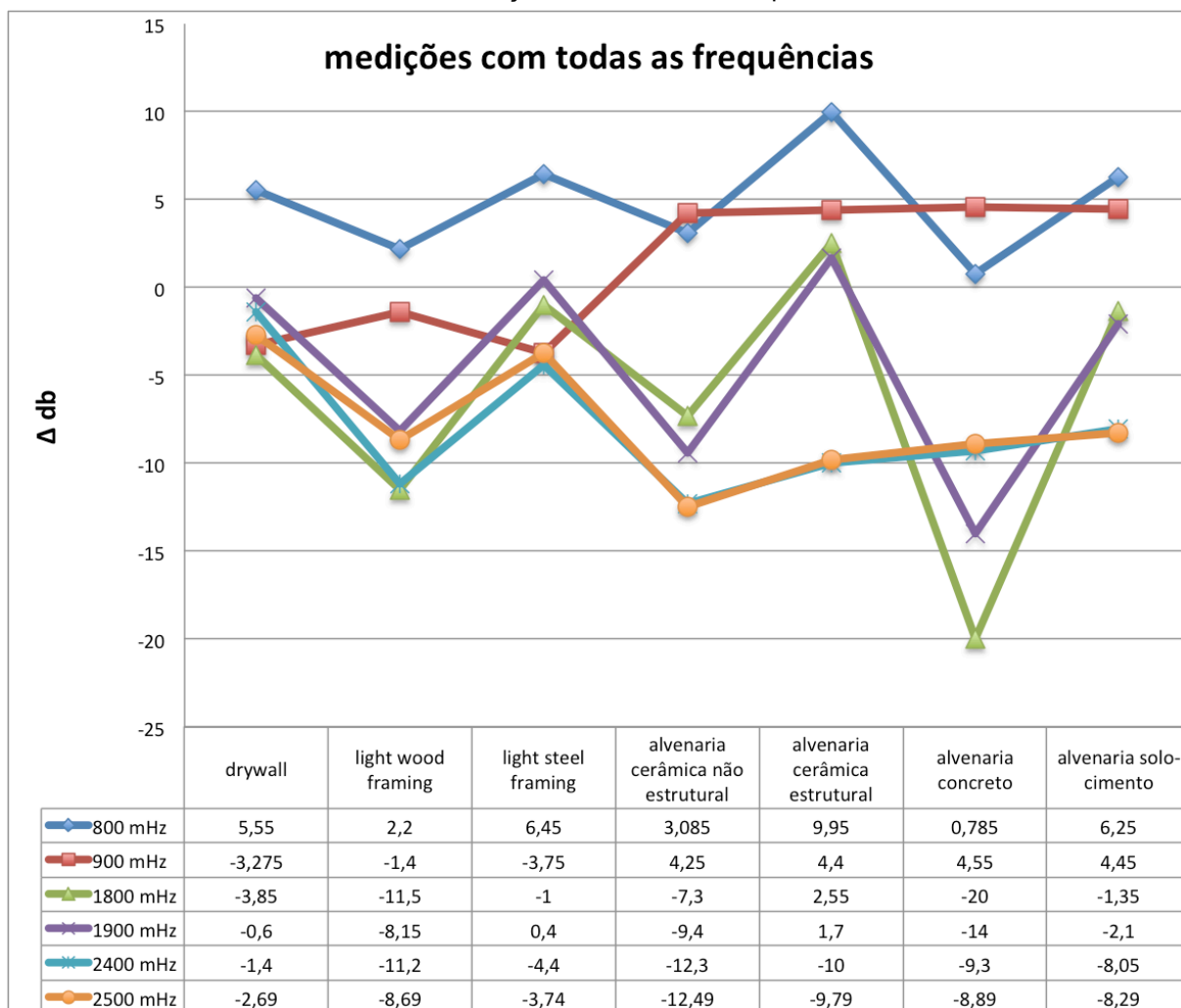
Figura 113: medição amostra alvenaria *Light Steel Framing*

Fonte: autor (2015)

Com base nos dados obtidos, os coeficientes de atenuação dos sistemas construtivos podem ser vistos no Gráfico 1.



Gráfico 1: medições com todas as frequências



Fonte: autor (2015)

Este ensaio preliminar teve como propósito testar o método com os equipamentos de medição do laboratório, além das novas antenas adquiridas. Contudo, em função de várias superfícies da estrutura e outros objetos que facilitam a reflexão das ondas eletromagnéticas, e também das dimensões reduzidas das amostras, o experimento apresentou uma série de ruídos que descarta o aproveitamento destes dados.

Em virtude do comprimento de onda das frequências analisadas, as amostras demonstraram ser pequenas para garantir que apenas a região da amostra seja iluminada pelas ondas eletromagnéticas. Desta forma, ficou caracterizado que ocorreu o fenômeno da difração, quando a onda eletromagnética contorna a aresta de um determinado objeto. Verificou-se ainda que ocorreu o fenômeno de reflexão, em função da quantidade de superfícies no entorno do experimento. Com tantos

ruídos, foi possível verificar em quatro frequências a amplificação do sinal transmitido.

Contudo, calculando a média geral do coeficiente de atenuação das amostras analisadas, tem-se os seguintes resultados conforme Tabela 38:

Tabela 38: classificação dos sistemas construtivos de vedação – ensaio preliminar

Posição	Sistema Construtivo de Vedação	Média Geral (dB)	Peso Amostra (kg)
1	Alvenaria de blocos de concreto	-7,81	21,16
2	<i>Light Wood Framing</i>	-6,45	12,72
3	Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais	-5,69	24,40
4	Alvenaria de blocos de solo-cimento	-1,51	29,51
5	<i>Drywall</i>	-1,04	3,63
6	<i>Light Steel Framing</i>	-1,00	6,21
7	Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais	+0,19	16,04
Média Geral		-3,33	

Fonte: autor (2015)

Cabe destacar que valores negativos indicam atenuação e valores positivos amplificação do sinal emitido, visto que o gerador de sinal estava configurado com um potência de transmissão na ordem de 0 dBm (decibel miliwatt).

Como poderá ser visto adiante, na apresentação dos resultados no método principal, a classificação dos sistemas construtivos de vedação, conforme média do coeficiente de atenuação de todas as frequências, é muito similar à do método principal. Isto indica que, mesmo com vários ruídos na medição, estes acabaram sendo distribuídos na medição de todos os sistemas construtivos de forma semelhante.

### 3.3 MÉTODO PRINCIPAL: MEDIÇÕES EM CAMPO ABERTO

Este método pode ser descrito como uma medição seletiva e direcional, pois é feita numa frequência determinada (seletiva) e sabe-se a posição da fonte do campo (direcional). Este ensaio compreende a utilização de uma antena acoplada a um gerador de sinal de alta frequência, na qual poderá ter o parâmetro alterado, assim como a energia do sinal. Essa antena estava a certa distância da amostra (modelo reduzido) e direcionada perpendicularmente ao seu centro. Outra antena estava localizada simetricamente oposta à primeira, com a amostra a meia distância entre as duas. Essa antena estava acoplada a um analisador de espectro, no qual foi possível analisar a potência e frequência recebida através da amostra. Observou-se neste experimento (que, por definição, é uma estratégia explanatória, mas cujo caráter exploratório se ressalta aqui, dadas as condições de ausência de trabalhos similares prévios no mesmo grupo de pesquisa), o coeficiente de atenuação de cada sistema construtivo para fins de comparação, por meio da análise do sinal emitido pelo gerador.

Esse experimento analisou apenas as frequências de 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz e 1900 MHz, que correspondem às frequências utilizadas no Brasil para telefonia móvel 3G, além das frequências de 2400 MHz e 2500 MHz, que correspondem as frequências 4G e WLAN.

#### 3.3.1 Unidade de análise

As unidades de análise neste experimento são os coeficientes de atenuação de ondas eletromagnéticas em frequência pré-determinadas de sistemas construtivos de vedação, afim de obter o coeficiente de atenuação (dB) destas ondas eletromagnéticas na faixa de micro-ondas, por meio de uma abordagem fenomenológica. Este estudo não mediu os valores de reflexão, de forma que o coeficiente de atenuação de cada amostra representa tanto absorção quanto reflexão de cada sistema analisado.

#### 3.3.2 Testes de validade

Neste tópico, são apresentados os testes de validade do presente trabalho.

### 3.3.2.1 Validade do constructo

Como o princípio da pesquisa é conhecer os coeficientes de atenuação eletromagnética (dB) dos sistemas construtivos em seu estado puro, nenhuma amostra recebeu qualquer revestimento de acabamento, como argamassa, pintura e impermeabilizante, por mais que estes tratamentos sejam adotados comumente na construção civil.

Os ensaios ocorreram em espaço aberto, livre de obstáculos próximos a fim de obter um ambiente que simule o ambiente interno de uma câmara anecoica. Porém, o ensaio estava sujeito a interferências de estações transmissoras de radiocomunicação do entorno. Como forma de conhecer este ruído, foi realizado antes de qualquer medição com as amostras, análise do ambiente livre de obstáculo, a fim de se conhecer este ruído. Entende-se que o propósito deste trabalho seja a aplicação destes coeficientes em ambientes construídos, contudo a análise destes sistemas construtivos em ambientes edificadas traria uma série de ruídos e condicionantes que prejudicariam a validade do trabalho. As ondas eletromagnéticas podem ser influenciadas por uma série de fatores, além das propriedades físicas dos materiais. Em ambientes fechados, além da reflexão e difração das ondas, a geometria do local influenciaria a leitura do sinal recebido. Mobiliário também interferiria nesta medição, de forma que um trabalho como este em ambiente construído com todas estas variantes externas poderia ser caracterizado como estudo de caso, impossibilitando sua reprodução em outro ambiente.

Atente-se ao fato de se utilizar quatro diferentes métodos para o experimento. Nesse método, acrescentou-se a medição sem qualquer dispositivo de vedação, e utilizando-se a placa refletora (escudo eletromagnético), que será detalhado no item 3.3.3 desta pesquisa. Assim, procurou-se progressivamente eliminar fatores de enviesamento.

Esse experimento teve como referência o trabalho de Stone (1997) e ocorreu de acordo com as seguintes etapas:

- 1º. Caracterização das amostras utilizadas no experimento;
- 2º. Determinação das configurações do experimento;

- 3°. Análise do espectro de resposta em espaço livre, que consiste em analisar o sinal recebido sem qualquer amostra na área de teste;
- 4°. Análise do espectro de resposta para as amostras testadas;
- 5°. Análise dos resultados com base em métodos estatísticos.

#### 3.3.2.2 Validade interna

Para Robson (2011), se um estudo pode plausivelmente demonstrar uma relação causal entre o tratamento e os resultados (relação de causa e efeito), pode-se afirmar que o mesmo possui validade interna.

Conforme especificações dos equipamentos utilizados para as medições, as amostras puderam ser reaproveitadas dos ensaios anteriores. A espessura de cada amostra dependia de cada sistema construtivo e poderá variar entre si. Esta diferença não comprometeu os resultados dos ensaios por representar o comportamento real de cada sistema construtivo, dentro de todos os parâmetros já citados nesta pesquisa.

Todos os equipamentos estavam devidamente calibrados por meio de laboratórios certificados.

Durante as medições, certificou-se que todas as antenas estavam dispostas com a mesma distância e ângulo de incidência dos outros testes, sendo que pequenas variações foram permitidas. Para obter precisão, foram utilizados nível e trena laser. Foi realizado ainda levantamento da temperatura, pressão e umidade em cada série de ensaios.

Todas as medidas foram anotadas em planilhas previamente elaboradas. Foram realizadas cinco série de medições, sendo que cada série compreende a análise de todas as frequências em todas as amostras de sistemas construtivos.

#### 3.3.2.3 Validade externa

Esse trabalho não ocorreu dentro de um ambiente isolado de fontes externas de ruído e reflexão dada pelo próprio ambiente, possível apenas dentro de uma câmara isolada e anecoica. Essa câmara, que além da blindagem de ruídos externos, possui materiais absorventes que absorvem as reflexões e assim permitem simular um espaço aberto de dimensão infinita.

Em relação aos sistemas construtivos de vedação utilizados, todos tiveram suas especificações e suas procedências definidas de forma que se possa repetir o experimento com materiais com propriedades iguais ou semelhantes. Alguns desses também passaram por ensaios tecnológicos a fim de conhecer suas propriedades

### 3.3.3 Delimitação do trabalho

Esta pesquisa de caráter exploratória utilizou equipamentos adequados e devidamente calibrados para medir esta faixa de frequência, em espaço aberto.

Foram analisadas sete amostras de acordo com as especificações a seguir:

- 1) Estrutura de *Drywall*: com chapas de gesso acartonado e isolamento térmico/acústico estruturados em perfil metálico. Não foi incorporado qualquer perfil metálico no interior da amostra, a fim de evitar interferência na penetração do sinal. Considerou-se apenas os perfis metálicos nas bordas do painel;
- 2) Estrutura de *Light Wood Framing*: com chapas de OSB, isolamento térmico/acústico, membrana hidrófuga, chapa cimentícia, estruturados em perfis de madeira. Não foi incorporado qualquer perfil de madeira no interior da amostra, de modo a interferir na penetração do sinal. Considerou-se apenas os perfis de madeira nas bordas do painel;
- 3) Estrutura de *Light Steel Framing*: com chapa cimentícia, isolamento térmico/acústico, e chapa de gesso acartonado estruturados em perfis metálicos. Não foi incorporado qualquer perfil metálico no interior da amostra, a fim de evitar interferência na penetração do sinal. Considerou-se apenas os perfis metálicos nas bordas do painel;
- 4) Alvenaria com blocos cerâmicos não estruturais: assentados com argamassa cimentícia sem revestimento. Não foram representados elementos estruturais em concreto armado, como pilares e vigas;
- 5) Alvenaria com blocos cerâmicos estruturais: assentados com argamassa cimentícia sem revestimento. Não foram representados elementos estruturais como concreto armado dentro dos vãos dos blocos ou a utilização de blocos canaletas para o mesmo princípio estrutural;

- 6) Alvenaria estrutural de blocos de concreto: assentados com argamassa cimentícia sem revestimento. Não foram representados elementos estruturais como concreto armado dentro dos vãos dos blocos ou a utilização de blocos canaletas para o mesmo princípio estrutural e;
- 7) Alvenaria de blocos de solo-cimento: com assentamento com argamassa cimentícia sem revestimento. Não foram representados elementos estruturais como concreto armado dentro dos vãos dos blocos ou a utilização de blocos canaletas para o mesmo princípio estrutural.

Sete amostras representaram alguns dos sistemas construtivos de vedação utilizados na construção civil. Todos os materiais possuem normas elaboradas pela ABNT, Governo Federal ou Normas Internacionais que especificam suas características e propriedades construtivas como anteriormente descrito. As unidades têm 0,40 m de largura por 0,40 m de altura. Devido às dimensões de alguns blocos, estas medidas variaram  $\pm 1$  cm. A espessura das unidades variou conforme a espessura do próprio sistema construtivo.

Todas as amostras dos sistemas construtivos analisados estão caracterizadas no capítulo 3.1 deste trabalho.

Conforme estudo de Stone (1997), esse trabalho contou com escudo eletromagnético de 1,44 m<sup>2</sup> e 3 mm de espessura feito de aço para bloquear qualquer múltiplo sinal refletido, exceto os sinais que atravessam a amostra. Esse elemento permitiu ainda bloquear parte do sinal ocasionado pela difração da onda nas arestas da própria amostra.

O painel de aço (3,0 mm) tinha 1,20 x 1,20 m, formando uma área de borda com a amostra de 40 cm em todas as direções do plano de incidência da onda eletromagnética. O painel tem um vão (janela) de 37,5 x 37,5 cm ( $A = 0,14$  m<sup>2</sup>) no centro, cujo sinal transmitido pode passar sem obstrução, conforme Figura 114.



Figura 114: imagem do escudo eletromagnético  
Fonte: autor (2015)

As frequências analisadas foram (e seus comprimentos de onda):

- a) 800 MHz ( $\lambda = 37,50$  cm);
- b) 900 MHz ( $\lambda = 33,33$  cm);
- c) 1800 MHz ( $\lambda = 16,66$  cm);
- d) 1900 MHz ( $\lambda = 16,66$  cm);
- e) 2400 MHz ( $\lambda = 12,50$  cm);
- f) 2500 MHz ( $\lambda = 12,00$  cm).

Essa pesquisa não analisou ondas eletromagnéticas com frequências diferentes destas citadas acima.

Essa pesquisa não estabeleceu ainda qualquer relação entre potenciais riscos à saúde nos seres vivos com o coeficiente de atenuação dos sistemas construtivos analisados.



### 3.3.4 Equipamentos de medição

Essa pesquisa exploratória utilizou um equipamento para emissão de sinais de determinadas frequência, um equipamento para receber estes sinais e conectadas a estes e antenas de alto ganho por meio de cabos coaxiais.

#### 3.3.4.1 Gerador de sinal

Para geração de sinal de alta frequência, foi utilizado um gerador acoplado a uma antena emissora. Esse equipamento, da marca Hewlett-Packard, modelo 8665B (*High Performance Signal Generator*), tem a capacidade de emitir um sinal até 6 GHz, conforme Figura 115.



Figura 115: gerador de sinal HP 8665B

Fonte: autor (2015)

Esse equipamento encontrava-se devidamente calibrado e conectado à antena por meio de cabos coaxiais.

#### 3.3.4.2 Analisador de espectro

Os sinais emitidos pela antena acoplada ao gerador de sinais, eram recebidos por outra antena de mesma propriedade, acoplada a uma analisador de espectro, modelo ANRITSU Spectrum Master MS2723C, conforme Figura 116.

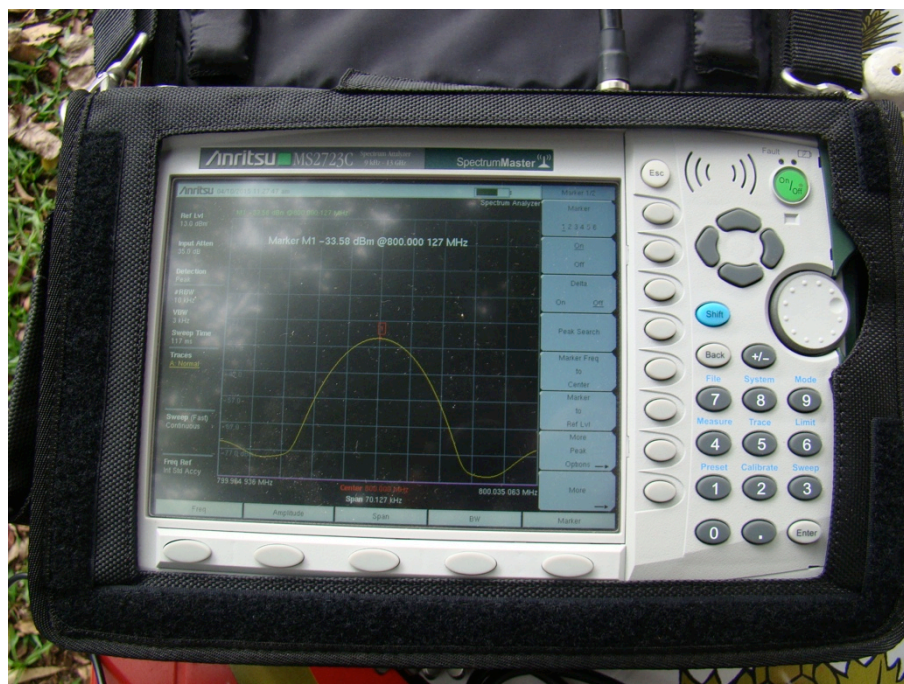


Figura 116: analisador de espectro MS2723C  
Fonte: autor (2015)

Ambas as antenas foram conectadas aos equipamentos por meio de cabos coaxiais, marca Aquário, modelo RGC – 213, de 1,5 m de comprimento e conectores tipo N.

### 3.3.4.3 Antenas

Foram utilizados dois tipos de antenas para este experimento:

- a) Antena celular Quadriband 800, 900, 1800 e 1900 MHz: marca Aquário, modelo CF-4000, tipo *Yagi*.
  - a) Ganho: 12 dBi
  - b) Frequência: 824 a 1990 MHz
  - c) Impedância: 50  $\Omega$
  - d)  $\Theta_H$ :  $57,2^\circ \pm 2^\circ$  @824-960 MHz e  $49,8^\circ \pm 2^\circ$  @ 1710-1990 MHz
  - e)  $\Theta_E$ :  $49^\circ \pm 2^\circ$  @824-960 MHz e  $40,5^\circ \pm 2^\circ$  @ 1710-1990 MHz
- b) Antena parabólica de grade 20 dBi: marca Aquário, modelo MM-2420.
  - a) Ganho: 20 dBi  $\pm$  1 dB
  - b) Frequência: 2.4 a 2.5 GHz
  - c) Impedância: 50  $\Omega$
  - d)  $\Theta_H$ :  $11^\circ \pm 1^\circ$
  - e)  $\Theta_E$ :  $12^\circ \pm 1^\circ$

Os diagramas de irradiação da antena celular Quadriband podem ser vistos na Figura 117.

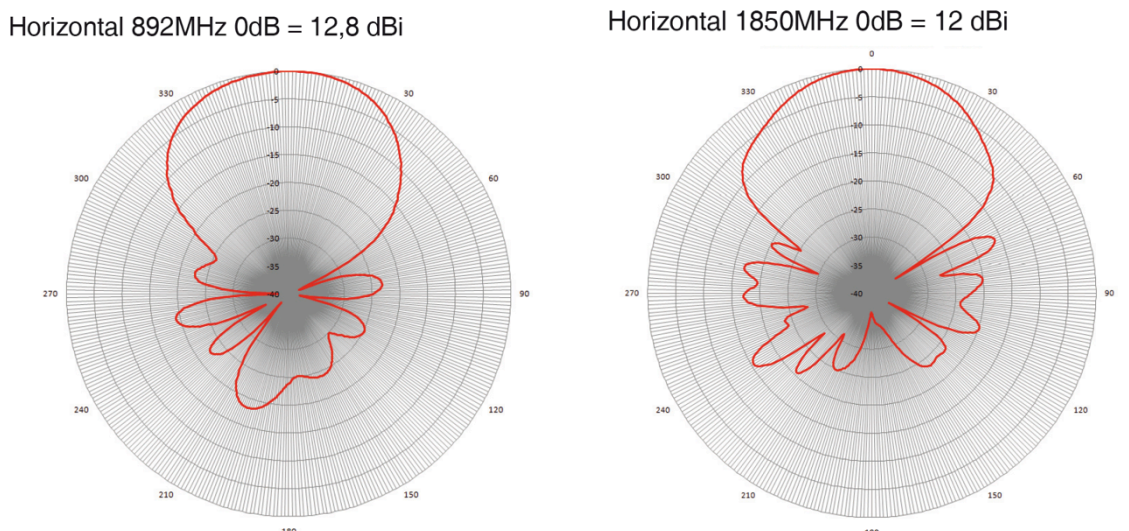


Figura 117: diagramas de irradiação antena celular Quadriband - Yagi

Fonte: Manual de instalação do fornecedor

Os diagramas de irradiação da antena parabólica podem ser vistos na Figura 118.

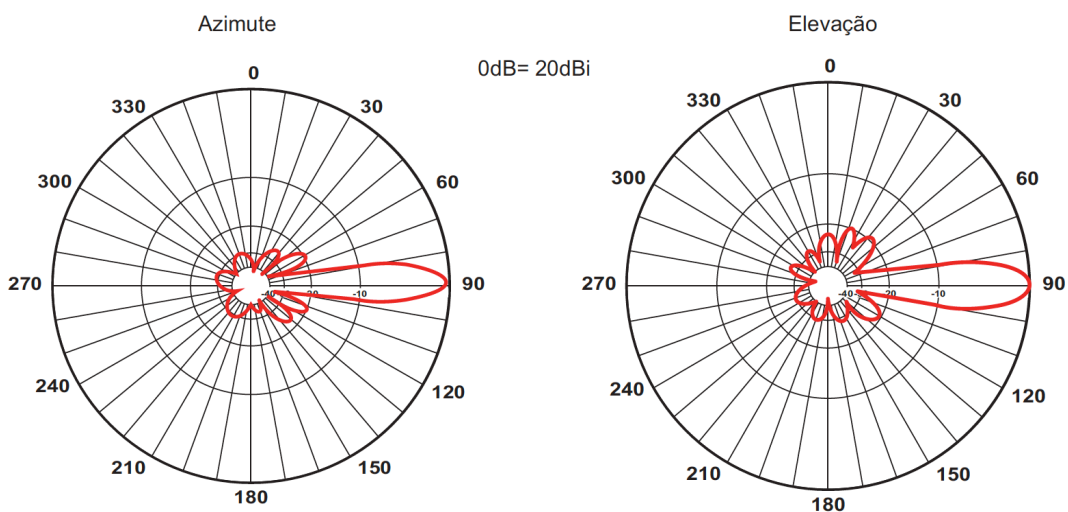


Figura 118: diagramas de irradiação antena parabólica grade

Fonte: Manual de instalação do fornecedor

### 3.3.5 Local para realização dos ensaios

O local para realização desses ensaios ocorreu em espaço aberto, sem obstáculos como paredes nas proximidades das medições, de forma a atenuar efeitos como reflexão e difração. Optou-se por um meio natural, onde as ondas eletromagnéticas estariam sujeitos ao fenômeno de espalhamento.

Era necessário que o local estivesse nas proximidades do edifício do SIMEPAR, visto que os equipamentos seriam deslocados do laboratório até a área externa. Assim, foi escolhida uma área anexa ao edifício, onde era possível deslocar os equipamentos e conectá-los à energia elétrica por meio de uma extensão de cabos (Figura 119). O local escolhido tem como forração vegetação gramínea, compostas por alguns arbustos e árvores, conforme Figura 120.



Figura 119: implantação do local do ensaio  
Fonte: autor (2015)



Figura 120: imagem do local do experimento  
Fonte: autor (2015)

### 3.3.6 Determinação das configurações do experimento

Em virtude do reaproveitamento das amostras existentes, a configuração do experimento foi baseada nas dimensões atuais destas amostras, ou seja, 0,40 m x 0,40 m.

Considerando o ganho das antenas *Yagi*, de 12 dBi, e as dimensões da amostra ( $L = 0,40$  m), determinou-se que a distância das antenas *Yagi* deveria ser de 0,80 m até a amostra, conforme:

$$G \approx 4r^2 / L^2 \quad (2)$$

Onde:

G = Ganho

r = distância da antena à amostra (m)

L = largura da amostra (m)

As antenas parabólicas foram posicionadas na mesma distância das antenas *Yagi*, em torno de 0,80 m das amostras.

Dada a distância das antenas às amostras, foi calculada a região iluminada do feixe emitido pelas antenas emissoras. Para cálculo da região iluminada pela antena *Yagi* e parabólica, foi feita uma média de todos os ângulos de abertura do feixe principal das antenas emissoras, considerando todas as frequências permitidas pelos equipamentos. Assim, tem-se:

a) Antena *Yagi*:  $\Theta = 49^\circ$

b) Antena parabólica:  $\Theta = 11,5^\circ$

Dada a distância de 0,80 m e os ângulos de abertura do feixe das antenas emissoras, foi possível conhecer a região iluminada nas amostras, conforme Figura 121 e Figura 122.

Assim, as áreas iluminadas são:

a) Antena *Yagi* (a = 0,36 m):  $A = 0,407 \text{ m}^2$

b) Antena Parabólica (a = 0,09 m):  $A = 0,0254 \text{ m}^2$

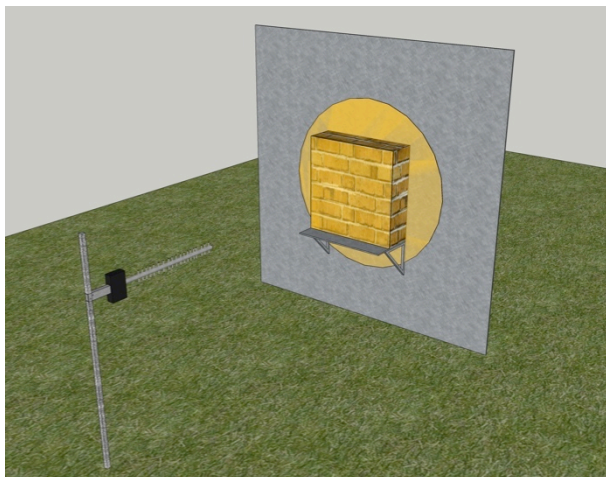


Figura 121: área iluminada antena Yagi  
Fonte: autor (2015)

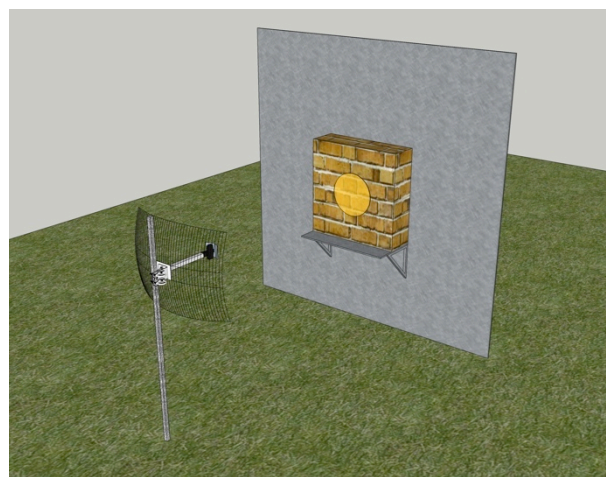


Figura 122: área iluminada antena parabólica  
Fonte: autor (2015)

### 3.3.7 Protocolo de coleta de dados

Considera-se dados, neste capítulo, como os valores obtidos de atenuação eletromagnética (dB) nas medições em campo.

Foram feitas cinco séries de medições ao todo, contemplando em cada série:

- a) Registro de temperatura, pressão atmosférica e umidade relativa;
- b) Registro da atenuação eletromagnética em dB, das frequências de 800, 900, 1800, 1900, 2400 e 2500 MHz, para os seguintes obstáculos:
  1. Livre (sem qualquer obstáculo bloqueando os sinais emitidos);
  2. Fechado (uma chapa de aço 3,00 mm bloqueava 100% da janela do escudo metálico);
  3. Amostra de *Drywall*;
  4. Amostra de *Light Wood Framing*;
  5. Amostra de *Light Steel Framing*,
  6. Amostra de Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais;
  7. Amostra de Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais;
  8. Amostra de Alvenaria de blocos de concreto;
  9. Amostra de Alvenaria de blocos de solo-cimento.

A leitura das medições foi realizada, em todo momento, por um mesmo operador do analisador de espectro. Este anotava sempre valores mínimos e máximos de cada

medição. O formulário completo pode ser visualizado no APÊNDICE C desse trabalho.

Os coeficientes de atenuação de cada amostra para cada frequência eram definidos pela diferença entre a média dos valores registrados em cada medição da respectiva amostra, e a média dos valores registrados das medições livres (sem amostras na área de teste). A equação abaixo ilustra este cálculo, considerando uma frequência de 800 MHz, por exemplo:

$$Att_{A,800} \text{ (dB)} = Att_{A',800} \text{ (dB)} - Att_{L,800} \text{ (dB)} \quad (3)$$

Onde:

$Att_{A,800}$  = coeficiente de atenuação (dB) para uma determinada amostra A, na frequência de 800 MHz

$Att_{A',800}$  = atenuação (dB) para uma determinada amostra A, na frequência de 800 MHz

$Att_{L,800}$  = atenuação (dB) sem obstáculo na área de teste, na frequência de 800 MHz

Registrou-se ainda as distâncias entre as antenas (pontas) e as superfícies de cada amostra.

### 3.3.8 Método para análise estatística dos resultados

Como forma de analisar os resultados obtidos, foi realizado um modelo estatístico fatorial considerando dois fatores a saber: a) frequência e b) sistema construtivo de vedação.

Assim, esse método de análise procura saber se existe interação entre os dois fatores citados. Para isto, utilizou-se a técnica estatística chamada ANOVA (do inglês, *ANalysis Of VAriance*), que é utilizada para testar a hipótese de que as médias de duas ou mais populações são iguais. A ANOVA permite testar a igualdade de médias de uma variável contínua incluindo dois fatores (*two-way ANOVA*).

De acordo com Ribeiro e Caten (2003), a análise de variância para projetos cruzados de 2 fatores utilizou como base na Tabela 39.

Tabela 39: análise de variância para projetos cruzados de 2 fatores

Fonte de variação	Soma dos Quadrados	GDL	Médias Quadradas	Teste F
A	SQA	(a-1)	MQA	MQA/MQR
B	SQB	(b-1)	MQB	MQB/MQR
AB	SQAB	(a-1)(b-1)	MQAB	MQAB/MQR
Erro	SQR	ab(n-1)	MQR	
Total	SQT	abn-1		

Fonte: Ribeiro e Caten (2003)

Com base nesta técnica, determina-se se a interação entre dois fatores é significativa ou não calculando a razão entre MQ e MQR (teste F).

Em caso de haver interação significativa entre os dois fatores, inicia-se a Comparação Múltipla das Médias (CMM). Esta comparação permite identificar essas interações entre pares de médias específicos ou em combinações lineares das médias. Assim, sabe-se qual fator interage significativamente com o fator que se compara.

Constata-se uma diferença significativa entre fatores quanto a diferença entre eles é maior que o valor do limite de decisão ( $L_D$ ). O limite de decisão representa 3 vezes o valor do desvio padrão das médias ( $S_x$ ), e é dado por:

$$L_D = 3 * S_x \quad (4)$$

Assim, verifica-se qual dos fatores apresenta interação significativa e se existe interação significativa entre estes. Para cada interação significativa, elabora-se a comparação múltipla das médias, fixando-se um dos fatores.

Por meio da CMM, será possível classificar e verificar qual o sistema construtivo de vedação apresenta, neste trabalho, o melhor coeficiente de atenuação de ondas eletromagnéticas de alta frequência analisadas.



## 4 RESULTADOS OBTIDOS

Neste capítulo, serão apresentados os resultados das médias obtidos nas medições realizadas em terreno anexo ao SIMEPAR. Os dados de cada série de medições poderão ser visualizados no APÊNDICE E deste trabalho.

Primeiramente serão apresentados os resultados sistematizados por amostra analisada, considerando os ensaios livres (sem amostras) e fechados (com chapa de aço 3 mm no lugar de uma amostra).

E por último, serão apresentados os resultados por frequência analisada, considerando todas as amostras, além das análises livres e fechadas.

Cabe destacar que o gerador de sinal HP 8665B foi configurado com um potência de transmissão na ordem de 0 dBm (decibel miliwatt), de forma que valores negativos medidos nos ensaios representam atenuação da onda, enquanto valores positivos representam amplificação da onda.

### 4.1 DESEMPENHO DAS AMOSTRAS CONFORME FREQUÊNCIA

Neste tópico, serão apresentados os resultados referente ao desempenho das amostras conforme frequência analisada.

As distâncias das antenas às amostras podem ser vistas no APÊNDICE D.

O valor Att(dB), encontrado nas tabelas de cada amostra analisada, representa a diferença do valor da média obtida com respectiva a amostra e o valor da média sem obstáculo, considerando as mesmas frequências. Representa, assim, o coeficiente de atenuação eletromagnética do sistema para uma determinada frequência.

São descritos os resultados das medições em:

- 1) Livre;
- 2) Fechado;
- 3) Drywall;
- 4) *Light Wood Framing*;
- 5) *Light Steel Framing*;
- 6) Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais;
- 7) Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais;
- 8) Alvenaria de blocos de concreto e;

## 9) Alvenaria de blocos de solo-cimento.

## 4.1.1 Amostra: livre

A Tabela 40 apresenta os resultados obtidos nas medições livres, ou seja, sem qualquer obstáculo na área de teste.

Essas medições livres consideram a transmissão de sinal por dentro do vão do escudo eletromagnético, posicionado entre as antenas de transmissão e recepção, que se encontra fixo durante todas as cinco séries de medições realizadas nesse trabalho.

Tabela 40: resultados área de teste Livre

<b>LIVRE</b>	<b>antena</b>	<b>dB média</b>	<b>Desvio Padrão (dB)</b>
800 MHz	CF-4000	<b>-22,53</b>	0,23
900 MHz	CF-4000	<b>-22,74</b>	0,14
1800 MHz	CF-4000	<b>-25,9</b>	0,14
1900 MHz	CF-4000	<b>-26,79</b>	0,46
2400 MHz	MM-2420	<b>-19,16</b>	0,27
2500 MHz	MM-2420	<b>-20,28</b>	0,04

Fonte: autor (2015)

A Figura 123 e a Figura 124 ilustram o experimento acima.



Figura 123: medição final CF-4000 livre

Fonte: autor (2015)



Figura 124: medição final MM-2420 livre

Fonte: autor (2015)

#### 4.1.2 Amostra: fechada

A Tabela 41 apresenta os resultados obtidos nas medições fechadas, ou seja, utilizando uma chapa de mesmo material do escudo (aço 3,00 mm), de forma a ter como referência máxima atenuação nas medições realizadas.

Tabela 41: resultados área de teste fechada

LIVRE	antena	dB média	Desvio Padrão (dB)	$\Delta$ dB (fechado - livre)
800 MHz	CF-4000	<b>-32,92</b>	0,46	<b>-10,39</b>
900 MHz	CF-4000	<b>-34,45</b>	0,33	<b>-11,71</b>
1800 MHz	CF-4000	<b>-50,92</b>	0,24	<b>-25,02</b>
1900 MHz	CF-4000	<b>-52,91</b>	0,37	<b>-26,12</b>
2400 MHz	MM-2420	<b>-58,99</b>	2,84	<b>-39,83</b>
2500 MHz	MM-2420	<b>-59,1</b>	1,79	<b>-38,82</b>

Fonte: autor (2015)

A Figura 125 e a Figura 126 ilustram o experimento acima.



Figura 125: medição final CF-4000 fechado

Fonte: autor (2015)



Figura 126: medição final MM-2420 fechado

Fonte: autor (2015)

#### 4.1.3 Amostra: *Drywall*

A Tabela 42 apresenta os resultados obtidos nas medições com a amostra de *Drywall*.

Tabela 42: resultados para *Drywall*

LIVRE	antena	dB média	Desvio Padrão (dB)	Att(dB)
800 MHz	CF-4000	<b>-23,34</b>	0,27	<b>-0,81</b>
900 MHz	CF-4000	<b>-22,73</b>	0,26	<b>0,01</b>
1800 MHz	CF-4000	<b>-29,77</b>	0,36	<b>-3,87</b>
1900 MHz	CF-4000	<b>-30,57</b>	0,76	<b>-3,78</b>
2400 MHz	MM-2420	<b>-20,74</b>	0,04	<b>-1,58</b>
2500 MHz	MM-2420	<b>-22,26</b>	0,08	<b>-1,98</b>

Fonte: autor (2015)

A Figura 127 e Figura 128 ilustram o experimento acima.



Figura 127: medição final CF-4000 *Drywall*  
Fonte: autor (2015)



Figura 128: medição final MM-2420 *Drywall*  
Fonte: autor (2015)

#### 4.1.4 Amostra: *Light Wood Framing*

A Tabela 43 apresenta os resultados obtidos nas medições com a amostra de *Light Wood Framing*.

Tabela 43: resultados para *Light Wood Framing*

LIVRE	antena	dB média	Desvio Padrão (dB)	Att(dB)
800 MHz	CF-4000	<b>-30,71</b>	1,08	<b>-8,18</b>
900 MHz	CF-4000	<b>-26,43</b>	0,44	<b>-3,69</b>
1800 MHz	CF-4000	<b>-42,7</b>	1,76	<b>-16,8</b>
1900 MHz	CF-4000	<b>-40,78</b>	1,07	<b>-13,99</b>
2400 MHz	MM-2420	<b>-29,34</b>	0,09	<b>-10,18</b>
2500 MHz	MM-2420	<b>-30,41</b>	0,10	<b>-10,13</b>

Fonte: autor (2015)

A Figura 129 e Figura 130 ilustram o experimento acima.



Figura 129: medição final CF-4000 *Light Wood Framing*

Fonte: autor (2015)



Figura 130: medição final MM-2420 *Light Wood Framing*

Fonte: autor (2015)

#### 4.1.5 Amostra: *Light Steel Framing*

A Tabela 44 apresenta os resultados obtidos nas medições com a amostra de *Light Steel Framing*.

Tabela 44: resultados para *Light Steel Framing*

LIVRE	antena	dB média	Desvio Padrão (dB)	Att(dB)
800 MHz	CF-4000	<b>-25,15</b>	0,25	<b>-2,62</b>
900 MHz	CF-4000	<b>-26,69</b>	0,33	<b>-3,95</b>
1800 MHz	CF-4000	<b>-29,49</b>	0,24	<b>-3,59</b>
1900 MHz	CF-4000	<b>-30,55</b>	0,91	<b>-3,76</b>
2400 MHz	MM-2420	<b>-24,69</b>	0,09	<b>-5,53</b>
2500 MHz	MM-2420	<b>-25,57</b>	0,07	<b>-5,29</b>

Fonte: autor (2015)

A Figura 131 e Figura 132 ilustram o experimento acima.



Figura 131: medição final CF-4000 *Light Steel Framing*

Fonte: autor (2015)



Figura 132: medição final MM-2420 *Light Steel Framing*

Fonte: autor (2015)

#### 4.1.6 Amostra: Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais

A Tabela 45 apresenta os resultados obtidos nas medições com a amostra de Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais.

Tabela 45: resultados para Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais

LIVRE	antena	dB média	Desvio Padrão (dB)	Att(dB)
800 MHz	CF-4000	<b>-24,65</b>	0,21	<b>-2,12</b>
900 MHz	CF-4000	<b>-23,59</b>	2,19	<b>-0,85</b>
1800 MHz	CF-4000	<b>-35,39</b>	1,61	<b>-9,49</b>
1900 MHz	CF-4000	<b>-37,65</b>	0,57	<b>-10,86</b>
2400 MHz	MM-2420	<b>-40,29</b>	0,70	<b>-21,13</b>
2500 MHz	MM-2420	<b>-38,39</b>	0,42	<b>-18,11</b>

Fonte: autor (2015)

A Figura 133 e Figura 134 ilustram o experimento acima.



Figura 133: medição final CF-4000 Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais

Fonte: autor (2015)



Figura 134: medição final MM-2420 Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais

Fonte: autor (2015)

#### 4.1.7 Amostra: Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais

A Tabela 46 apresenta os resultados obtidos nas medições com a amostra de Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais.

Tabela 46: resultados para Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais

LIVRE	antena	dB média	Desvio Padrão (dB)	Att(dB)
800 MHz	CF-4000	<b>-23,78</b>	0,16	<b>-1,25</b>
900 MHz	CF-4000	<b>-22,29</b>	0,15	<b>0,45</b>
1800 MHz	CF-4000	<b>-26,26</b>	0,13	<b>-0,36</b>
1900 MHz	CF-4000	<b>-28,34</b>	0,36	<b>-1,551</b>
2400 MHz	MM-2420	<b>-23,89</b>	0,24	<b>-4,73</b>
2500 MHz	MM-2420	<b>-25,47</b>	0,15	<b>-5,19</b>

Fonte: autor (2015)

A Figura 135 e Figura 136 ilustram o experimento acima.



Figura 135: medição final CF-4000 Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais

Fonte: autor (2015)



Figura 136: medição final CF-4000 Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais

Fonte: autor (2015)



#### 4.1.8 Amostra: Alvenaria de blocos de concreto

A Tabela 47 apresenta os resultados obtidos nas medições com a amostra de Alvenaria de blocos de concreto.

Tabela 47: resultados para Alvenaria de blocos de concreto

LIVRE	antena	dB média	Desvio Padrão (dB)	Att(dB)
800 MHz	CF-4000	<b>-27,15</b>	0,21	<b>-4,62</b>
900 MHz	CF-4000	<b>-23,5</b>	0,20	<b>-0,76</b>
1800 MHz	CF-4000	<b>-43,58</b>	0,28	<b>-17,68</b>
1900 MHz	CF-4000	<b>-38,93</b>	0,23	<b>-12,14</b>
2400 MHz	MM-2420	<b>-30,65</b>	0,18	<b>-11,49</b>
2500 MHz	MM-2420	<b>-29,62</b>	0,04	<b>-9,34</b>

Fonte: autor (2015)

A Figura 137 e Figura 138 ilustram o experimento acima.



Figura 137: medição final CF-4000 Alvenaria de blocos de concreto  
Fonte: autor (2015)



Figura 138: medição final MM-2420 Alvenaria de blocos de concreto  
Fonte: autor (2015)

#### 4.1.9 Amostra: Alvenaria de blocos de solo-cimento

A Tabela 48 apresenta os resultados obtidos nas medições com a amostra de Alvenaria de blocos de solo-cimento.

Tabela 48: resultados para Alvenaria de blocos de solo-cimento

LIVRE	antena	dB média	Desvio Padrão (dB)	Att(dB)
800 MHz	CF-4000	<b>-28,79</b>	0,26	<b>-6,26</b>
900 MHz	CF-4000	<b>-25,07</b>	0,44	<b>-2,33</b>
1800 MHz	CF-4000	<b>-29,15</b>	0,35	<b>-3,25</b>
1900 MHz	CF-4000	<b>-29,69</b>	0,40	<b>-2,9</b>
2400 MHz	MM-2420	<b>-30,77</b>	2,02	<b>-11,61</b>
2500 MHz	MM-2420	<b>-33,04</b>	1,06	<b>-12,76</b>

Fonte: autor (2015)

A Figura 139 e Figura 140 ilustram o experimento acima.



Figura 139: medição final CF-4000 Alvenaria de blocos de solo-cimento

Fonte: autor (2015)



Figura 140: medição final MM-2420 Alvenaria de blocos de solo-cimento

Fonte: autor (2015)

## 4.2 DESEMPENHO DAS AMOSTRAS CONFORME SISTEMA CONSTRUTIVO

Neste tópico, serão apresentados os resultados compilados, referentes ao desempenho das amostras conforme sistema construtivo analisado.

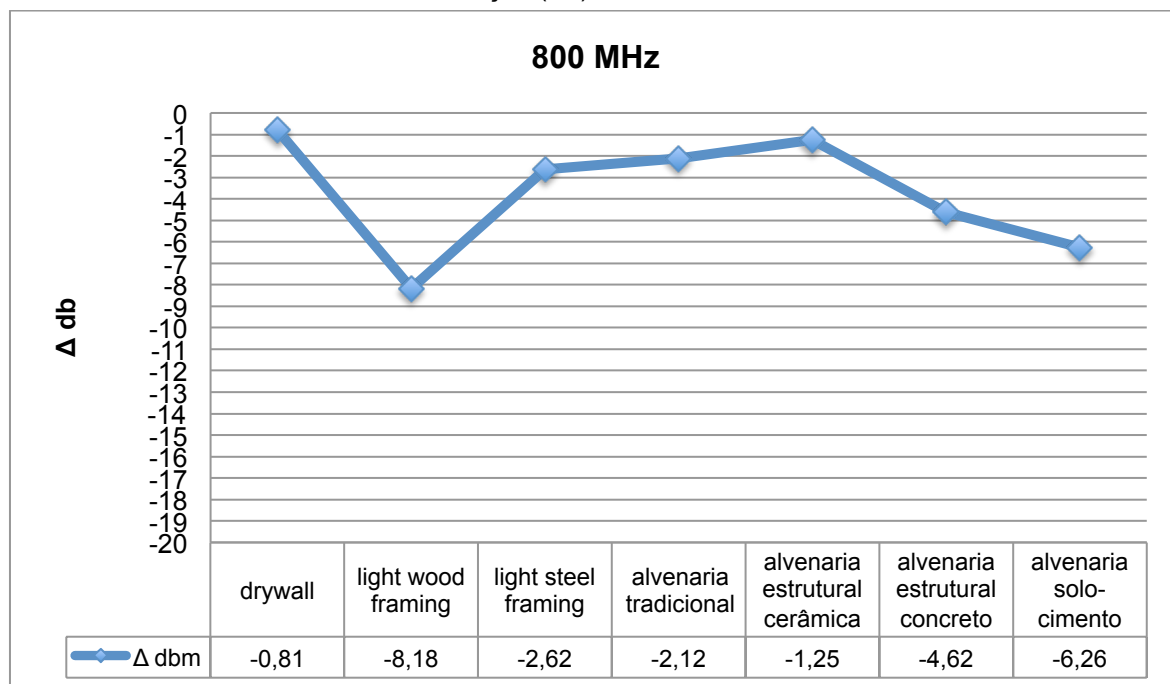
Os valores apresentados para cada sistema construtivo de vedação, nos gráficos a seguir, representam a variação do coeficiente de atenuação entre a atenuação da amostra e a atenuação sem obstáculo na área de teste.

Nos gráficos abaixo, quanto maior a variação ( $\Delta$  db), maior o coeficiente de atenuação da amostra. Cabe ressaltar que valores negativos representam atenuação da onda, enquanto valores positivos representam amplificação.

#### 4.2.1 Frequência: 800 MHz

O Gráfico 2 apresenta os resultados obtidos nas medições realizadas, considerando apenas a frequência de 800 MHz.

Gráfico 2: atenuação (dB) das amostras em 800 MHz



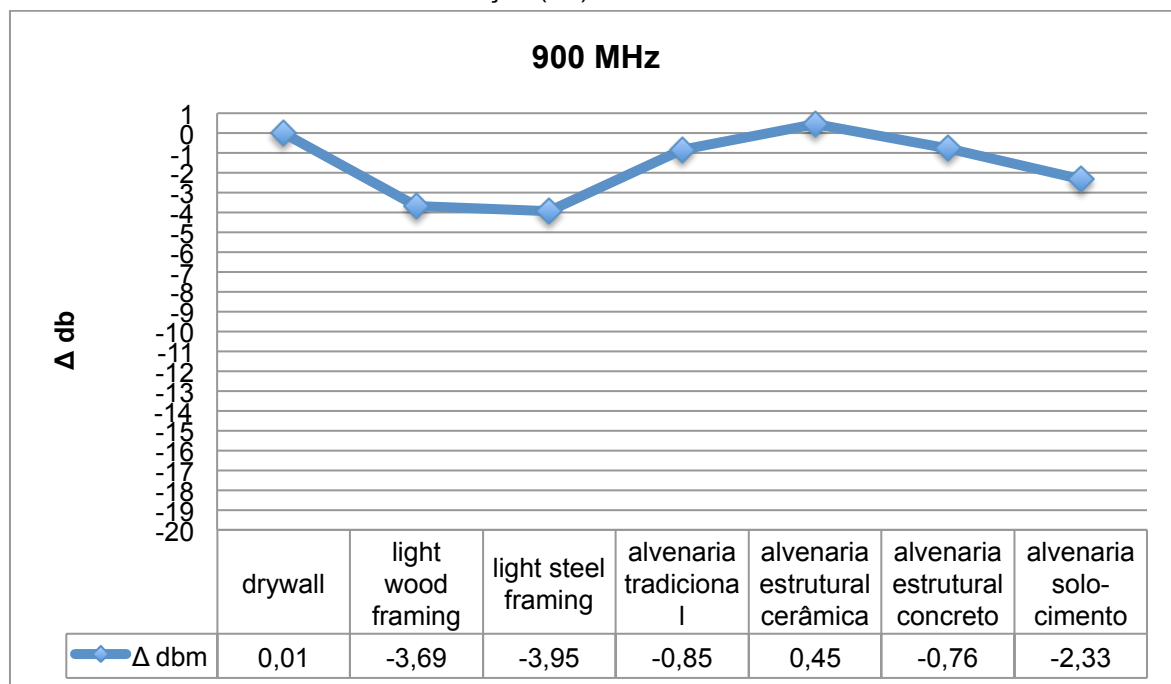
Fonte: autor (2015)

Desta forma, na frequência de 800 MHz, a amostra que apresentou (em módulo, ou seja, sem o sinal algébrico) o maior coeficiente de atenuação foi o *Light Wood Framing* ( $\Delta = -8,18$  dB).

#### 4.2.2 Frequência: 900 MHz

O Gráfico 3 apresenta os resultados obtidos nas medições realizadas, considerando apenas a frequência de 900 MHz.

Gráfico 3: atenuação (dB) das amostras em 900 MHz



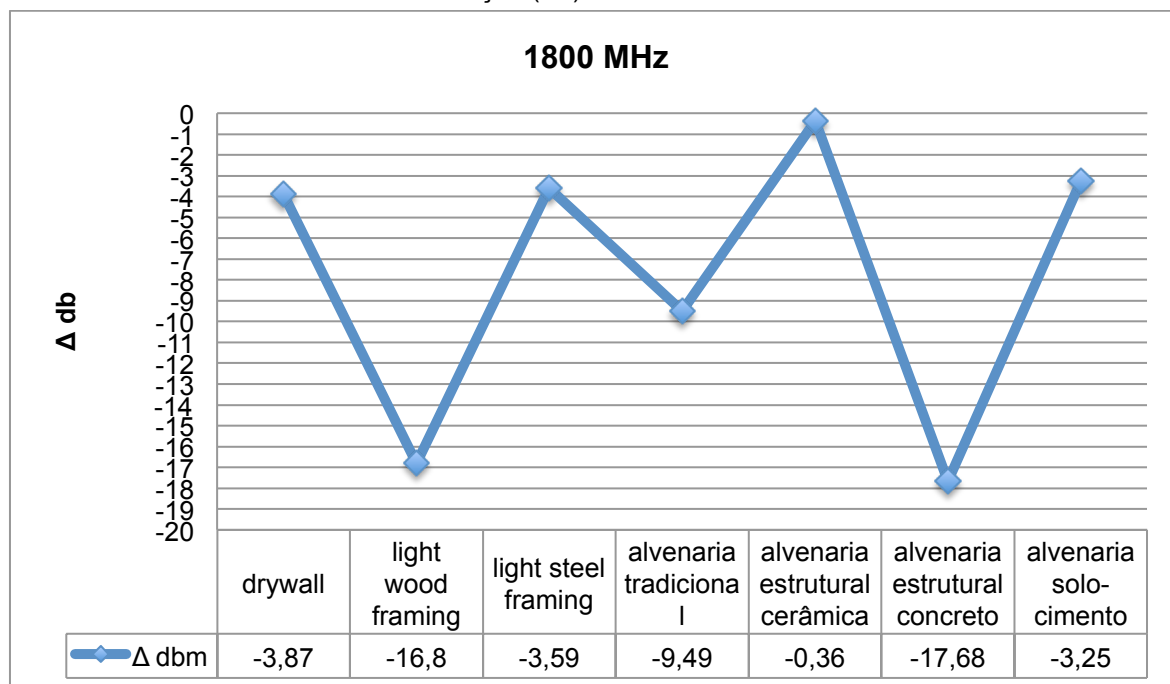
Fonte: autor (2015)

Assim, na frequência de 900 MHz, a amostra que apresentou (em módulo, ou seja, sem o sinal algébrico) o maior coeficiente de atenuação foi o *Light Steel Framing* ( $\Delta = -3,95$  dB).

#### 4.2.3 Frequência: 1800 MHz

O Gráfico 4 apresenta os resultados obtidos nas medições realizadas, considerando apenas a frequência de 1800 MHz.

Gráfico 4: atenuação (dB) das amostras em 1800 MHz



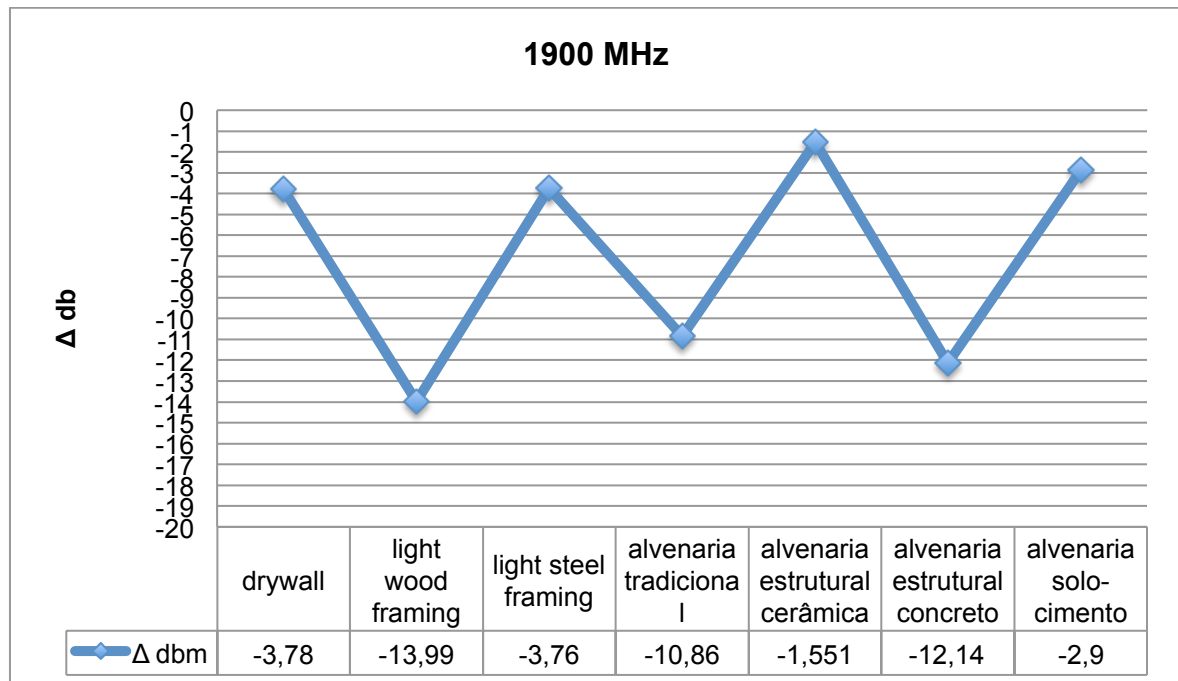
Fonte: autor (2015)

Desta forma, na frequência de 1800 MHz, a amostra que apresentou (em módulo, ou seja, sem o sinal algébrico) o maior coeficiente de atenuação foi a alvenaria de blocos de concreto ( $\Delta = -17,68$  dB).

#### 4.2.4 Frequência: 1900 MHz

O Gráfico 5 apresenta os resultados obtidos nas medições realizadas, considerando apenas a frequência de 1900 MHz.

Gráfico 5: atenuação (dB) das amostras em 1900 MHz



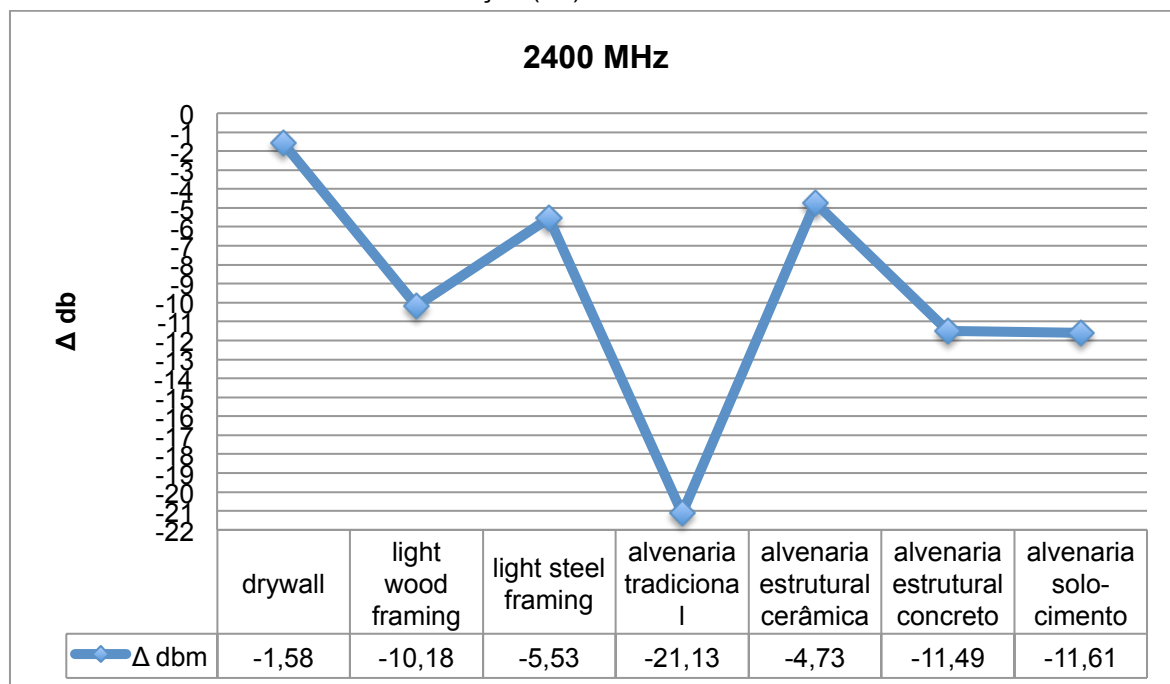
Fonte: autor (2015)

Assim, na frequência de 1900 MHz, a amostra que apresentou (em módulo, ou seja, sem o sinal algébrico) o maior coeficiente de atenuação foi o *Light Wood Framing* ( $\Delta = -13,99$  dB).

#### 4.2.5 Frequência: 2400 MHz

O Gráfico 6 apresenta os resultados obtidos nas medições realizadas, considerando apenas a frequência de 2400 MHz.

Gráfico 6: atenuação (dB) das amostras em 2400 MHz



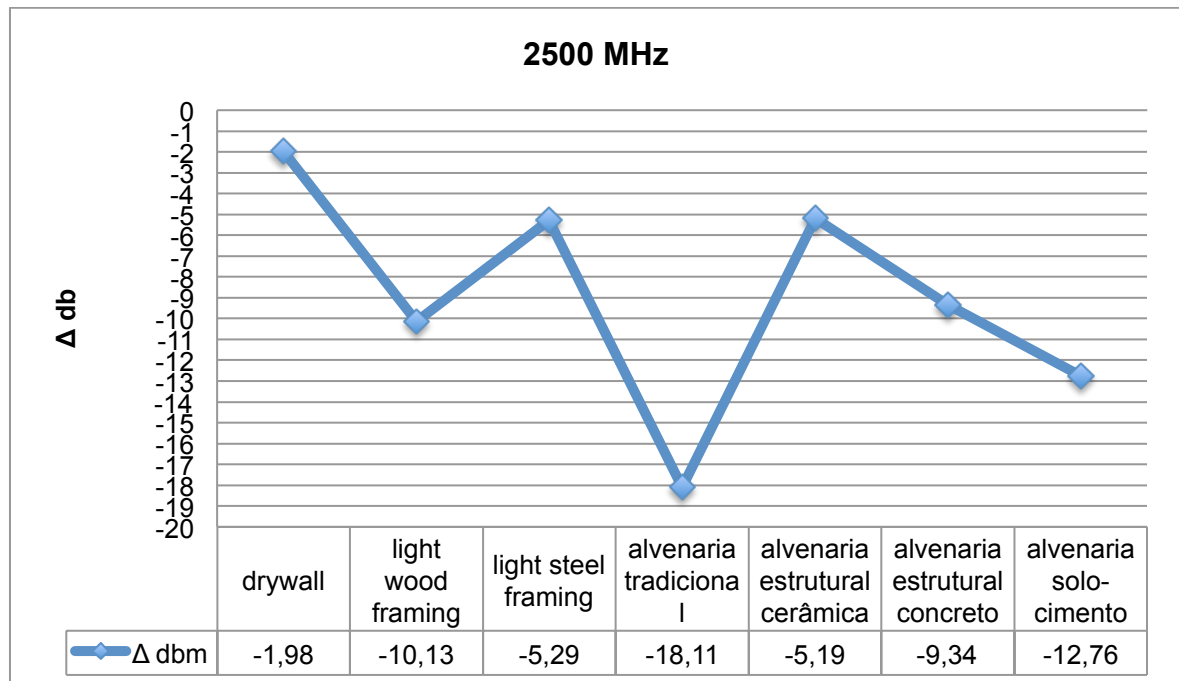
Fonte: autor (2015)

Assim, na frequência de 2400 MHz, a amostra que apresentou (em módulo, ou seja, sem o sinal algébrico) o maior coeficiente de atenuação foi a alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais ( $\Delta = -21,13$  dB).

#### 4.2.6 Frequência: 2500 MHz

O Gráfico 7 apresenta os resultados obtidos nas medições realizadas, considerando apenas a frequência de 2500 MHz.

Gráfico 7: atenuação (dB) das amostras em 2500 MHz



Fonte: autor (2015)

Assim, na frequência de 2500 MHz, a amostra que apresentou (em módulo, ou seja, sem o sinal algébrico) o maior coeficiente de atenuação foi a alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais ( $\Delta = -18,11$  dB).

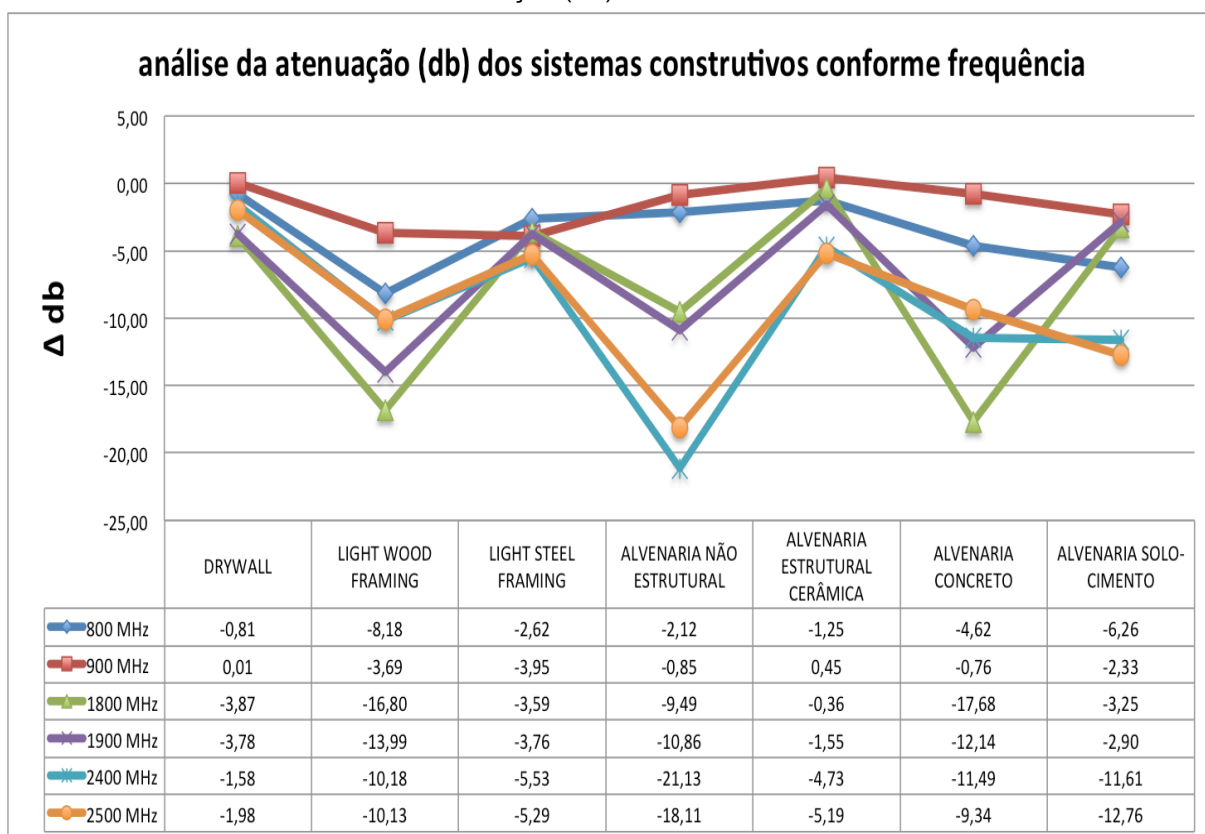


## 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este trabalho possibilitou conhecer os coeficientes de atenuação de radiação de alta frequência de sete amostras representando sete sistemas construtivos de vedação. As frequências analisadas neste experimento compreendem as faixas utilizadas pela telefonia celular no Brasil.

O Gráfico 8 mostra os valores das médias de atenuação (dB) em todas as frequências analisadas em cada uma das amostras dos sistemas construtivos de vedação.

Gráfico 8: atenuação (dB) das amostras analisadas



Fonte: autor (2015)

Este gráfico de interação permite concluir que existe interação entre os fatores (frequência e sistema construtivo de vedação)

### 5.1 ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Primeiramente, pode-se concluir que o efeito da frequência é significativo. Para uma determinada amostra, a atenuação (dB) varia em função de cada frequência emitida,

ou seja, uma amostra pode atenuar significativamente uma onda em uma determinada frequência, mas pode não atenuar significativamente em outra.

Da mesma forma ocorre com o efeito sistema construtivo de vedação é significativo. Neste caso, verificou-se que os sistemas construtivos têm propriedades de atenuação diferentes para uma determinada frequência emitida.

Foi possível afirmar ainda que o efeito da interação é significativa entre as fontes de variação: frequência e sistema construtivo de vedação.

A Tabela 49 apresenta estatisticamente o efeito dos fatores e da interação entre os dois.

Tabela 49: análise de variância para projetos cruzados de 2 fatores

Fonte de variação	Teste F	f TAB
Frequência (A)	530,88	2,22
Sistema construtivo de vedação (B)	655,18	2,11
AB	75,18	1,47

Fonte: autor (2015)

Com base nestes cálculos, pode-se afirmar que os sistemas construtivos de vedação não possuem um parâmetro de atenuação constante para frequências na faixa de micro-ondas, podendo se comportar de formas distintas para frequências distintas.

## 5.2 COMPARAÇÃO MÚLTIPLA DAS MÉDIAS

Devido à constatação que existe interação significativa entre os fatores analisados, foram realizadas comparações múltiplas das médias. Primeiramente, foi fixado o nível do fator frequência e comparadas as médias de atenuação (dB) do fator sistema construtivo de vedação. A segunda análise compreende a inversão dos fatores a serem comparados, de modo que o fator fixado nesta análise é o sistema construtivo de vedação, comparando assim as médias de atenuação (dB) do fator frequência.

Para determinar se há interação significativa entre os fatores, calculou-se o limite de decisão com base no desvio padrão das médias conforme equação apresentada no capítulo 3.3.8 deste trabalho. Neste caso, o valor encontrado para  $L_D = 1,08$ .

#### 5.2.1 Comparação Múltipla das Médias: frequência

Nesta análise, são fixados os níveis do fator frequência e comparadas as médias de atenuação (dB) das amostras do fator sistema construtivo de vedação.

Os cálculos das médias foram realizados em ordem decrescente dos valores das médias obtidas.

Assim, quando o nível de diferença entre a Comparação Múltipla das Médias (CMM) em uma determinada frequência, é significativo, pode-se afirmar que existe diferença entre desempenho dos dois sistemas construtivos. Já quando a diferença não é significativa, diz-se que os sistemas construtivos apresentam o mesmo desempenho quando comparados entre si, conforme método estatístico.

A tabela completa com todos os valores pode ser vista no APÊNDICE G.

## 5.2.1.1 Frequência de 800 MHz

Pode-se observar na Tabela 50, considerando o limite de decisão de 1,08, o nível de diferença entre os sistemas construtivos analisados para a frequência de 800 MHz.

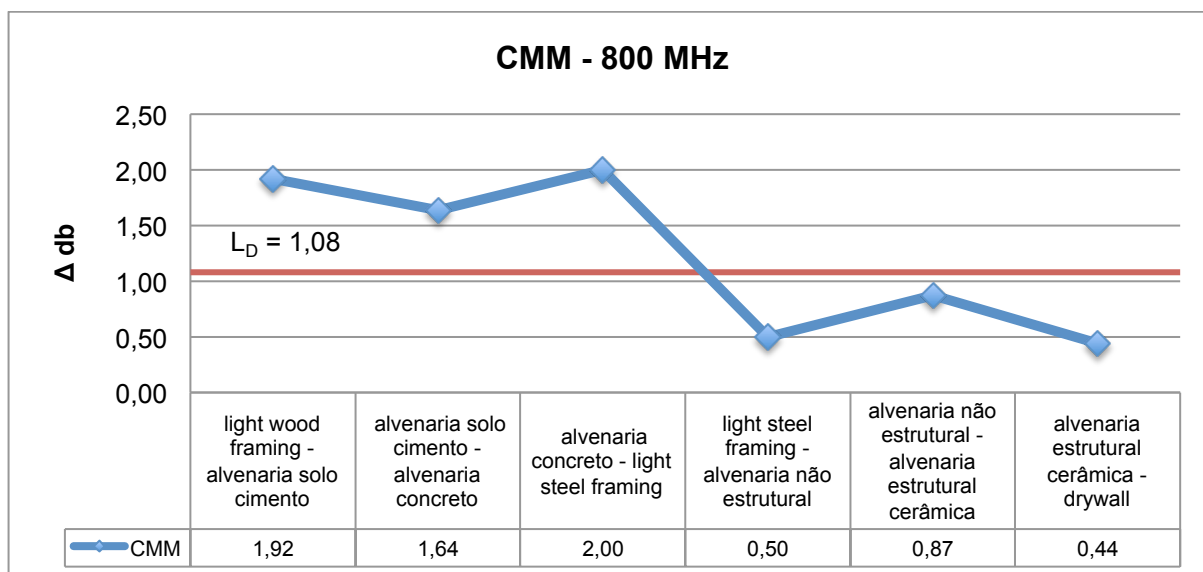
Tabela 50: CMM para frequência de 800 MHz

Nível de Diferença	Sistemas Construtivos
Diferença Significativa	<i>Light Wood Framing</i> e Alvenaria de blocos de solo-cimento Alvenaria de blocos de solo-cimento e Alvenaria de blocos de concreto Alvenaria de blocos de concreto e <i>Light Steel Framing</i>
Diferença não Significativa	<i>Light Steel Framing</i> e Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais e Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais e <i>Drywall</i>

Fonte: autor (2015)

O Gráfico 9 apresenta a Comparação Múltipla das Médias (CMM) para a frequência de 800 MHz, contemplando todos os sistemas construtivos de vedação representados pelas amostras analisadas.

Gráfico 9: CMM 800 MHz



Fonte: autor (2015)

## 5.2.1.2 Frequência de 900 MHz

A Tabela 51 apresenta, considerando o limite de decisão de 1,08, o nível de diferença entre os sistemas construtivos analisados para a frequência de 900 MHz.

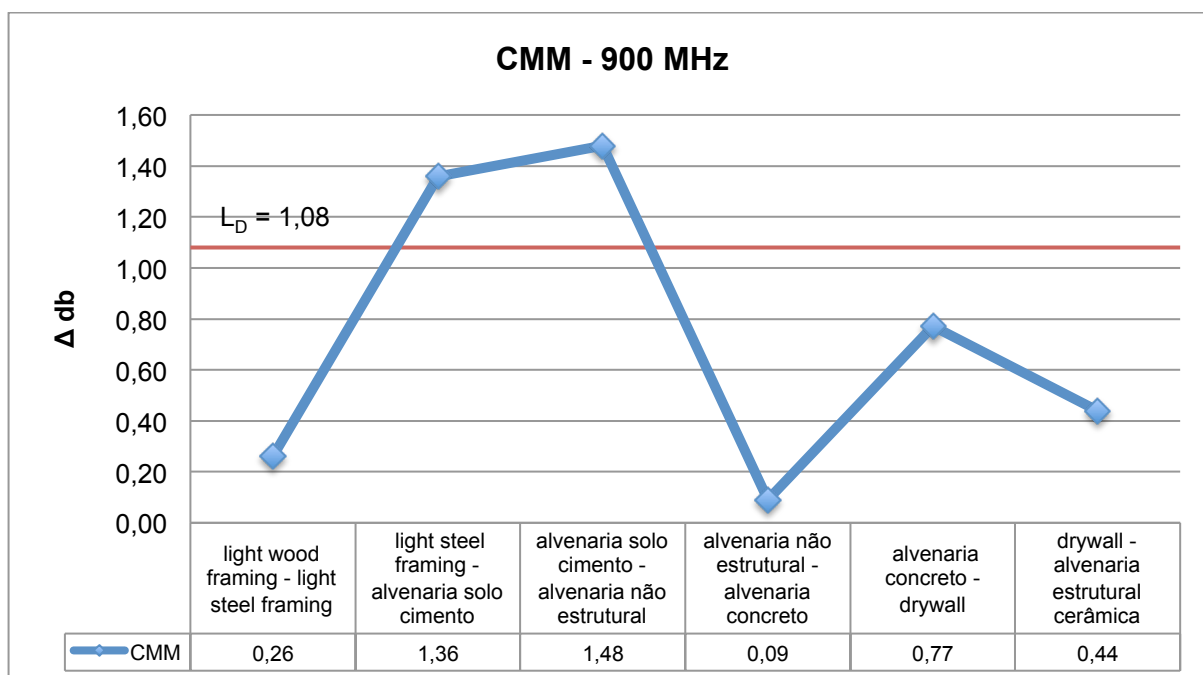
Tabela 51: CMM para frequência de 900 MHz

Nível de Diferença	Sistema Construtivos
Diferença Significativa	<i>Light Steel Framing</i> e Alvenaria de blocos de solo-cimento Alvenaria de blocos de solo-cimento e Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais
Diferença não Significativa	<i>Light Wood Framing</i> e <i>Light Steel Framing</i> Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais e Alvenaria de blocos de concreto Alvenaria de blocos de concreto e <i>Drywall</i> <i>Drywall</i> e Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais

Fonte: autor (2015)

O Gráfico 10 apresenta a Comparação Múltipla das Médias (CMM) para a frequência de 900 MHz, incluindo todos os sistemas construtivos de vedação representados pelas amostras analisadas.

Gráfico 10: CMM 900 MHz



Fonte: autor (2015)

## 5.2.1.3 Frequência de 1800 MHz

A Tabela 52 descreve o nível de diferença entre os sistemas construtivos analisados para a frequência de 1800 MHz, considerando o limite de decisão de 1,08.

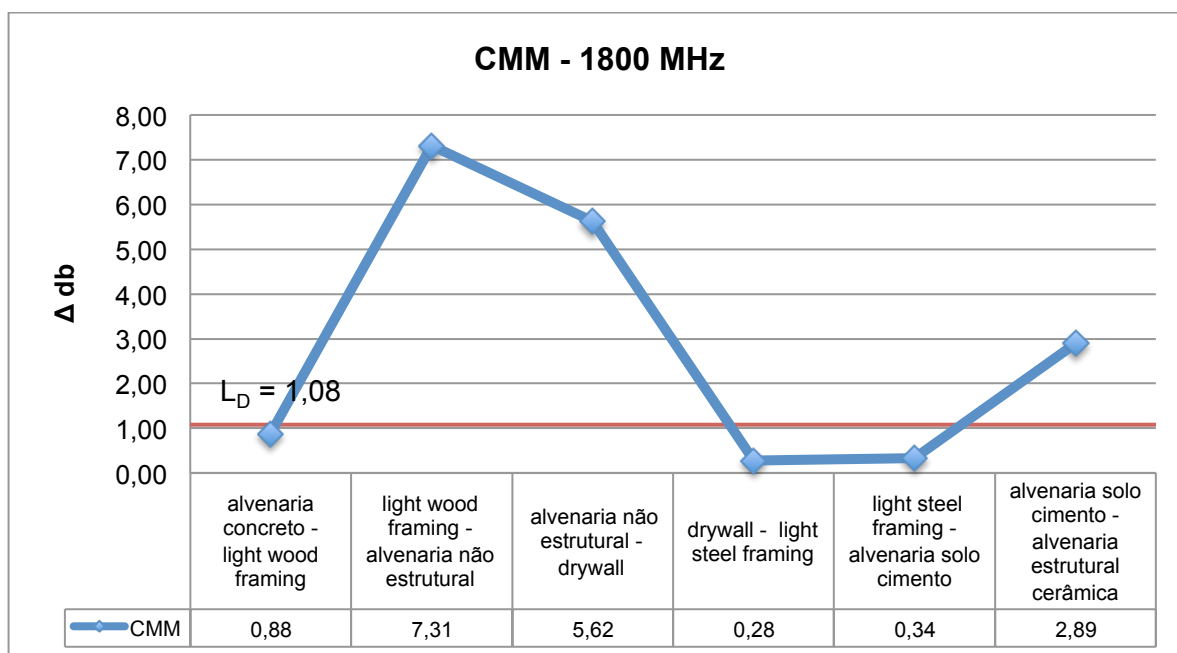
Tabela 52: CMM para frequência de 1800 MHz

Nível de Diferença	Sistema Construtivos
Diferença Significativa	<i>Light Wood Framing</i> e Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais e <i>Drywall</i> Alvenaria de blocos de solo-cimento e Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais
Diferença não Significativa	Alvenaria de blocos de concreto e <i>Light Wood Framing</i> <i>Drywall</i> e <i>Light Steel Framing</i> <i>Light Steel Framing</i> e Alvenaria de blocos de solo-cimento

Fonte: autor (2015)

O Gráfico 11 apresenta a Comparação Múltipla das Médias (CMM) para a frequência de 1800 MHz, com seus respectivos valores, analisando todos os sistemas construtivos de vedação utilizados neste estudo.

Gráfico 11: CMM 1800 MHz



Fonte: autor (2015)

## 5.2.1.4 Frequência de 1900 MHz

A Tabela 53 apresenta o nível de diferença entre os sistemas construtivos analisados para a frequência de 1900 MHz ( $L_D = 1,08$ ).

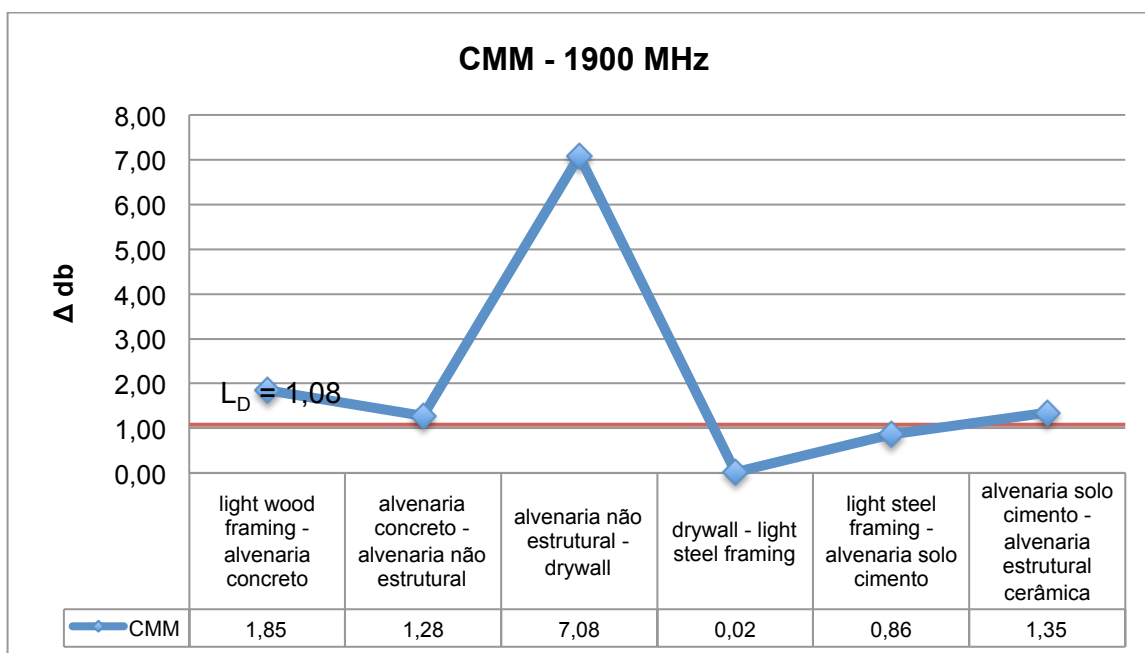
Tabela 53: CMM para frequência de 1900 MHz

Nível de Diferença	Sistema Construtivos
Diferença Significativa	<i>Light Wood Framing</i> e Alvenaria de blocos de concreto Alvenaria de blocos de concreto e Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais e <i>Drywall</i> Alvenaria de blocos de solo-cimento e Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais
Diferença não Significativa	<i>Drywall</i> e <i>Light Steel Framing</i> <i>Light Steel Framing</i> e Alvenaria de blocos de solo-cimento

Fonte: autor (2015)

O Gráfico 12 apresenta a Comparação Múltipla das Médias (CMM) para a frequência de 1900 MHz, contemplando todos os sistemas construtivos de vedação representados pelas amostras analisadas e os valores correspondentes.

Gráfico 12: CMM 1900 MHz



Fonte: autor (2015)

## 5.2.1.5 Frequência de 2400 MHz

Pode-se observar na Tabela 54, considerando o limite de decisão de 1,08, o nível de diferença entre os sistemas construtivos analisados para a frequência de 2400 MHz.

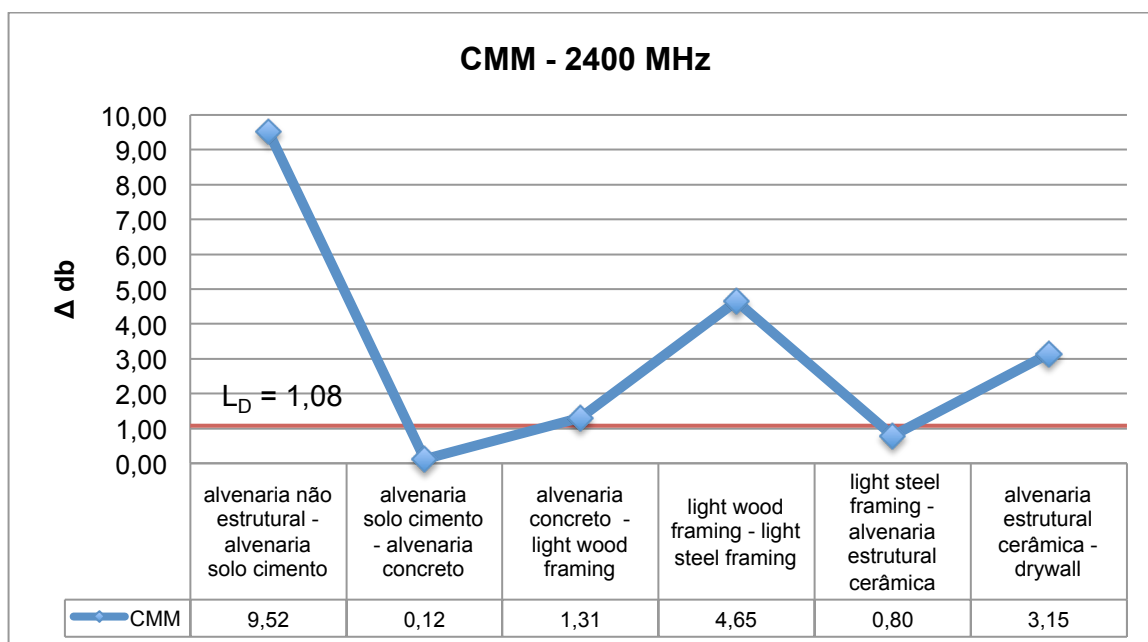
Tabela 54:CMM para frequência de 2400 MHz

Nível de Diferença	Sistemas Construtivos
Diferença Significativa	Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais e Alvenaria de blocos de solo-cimento Alvenaria de blocos de concreto e <i>Light Wood Framing</i> <i>Light Wood Framing</i> e <i>Light Steel Framing</i> Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais e <i>Drywall</i>
Diferença não Significativa	Alvenaria de blocos de solo-cimento e Alvenaria de blocos de concreto <i>Light Steel Framing</i> e Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais

Fonte: autor (2015)

O Gráfico 13 apresenta a Comparação Múltipla das Médias (CMM) para a frequência de 2400 MHz, contemplando todos os sistemas construtivos de vedação representados pelas amostras analisadas.

Gráfico 13: CMM 2400 MHz



Fonte: autor (2015)



## 5.2.1.6 Frequência de 2500 MHz

A Tabela 55 descreve o nível de diferença entre as amostras analisadas para a frequência de 2500 MHz, considerando o limite de decisão de 1,08.

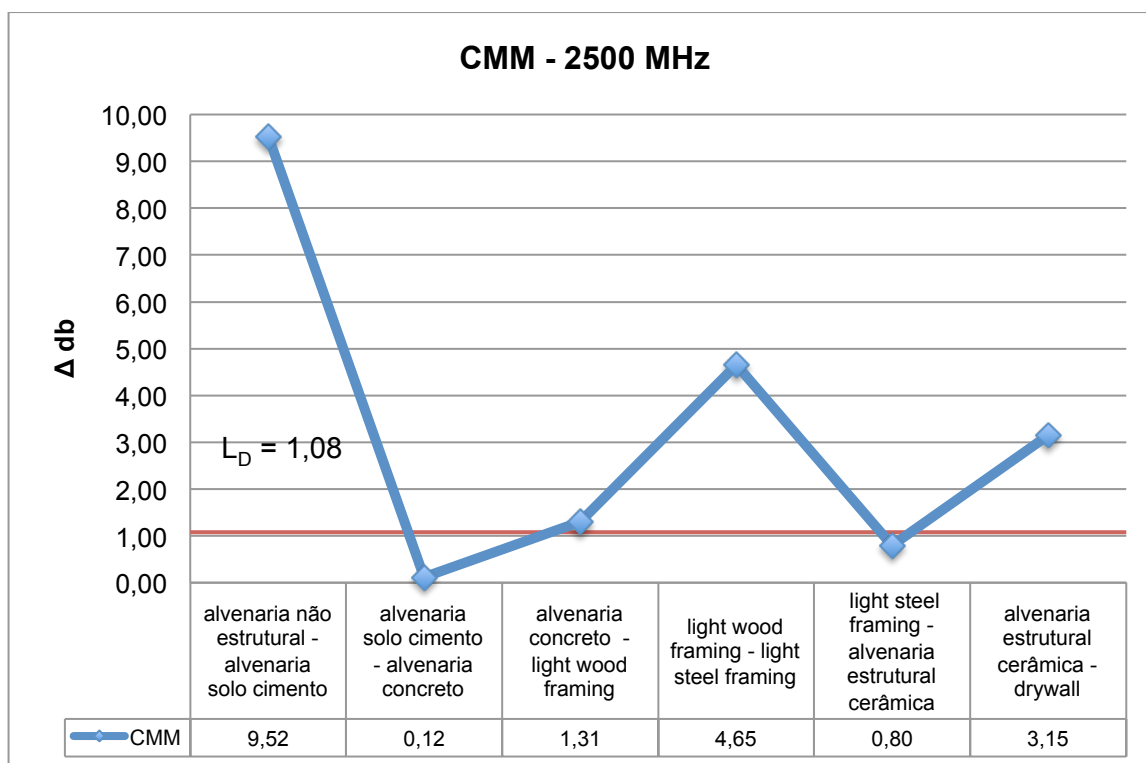
Tabela 55:CMM para frequência de 2500 MHz

Nível de Diferença	Sistema Construtivos
Diferença Significativa	Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais e Alvenaria de blocos de solo-cimento Alvenaria de blocos de solo-cimento e <i>Light Wood Framing</i> Alvenaria de blocos de concreto e <i>Light Steel Framing</i> Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais e <i>Drywall</i>
Diferença não Significativa	<i>Light Wood Framing</i> e Alvenaria de blocos de concreto <i>Light Steel Framing</i> e Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais

Fonte: autor (2015)

O Gráfico 14 apresenta a Comparação Múltipla das Médias (CMM) para a frequência de 2500 MHz, contemplando todas as amostras utilizadas neste experimento.

Gráfico 14: CMM 2500 MHz



Fonte: autor (2015)

### 5.2.2 Comparação Múltipla das Médias: sistemas construtivos de vedação

Nesta análise, são fixados os níveis do fator sistema construtivo de vedação e comparadas as médias de atenuação (dB) das amostras do fator frequência.

Os cálculos das médias foram realizados em ordem decrescente dos valores das médias obtidas.

Da mesma forma que o capítulo anterior, quando o nível de diferença entre a Comparação Múltipla das Médias (CMM) em um determinado sistema construtivo é significativo, pode-se afirmar que existe diferença entre desempenho dos dois sistemas construtivos considerando certas faixas de frequência. Já quando a diferença entre as médias não é significativa, diz-se que os sistemas construtivos apresentam o mesmo desempenho quando comparados entre si e em uma determinada frequência, conforme método estatístico.

A tabela completa com todos os valores pode ser vista no APÊNDICE H.

### 5.2.2.1 Sistema construtivo de vedação: *Drywall*

Conforme Tabela 56, considerando o limite de decisão de 1,08, pode-se observar o nível de diferença entre as frequências analisadas para amostra de *Drywall*.

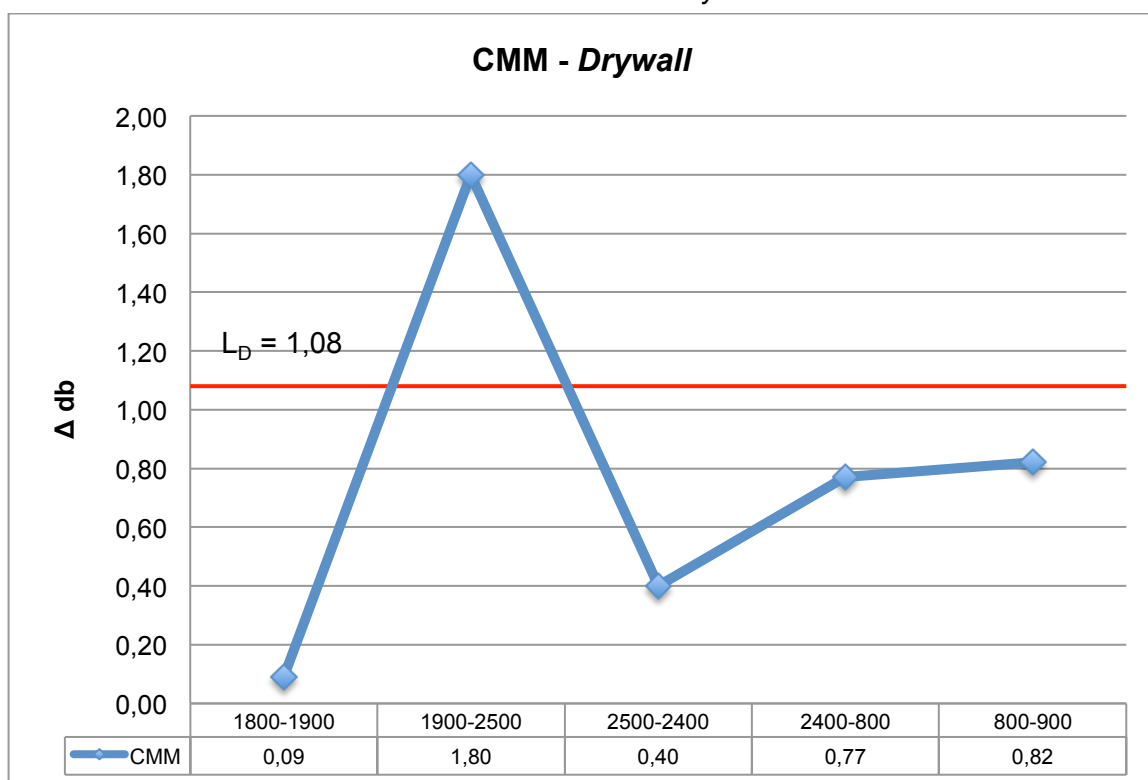
Tabela 56: CMM para *Drywall*

Nível de Diferença	Frequências
Diferença Significativa	1900 MHz e 2500 MHz
Diferença não Significativa	1800 MHz e 1900 MHz
	2400 MHz e 2500 MHz
	800 MHz e 2400 MHz
	800 MHz e 900 MHz

Fonte: autor (2015)

O Gráfico 15 apresenta a Comparação Múltipla das Médias (CMM) para a amostra de *Drywall*, contemplando todas as faixas de frequência analisadas.

Gráfico 15: CMM *Drywall*



Fonte: autor (2015)

### 5.2.2.2 Sistema construtivo de vedação: *Light Wood Framing*

Na Tabela 57 é possível analisar o nível de diferença entre as frequências analisadas para amostra de *Light Wood Framing*, considerando limite de decisão de 1,08.

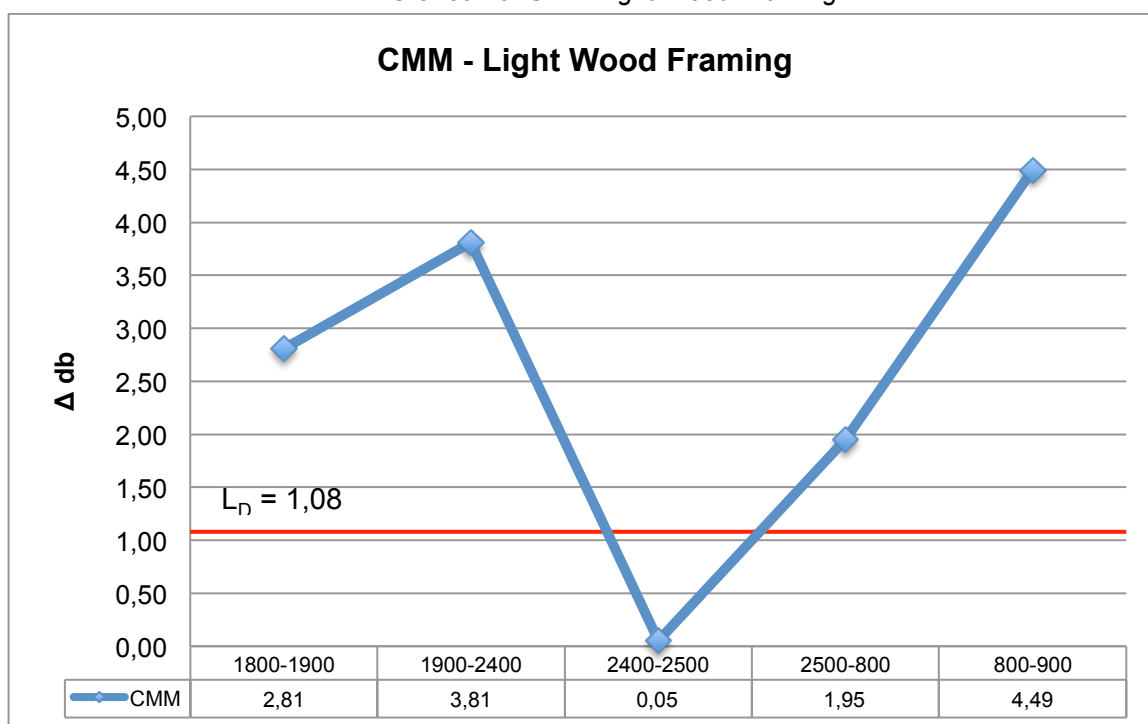
Tabela 57: CMM para *Light Wood Framing*

Nível de Diferença	Frequências
Diferença Significativa	1800 MHz e 1900 MHz
	1900 MHz e 2400 MHz
	800 MHz e 2500 MHz
	800 MHz e 900 MHz
Diferença não Significativa	2400 MHz e 2500 MHz

Fonte: autor (2015)

O Gráfico 16 demonstra a Comparação Múltipla das Médias (CMM) para a amostra de *Light Wood Framing*, considerando todas as faixas de frequência analisadas neste estudo.

Gráfico 16: CMM *Light Wood Framing*



Fonte: autor (2015)

### 5.2.2.3 Sistema construtivo de vedação: *Light Steel Framing*

O nível de diferença entre as frequências analisadas para amostra de *Light Steel Framing*, considerando limite de decisão de 1,08, é apresentado na Tabela 58.

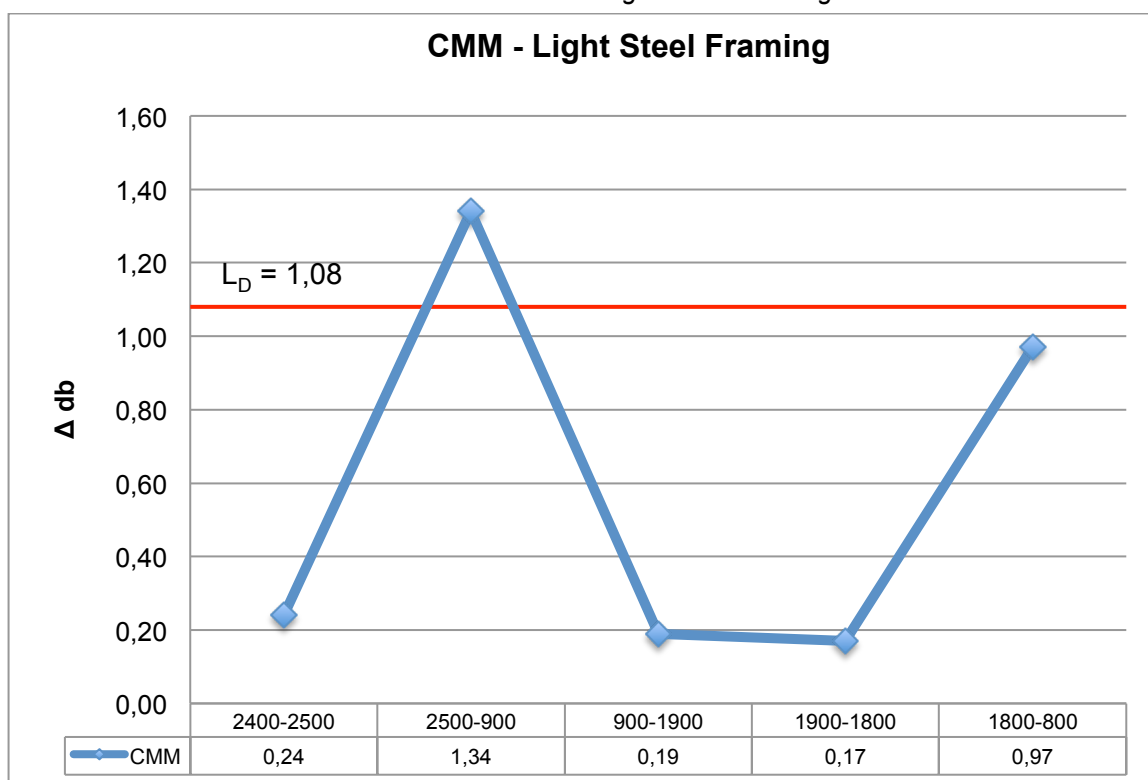
Tabela 58: CMM para *Light Steel Framing*

Nível de Diferença	Frequências
Diferença Significativa	900 MHz e 2500 MHz
Diferença não Significativa	2400 MHz e 2500 MHz
	900 MHz e 1900 MHz
	1800 MHz e 1900 MHz
	800 MHz e 1800 MHz

Fonte: autor (2015)

O Gráfico 17 apresenta a Comparação Múltipla das Médias (CMM) para a amostra de *Light Steel Framing*, contemplando todas as faixas de frequência analisadas.

Gráfico 17: CMM *Light Steel Framing*



Fonte: autor (2015)

#### 5.2.2.4 Sistema construtivo de vedação: alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais

Na Tabela 59 é possível analisar o nível de diferença entre as frequências analisadas para amostra de alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais, considerando  $L_D = 1,08$ .

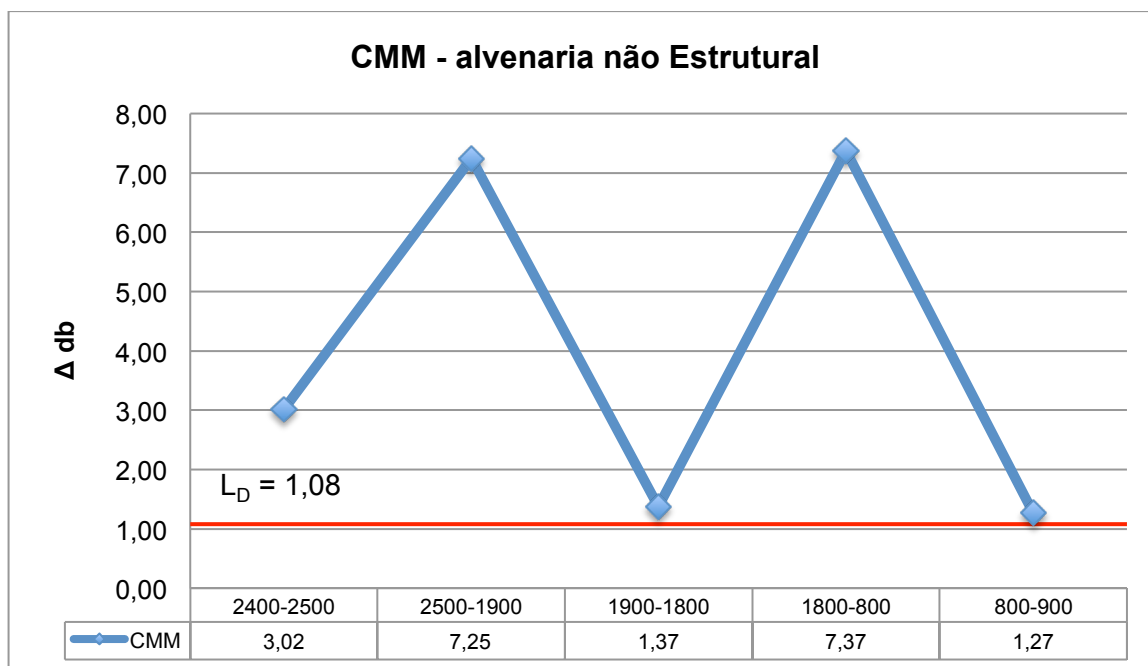
Tabela 59: CMM para alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais

Nível de Diferença	Frequências
Diferença Significativa	2400 MHz e 2500 MHz
	1900 MHz e 2500 MHz
	1800 MHz e 1900 MHz
	800 MHz e 1800 MHz
	800 MHz e 900 MHz

Fonte: autor (2015)

O Gráfico 18 apresenta a Comparação Múltipla das Médias (CMM) para a amostra de alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais, contemplando todas as faixas de frequência analisadas.

Gráfico 18: CMM alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais



Fonte: autor (2015)

### 5.2.2.5 Sistema construtivo de vedação: alvenaria de blocos cerâmicos estruturais

Conforme Tabela 60, considerando o limite de decisão de 1,08, pode-se observar o nível de diferença entre as frequências analisadas para amostra de alvenaria de blocos cerâmicos estruturais.

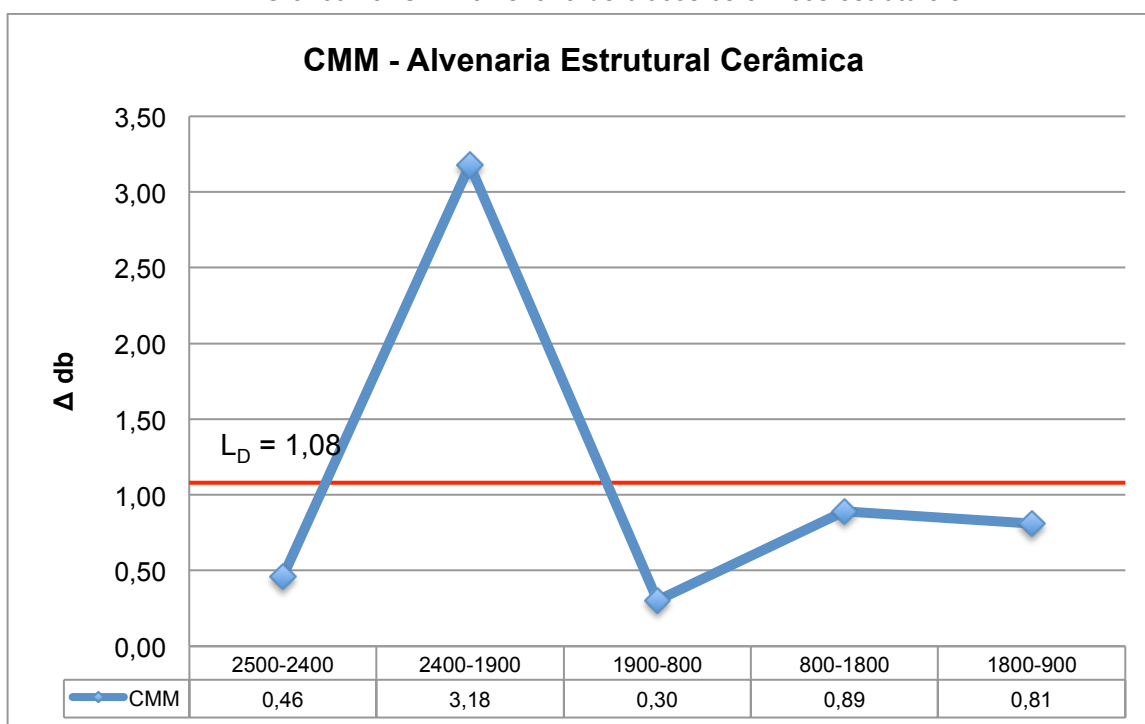
Tabela 60: CMM para alvenaria de blocos cerâmicos estruturais

Nível de Diferença	Frequências
Diferença Significativa	1900 MHz e 2400 MHz
	2400 MHz e 2500 MHz
Diferença não Significativa	800 MHz e 1900 MHz
	800 MHz e 1800 MHz
	900 MHz e 1800 MHz

Fonte: autor (2015)

No Gráfico 19 é possível verificar a Comparação Múltipla das Médias (CMM) para a amostra de alvenaria de blocos cerâmicos estruturais, contemplando todas as faixas de frequência utilizadas neste estudo.

Gráfico 19: CMM alvenaria de blocos cerâmicos estruturais



Fonte: autor (2015)

### 5.2.2.6 Sistema construtivo de vedação: alvenaria de blocos de concreto

Na Tabela 61 é possível analisar o nível de diferença entre as frequências analisadas para amostra de alvenaria de blocos de concreto, considerando limite de decisão de 1,08.

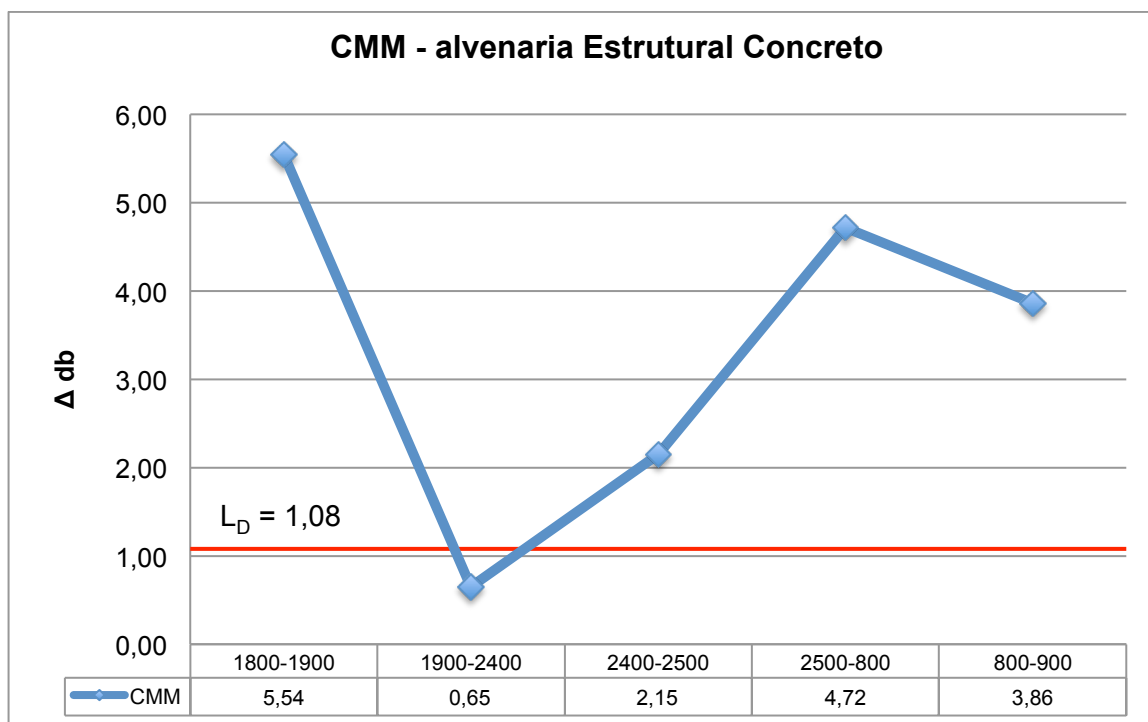
Tabela 61: CMM para alvenaria de blocos de concreto

Nível de Diferença	Frequências
Diferença Significativa	1800 MHz e 1900 MHz
	2400 MHz e 2500 MHz
	800 MHz e 2500 MHz
	800 MHz e 900 MHz
Diferença não Significativa	1900 MHz e 2400 MHz

Fonte: autor (2015)

O Gráfico 20 apresenta a Comparação Múltipla das Médias (CMM) para a amostra de alvenaria de blocos de concreto, contemplando todas as faixas de frequência analisadas.

Gráfico 20: CMM alvenaria de blocos de concreto



Fonte: autor (2015)



### 5.2.2.7 Sistema construtivo de vedação: alvenaria de blocos de solo-cimento

O nível de diferença entre as frequências analisadas para amostra de alvenaria de blocos de solo-cimento, considerando limite de decisão de 1,08, é apresentado na Tabela 62.

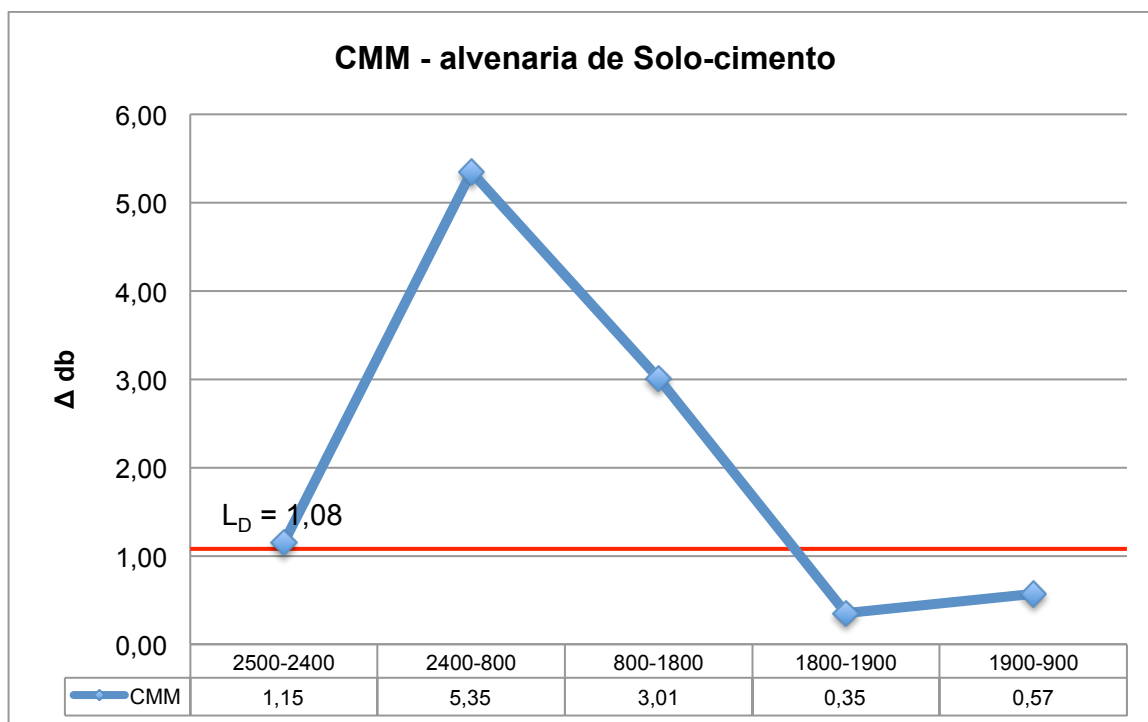
Tabela 62: CMM para : alvenaria de blocos de solo-cimento

Nível de Diferença	Frequências
Diferença Significativa	1800 MHz e 1900 MHz
	900 MHz e 1900 MHz
Diferença não Significativa	2400 MHz e 2500 MHz
	800 MHz e 2400 MHz
	800 MHz e 1800 MHz

Fonte: autor (2015)

O Gráfico 21 descreve a Comparação Múltipla das Médias (CMM) para a amostra de alvenaria de blocos de solo-cimento, contemplando as faixas de frequência analisadas nesta pesquisa.

Gráfico 21: CMM alvenaria de blocos de solo-cimento



Fonte: autor (2015)

### 5.2.3 Comparação múltipla das médias: classificação dos sistemas construtivos

Nesta análise, são consideradas as médias gerais de atenuação (dB) de todas as amostras analisadas com todas as frequências, a fim de classificar os sistemas construtivos quanto a sua capacidade de atenuar ondas eletromagnéticas na faixa de 800 e 2500 MHz, conforme Tabela 63. Cabe destacar que considera-se o sistema construtivo de vedação com maior coeficiente de atenuação, aquele que apresenta (em módulo, ou seja, sem o sinal algébrico) o maior valor da média geral.

Tabela 63: classificação dos sistemas construtivos de vedação

Posição	Sistema construtivo de vedação	Média geral (dB)
1	<i>Light Wood Framing</i>	-10,50
2	Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais	-10,43
3	Alvenaria de blocos de concreto	-9,34
4	Alvenaria de blocos de solo-cimento	-6,52
5	<i>Light Steel Framing</i>	-4,12
6	Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais	-2,11
7	<i>Drywall</i>	-2,00
	Média geral	-6,43

Fonte: autor (2015)

Além da classificação, é possível ainda realizar a comparação múltipla das médias e verificar se existe diferença significativa entre algumas das amostras analisadas. Os cálculos das médias foram realizados em ordem decrescente dos valores das médias obtidas. A tabela completa com todos os valores das médias gerais pode ser vista no APÊNDICE F.

Para determinar se há interação significativa entre os fatores, calculou-se novamente o limite de decisão com base no desvio padrão das médias, conforme equação, apresentada no capítulo 3.3.8 deste trabalho. Neste caso, o valor encontrado permanece  $L_D = 1,08$ .

De acordo com este modelo estatístico, tem-se o seguinte resultado, conforme Tabela 64. Os resultados DS e DNS representam o termo Diferença Significativa e

Diferença Não Significativa, respectivamente. Assim, resultados com valores acima de 1,08 representam DS, enquanto resultados abaixo de 1,08, representam DNS.

Tabela 64: CMM Médias gerais dos sistemas construtivos de vedação

Comparação entre os sistemas construtivos de Vedação		Resultados	
<i>Light Wood Framing</i>	Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais	0,07	DNS
Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais	Alvenaria de blocos de concreto	1,09	DS
Alvenaria de blocos de concreto	Alvenaria de blocos de solo-cimento	2,82	DS
Alvenaria de blocos de solo-cimento	<i>Light Steel Framing</i>	2,40	DS
<i>Light Steel Framing</i>	Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais	2,02	DS
Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais	<i>Drywall</i>	0,10	DNS

Fonte: autor (2015)

Com base nestes dados, tem-se que as amostras de *Light Wood Framing* e de Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais, estatisticamente, apresentam o mesmo desempenho na atenuação de ondas eletromagnéticas entre 800 MHz e 900 MHz. Embora matematicamente a amostra de alvenaria de blocos de concreto tenha apresentado uma diferença significativa na comparação entre as médias com a amostra de alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais, pode-se considerar que esta apresenta desempenho muito similar a esta, pois a diferença entre o resultado das médias e o do limite de decisão ficou em apenas 0,01 (um centésimo).

Com uma atenuação menor que os três primeiros, a amostra de alvenaria de blocos de solo-cimento apresenta uma diferença significativa em relação à amostra de alvenaria de blocos de concreto, com valor de 2,82. A amostra de alvenaria de blocos de solo-cimento apresenta, contudo, resultado acima da média geral considerando todas as amostras analisadas.

O último grupo de amostras apresentaram coeficientes de atenuação (dB) abaixo da média geral. Entre as seguintes amostras, pode-se concluir que existe uma diferença significativa entre o coeficiente de atenuação:

- Alvenaria de blocos de solo-cimento e *Light Steel Framing*;
- *Light Steel Framing* e alvenaria de blocos cerâmicos estruturais.

Ainda neste grupo, pode-se afirmar que as amostras entre alvenaria de blocos cerâmicos estruturais e *Drywall* não apresentam diferença significativa ao comparar as médias gerais de atenuação, de forma que, estatisticamente, possuem mesmo desempenho.

Uma informação que se destaca nesta análise do coeficiente de atenuação das amostras, é o baixo desempenho da amostra de Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais, quando comparada com a amostra de Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais. Ambas as amostras foram produzidas com blocos provenientes do mesmo produtor, e assentadas com a mesma argamassa cimentícia.

Pode-se afirmar ainda que ambos os sistemas pré-fabricados com perfil de aço apresentaram coeficientes de atenuação baixos em relação à média geral das amostras.

Em relação a outros estudos de outros pesquisadores citados na Revisão Bibliográfica neste trabalho, pode-se afirmar que os resultados estão próximos.

A Tabela 65 apresenta dados publicados por Reifnsneider (2003 *apud* Dobkin (2005)), comparando com os resultados alcançados nesta pesquisa. Contudo, deve-se considerar que estão sendo comparados materiais e sistemas construtivos diferentes, com métodos e equipamentos diferentes, de forma que a comparação tem o objetivo apenas de ilustrar os resultados alcançados.

Tabela 65: Comparação resultados Reifnsneider (2003, *apud* Dobkin 2005) com os atingidos nesta pesquisa

Sistema	Autor	900 MHz	1800 MHz	2400 MHz
Parede interna ( <i>Drywall</i> )	Reifnsneider (2003 <i>apud</i>			
	Dobkin (2005),	2,0	2,5	3,0
	Autor (2015)	0,0	3,87	1,58

Sistema	Autor	900 MHz	1800 MHz	2400 MHz
Alvenaria de blocos de concreto	Reinfsneider (2003 <i>apud</i> Dobkin (2005),	13,0	14,0	15,0
	Autor (2015)	0,76	17,68	11,50

Fonte: autor (2015)

Dobkin (2005), afirma ainda que sistemas construtivos como paredes simples de tijolos e alvenaria fina costumam ter uma perda modesta entre 5 e 10 dB, considerando frequências na faixa de micro-ondas. Com base nas medições analisadas, pode-se afirmar que os dados obtidos são consistentes com o citado por Dobkin (2005), conforme Tabela 66.

Tabela 66: Comparação Dobkin (2005) para alvenarias com os atingidos nesta pesquisa

Sistemas Construtivos	Autor (2015)	Perda sugerida por Dobkin (2005)
Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais	10,43 dB	5 – 10 dB
Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais	2,11 dB	5 – 10 dB
Alvenaria de blocos de concreto	9,34 dB	5 – 10 dB
Alvenaria de blocos de solo-cimento	6,52 dB	5 – 10 dB

Fonte: autor (2015)

#### 5.2.4 Relação entre o coeficiente de atenuação, o peso e espessura das amostras analisadas

Neste capítulo, são analisadas as relações envolvendo os fatores coeficiente de atenuação, peso e espessura, a fim de verificar se existe interação entre eles.

A Tabela 67 apresenta os dados entre os sistemas construtivos analisados nesta pesquisa.

Tabela 67: Relação entre coeficiente de atenuação, peso e espessura das amostras

Sistemas Construtivos	Coeficiente de Atenuação (dB)	Peso (kg)	Espessura (cm)
<i>Light Wood Framing</i>	-10,50	12,72	14
Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais	-10,43	24,40	11,5
Alvenaria de blocos de concreto	- 9,34	21,16	14
Alvenaria de blocos de solo-cimento	- 6,52	29,51	12,5
<i>Light Steel Framing</i>	-4,12	6,21	14
Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais	- 2,11	16,04	14
<i>Drywall</i>	-2,00	3,63	9

Fonte: autor (2015)

Em se tratando dos sistemas construtivos pré-fabricados, se pode observar que aumentando em duas vezes o peso da amostra, praticamente dobra o coeficiente de atenuação. Assim, em valores aproximados, o peso e o coeficiente de atenuação do *Light Wood Framing* é duas vezes maior que do *Light Steel Framing*, que por sua vez é duas vezes maior que o *Drywall*. Ressalta-se que os dois primeiros têm a mesma espessura.

Em relação às alvenarias, o sistema mais leve apresentou o menor coeficiente de atenuação: alvenaria de blocos cerâmicos estruturais, com 16,04 kg e coeficiente de -2,11 dB. A alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais apresentou o maior coeficiente de atenuação (-10,43 dB) entre as alvenarias mais difundidas no Brasil (alvenaria de blocos cerâmicos estruturais e alvenaria de blocos de concreto), embora tenha apresentado espessura menor que estas. Todavia, a alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais possui peso superior às duas (24,4 kg contra 16,04 kg e 21,16 kg respectivamente).

Analisando os dois sistemas construtivos com maiores coeficientes de atenuação (e DNS entre eles), verifica-se que, embora tenham o mesmo desempenho na média geral, o *Light Wood Framing* tem cerca de metade do peso da alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais e espessura em torno de 20% maior.

Já ao analisar os dois sistemas construtivos com menores coeficientes de atenuação (e DNS entre eles), a alvenaria de blocos cerâmicos estruturais tem peso cerca de 3,5 vezes a mais que o *Drywall*, além de espessura 35% maior.

Assim, constata-se que os pesos das amostras não estão diretamente relacionados com o desempenho de atenuação dos sistemas construtivos analisados. Pôde-se observar que nos casos de amostras com desempenho semelhante, os pesos variaram consideravelmente. Cabe destacar que as amostras das alvenarias analisadas nesta pesquisa não tinham qualquer revestimento, de forma que o coeficiente de atenuação tenderá a ser maior quando revestidas com argamassa cimentícia, por exemplo.

#### 5.2.5 Análises gerais

Em relação à natureza dos dados obtidos de todas as medições, cabe destacar ainda a amplitude dos resultados analisando as médias nas frequências de 800 MHz e 900 MHz, considerando que são frequências próximas. Em relação às faixas de 1800 MHz – 1900 MHz e 2400 MHz – 2500 MHz, as variações são bem menores.

Outro dado observado nas medições realizadas foi a amplificação do sinal apenas na frequência de 900 MHz, em apenas 03 amostras: *Drywall*, alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais e alvenaria de blocos cerâmicos estruturais. Nas demais amostras analisadas nesta frequência, assim como todas as demais medições, não foi observada qualquer amplificação do sinal emitido. Uma das hipóteses para este fenômeno, foi a ocorrência de múltiplas reflexões que ocorrem dentro do vazio das amostras, como ocorre na acústica.

Um ponto que também merece destaque, é o fato de algumas amostras não estarem completamente revestidas em suas superfícies vazadas. É o caso das alvenarias de blocos cerâmicos estruturais e blocos de concreto. Estas apresentaram a superfície superior com os vãos abertos, podendo ter ocasionado alguma perda de precisão nas medições.

A utilização de amostras maiores teria garantido a área iluminada pelo feixe da antena emissora sobre a amostra, assim como antenas diretivas com alto ganho para as frequências de 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz e 1900 MHz.

Depois de considerar os últimos pontos levantados, pode-se afirmar que as demais medições apresentaram resultados muito coerentes entre si, com baixa oscilação na leitura dos sinais recebidos, conforme pode-se observar nos valores mínimos e máximos obtidos de cada medição.



## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho procurou determinar de forma experimental o coeficiente de atenuação eletromagnética em sete amostras que representam sistemas construtivos de vedação utilizados no Brasil. Evidencia-se cada vez discussões científicas a respeito de eventuais impactos na saúde dos seres vivos oriundas das ERB (Estações Rádio Base), para fins de comunicação sem fio. Os seres humanos recebem diariamente doses constantes de radiação de alta frequência (micro-ondas), tanto no interior quanto no exterior das edificações na qual habita e trabalha. Com base nessa preocupação mundial sobre quais limites podem ser prejudiciais à saúde das pessoas, este trabalho procurou analisar os coeficientes de atenuação eletromagnética de alta frequência de sete amostras de sistemas construtivos de vedação, de forma a conhecer seu desempenho no ambiente construído.

Assim, foram analisadas as sete amostras, em seis diferentes frequências. Estas correspondem às frequências utilizadas pela telefonia celular no Brasil.

Com base nesta pesquisa exploratória, foi possível obter os coeficientes de atenuação das sete amostras, com base em cinco baterias de medições.

Primeiramente, foi possível constatar que os fatores frequência e sistemas construtivos de vedação possuem uma interação significativa, conforme dados apresentados. Dados estatísticos puderam mostrar que as frequências têm interação significativa com os sistemas construtivos, assim como o inverso: a interação significativa entre um sistema construtivo e as várias frequência que nele incide. A estatística ainda confirmou que existe ainda significativa interação entre os dois fatores analisados. Assim, verificou-se que certos sistemas construtivos tinham alto coeficiente de atenuação para determinadas frequências, enquanto que para outras não.

Em virtude desta interação, comparou-se as médias de cada uma das variações dos fatores, de forma a compreender qual o nível de interação de um sistema construtivo com cada frequência, e também, o grau de interação da frequência com cada sistema construtivo representado neste experimento pelas amostras utilizadas.

Estes dados tem a finalidade de caracterizar as amostras e fornecer dados a respeito desta relação com as várias frequências estudadas. Porém, na prática, as edificações estão sendo irradiadas, simultaneamente, com um espectro muito vasto

de ondas eletromagnéticas. Assim, com base nos dados coletados, esta pesquisa classificou as sete amostras quanto ao seu coeficiente de atenuação em todas as frequências analisadas, por meio das médias obtidas. Mais uma vez, foi realizada uma comparação das médias de cada amostra analisada e verificado se há diferença significativa entre os sistemas construtivos de vedação.

As amostras que obtiveram os melhores resultados foram o *Light Wood Framing* e a Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais. A amostra do sistema construtivo pré-fabricado obteve a melhor atenuação, com -10,50 dB. É a amostra que apresenta a maior quantidade de materiais compondo o sistema construtivo. Surpreende contudo o coeficiente de atenuação da amostra Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais, que corresponde ao sistema construtivo mais utilizado no Brasil, com -10,43 dB. Cabe destacar que tanto esta, quanto as demais amostras de alvenaria, não foram revestidas com qualquer tipo de argamassa, de forma que o coeficiente de atenuação destas tendem a ser maiores no uso cotidiano. Exceção à Alvenaria de blocos de solo-cimento, que pode ser utilizada com argamassa de revestimento ou aparente, desde que impermeabilizada.

Já os sistemas pré-fabricados utilizados estão prontos para receber apenas acabamento, como regularização da superfície e pintura.

Com desempenho muito próximo às duas primeiras, a Alvenaria de blocos de concreto apresenta coeficiente de atenuação de -9,34 dB. Este coeficiente é superior ao da Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais, que nesta pesquisa corresponde a -2,11 dB. Cabe ressaltar a amplitude dos coeficientes, visto que são blocos de dimensões semelhantes.

A Alvenaria de blocos de solo-cimento possui um coeficiente de atenuação abaixo da Alvenaria de blocos de concreto, porém ainda acima da média, com -6,52 dB, contra -6,43 dB da média geral.

Os próximos dois sistemas construtivos, juntamente com a Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais, obtiveram coeficientes baixo da média. O *Light Steel Framing*, apresentou coeficiente de atenuação de -4,12 dB, acima contudo da Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais, com -2,11 dB, conforme já apresentado.

Finalmente, o sistema construtivo com menor coeficiente de atenuação foi o *Drywall*, com -2,00 dB. Embora o valor esteja abaixo da média, assim como o sistema

construtivo *Light Steel Framing*, estes apresentam, estatisticamente, diferenças significativas quanto à atenuação de ondas eletromagnéticas. Já o *Drywall* e a Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais não apresentam diferenças significativas entre si, quanto a esta propriedade.

Assim, estes dados podem ser utilizados como base para especificação em projetos arquitetônicos em casos em que a atenuação de micro-ondas venha a ser uma demanda do usuário, selos de certificação e políticas públicas.

## 6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Seguem algumas sugestões para trabalhos futuros:

- a) Analisar o coeficiente de atenuação eletromagnética de alta frequência em outros sistemas construtivos;
- b) Analisar o coeficiente de atenuação eletromagnética de alta frequência considerando vários revestimentos nos sistemas construtivos analisados;
- c) Analisar o coeficiente de atenuação eletromagnética de alta frequência de materiais ou sistemas de esquadrias;
- d) Analisar o coeficiente de atenuação eletromagnética de alta frequência em sistemas construtivos não certificados e apelo mais sustentável e natural, como construções em terra, construções em bambu e construções em pedra;
- e) Analisar o coeficiente de atenuação eletromagnética de alta frequência incorporando sistemas construtivos com o uso de vegetação, como telhados verdes e paredes verdes.
- f) Estudar a atenuação no contexto das edificações inteiras, considerando efeitos de reflexão existentes externa, e internamente a elas, e considerando condições reais de uso, com janelas abertas e fechadas, e ainda com fontes emissoras mesmo internamente (caso de roteadores WiFi e equipamentos *bluetooth*).

## REFERÊNCIAS

ABDEL-RASSOUL, G. *et al.* **Neurobehavioral effects among inhabitants around mobile phone base stations.** *NeuroToxicology*, 28, pp. 434-440, 2007.

ABNT NBR 6.136. **Bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural.** Rio de Janeiro, 1994.

ABNT NBR 7.190, **Projeto de Estruturas de Madeira.** Rio de Janeiro, 1997.

ABNT NBR 8.491. **Tijolo macico de solo-cimento.** Rio de Janeiro, 1984.

ABNT NBR 10.834. **Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural.** Rio de Janeiro, 1994.

ABNT NBR 14.715. **Chapas de gesso acartonado - Requisitos.** Rio de Janeiro, 2001.

ABNT NBR 15.217. **Perfis de Aço para Sistemas Construtivos em Chapas de Gesso para Drywall – Requisitos e Métodos de Ensaio.** Rio de Janeiro, 2009.

ABNT NBR 15.270-1. **Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação - Terminologia e requisitos.** Rio de Janeiro, 2005.

ABNT NBR 15.270-2. **Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural - Terminologia e requisitos.** Rio de Janeiro, 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (ANATEL). 2015a. Disponível em:

<[http://www.anatel.gov.br/dados/index.php?option=com\\_content&view=article&id=270](http://www.anatel.gov.br/dados/index.php?option=com_content&view=article&id=270)>. Acesso em 28 de junho de 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (ANATEL). 2015b. Disponível em:

<<http://sistemas.anatel.gov.br/stel/Consultas/SMP/AreaPrestacaoFrequencia/tela.asp?SISQSmodulo=18839>>. Acesso em 28 de junho de 2015.

ALI-RANTALA, P. *et al.* **Different Kinds of Walls and Their Effect on the Attenuation of Radiowaves Indoors.** *IEEE*, pp. 1020-1023, 2003.

AQUINO, M. **Anatel já estuda vender faixa de 700 MHz no leilão de frequência de outubro**. Telesíntese, Portal de Telecomunicações, Internet e TICs. Disponível em: <<http://www.telesintese.com.br/anatel-ja-estuda-vender-faixa-de-700-mhz-leilao-de-frequencia-de-outubro/>>. Acesso em 28 de junho de 2015.

ANTONOPOULOU, L.; VAN MEURS, P. **The precautionary principle within European Union public health policy: The implementation of the principle under conditions of supranationality and citizenship**. *Health Policy*, 66, pp.179-197, 2003.

AUGNER, C. *et al.* **Effects of exposure to GSM mobile phone base station signals on salivary cortisol, alpha-amylase, and immunoglobulin A**. *Biomedical and Environmental Sciences*, 23, pp. 199-207, 2010.

BALMORI, A. **Electromagnetic pollution from phone masts**. Effects on wildlife. *Pathophysiology*, 16, pp. 191-199, 2009.

BECK, U. **La política de la sociedad de riesgo**. *Estudios Demográficos Y Urbanos*, vol. 13, 3 (39), pp. 501-515, 1998.

BLANK, M. (2013). **Audiência pública sobre campos eletromagnéticos**. 2013. disponível em Supremo Tribunal Federal: <<http://www.stf.jus.br/portal/cms/verNoticiaDetalhe.asp?idConteudo=232752>>. Acesso em 2013.

BOITEUX, E. A. **Poluição eletromagnética e meio ambiente: o Princípio da Precaução**. Porto Alegre, RS: Sergio Antonio Fabris, 2008.

BRASIL. **Lei nº 9.472, de 16 de julho de 1997**. Dispõe sobre a organização dos serviços de telecomunicações, a criação e funcionamento de um órgão regulador e outros aspectos institucionais, nos termos da Emenda Constitucional nº 8, de 1995. Brasília: DOU, 1997.

BUCKUS, R.; BALTRÈNAS, P. **Measurements and analysis of the electromagnetic fields of mobile communication antennas**. *Measurement*, 46, pp. 3942–3949, 2013.

CHERRY, N. **Criticism of the Health Assessment in the ICNIRP Guidelines for Radiofrequency and Microwave Radiation (100 kHz - 300 GHz)**. *Human Sciences Division*, Canterbury, Nova Zelândia: Lincoln University, 2002.

CLAYTON, S. **Models of Justice in the Environmental Debate**. *Journal of Social Issues*, 56 (3), pp. 459-474, 2000.

CUCURACHI, *et al.* **A review of the ecological effects of radiofrequency electromagnetic fields (RF-EMF).** *Environment International*, 51, pp. 116-140, 2012.

DOBKIN, D. M. **RF Engineering for Wireless Networks: Hardware, Antennas, and Propagation (Communications Engineering).** Newnes, 2005.

DODE, A. C. **Mortalidade por neoplasias e a Telefonia Celular no Município de Belo Horizonte Minas Gerais.** *Tese de Doutorado.* Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 2010.

FARAHANI, S. **Chapter 5 - RF Propagation, Antennas, and Regulatory Requirements.** In: *ZigBee Wireless Networks and Transceivers*, pp. 171-206, Newnes, 2008.

FEDERAL COMMUNICATIONS COMMISSION (FCC) OET-56, F. C. **Questions and Answers about Biological Effects and Potential Hazards of Radiofrequency Electromagnetic Fields.** *Boletim, Office of Engineering and Technology*, Washington, 1999.

FERREIRA, A. **Efeitos biológicos dos campos eletromagnéticos de ultra alta frequência.** *Tese de Doutorado*. Porto Alegre: UFRGS, 2006.

FREITAS, C.; GOMES, P. **Estudo do licenciamento ambiental (licenças prévias e de instalação) da estação radio base (ERB MGSA16) da telefonia claro no bairro Santo Agostinho, Belo Horizonte.** *Revista Sinapse Ambiental*, 2010.

FRENZEL JR., L. E. **Fundamentos de Comunicação Eletrônica: linhas, micro-ondas e antenas.** Porto Alegre: Bookman, 2008.

GIDDENS, A. **Modernidade e Identidade.** Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2002.

GOULART, M. **Monitoração de controle de Tilt e Azimute das antenas de estações radio base da telefonia celular.** *Dissertação de Mestrado Profissional*, Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, 2005.

HABERMANN, M. **Prevalência de exposição aos campos eletromagnéticos e justiça ambiental no município de São Paulo.** *Dissertação de Mestrado.* São Paulo: Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, 2008.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS (IEEE) **C95.1. IEEE Standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz. IEEE Standards Coordinating Committee 28**, New York, 1998.

INSTITUT FÜR BAUBIOLOGIE + NACHHALTIGKEIT (IBN). **Radiaciones**. Olba, Espanha: Publidisa, 2011.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (IARC). **IARC classifies radiofrequency electromagnetic fields as possibly carcinogenic to humans**. OMS, 2011.

INTERNATIONAL COMMISSION FOR ELECTROMAGNETIC SAFETY (ICEMS). **Resolução de Benevento**. Conferência internacional: Cidade de Benevento, Itália. *O Enfoque Precaucionário dos CEM: Base Lógica, Legislação e Implementação*. Benevento, 2006.

INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION (ICNIRP). **ICNIRP Guidelines: For Limiting Exposure To Time - Varying Electric, Magnetic And Electromagnetic Fields (Up To 300 GHz)**. (Vol. 74). Healthy Physics: 1998.

INTERNATIONAL TELECOMMUNICATIONS UNION (ITU) K.52. **Guidance on complying with limits for human exposure to electromagnetic fields**. 2004.

INTERNATIONAL TELECOMMUNICATIONS UNION (ITU) K.70. **Mitigation techniques to limit human exposure to EMFs in the vicinity of radiocommunication stations**. 2007.

JACOBS, J. **The precautionary principle as a provisional instrument in environmental policy: The Montreal Protocol case study**. *Environmental Science and Policy*, 37, pp. 161-171, 2014.

KRAWCZYK, A. L. **Estudo dos campos eletromagnéticos presentes em emissoras de radiofusão**. *Dissertação de Mestrado*. Curitiba: UFPR, 2006.

LORRAIN, F.; CORSON, D.; LORRAIN, P. **Campos e Ondas Electromagnéticas**. Lisboa, Portugal: Fundação Calouste Gulbenkian, 2000.

MACHADO, K. **Teoria do Eletromagnetismo**. Ed. UEPG, Ponta Grossa, 2005.

MARC-VERGNES, J. P. **Electromagnetic hypersensitivity: The opinion of an observer neurologist**. *Comptes Rendus Physique*, 11, pp. 564-575, 2010.

MARQUES, C. L. **Audiência pública sobre campos eletromagnéticos**. 2013. disponível em Supremo Tribunal Federal: <<http://www.stf.jus.br/portal/cms/verNoticiaDetalhe.asp?idConteudo=232605>>. Acesso em 2013.

MARTINS, V. G. **Medição de campos eletromagnéticos em alta frequência visando segurança pessoal**. Tese de Doutorado, UFMG, 2000.

MATTOS, I.; KOIFMAN, S. **Poluição Eletromagnética - Cap. 1: Campos Magnéticos e Câncer: contribuições da Epidemiologia**. Vol. 6., C. J. Público, São Paulo: Biblioteca da Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2003.

MORENO, R. **Audiência pública sobre campos eletromagnéticos**. 2013. Disponível em Supremo Tribunal Federal: <<http://www.stf.jus.br/portal/cms/verNoticiaDetalhe.asp?idConteudo=232916>>. Acesso em 2013

NAKAMURA, J. **Light wood frame**. *Revista Técnica*, 148, 2010.

NASCIMENTO, J. D. **Telecomunicações**. São Paulo: Makron Books, 1992.

NEGER. **NEGER TELECOM**. 2014. Disponível em: <<http://www.neger.net.br/>>. Acesso em 08 de Agosto de 2014.

OBERFELD, G. **Environmental Medicine Evaluation of Electromagnetic Fields**. ÖÄK (Austrian Medical Association) Environmental Medicine Diploma Course, Seminar 3 – Electromagnetic Fields, 21 and 22 April 2007.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Campos Eletromagnéticos e Saúde Pública: Exposição a Campos de Frequência Extremamente Baixa**. 2007.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Investigates health effects of electromagnetic fields advises national authorities on EMF radiation Protection**. *The International EMF Project*, 2006.

PAULINO, J. **Radiações eletromagnéticas não ionizantes emitidas pelas antenas fixas de telefonia celular**. Maio de 2001. Disponível em: <[http://www.higieneocupacional.com.br/download/antenas\\_celular\\_paulino.pdf](http://www.higieneocupacional.com.br/download/antenas_celular_paulino.pdf)>. Acesso em 15 de Agosto de 2014.



PEÑA, D.; FEICK, R; HRISTOV, H.; GROTE, W. **Measurement and Modeling of Propagation Losses in Brick and Concrete Walls for the 900 MHz band**. IEEE Trans Antennas and Propagation 51, p. 31, 2003.

PHILIPS, A. **Comparing Standards for general public RF exposure levels (900 and 1800 MHz are the two main existing UK mobile phone bands)**. Junho de 2000. Disponível em: <[http://www.emrpolicy.org/litigation/case\\_law/docs/exhibit\\_d.htm](http://www.emrpolicy.org/litigation/case_law/docs/exhibit_d.htm)>. Acesso em 04 de agosto de 2014.

QUEIROZ, C. S. **Gestão de riscos da exposição humana a campos eletromagnéticos oriundos de estações rádio base: Estudo de caso**. *Dissertação de Mestrado*. Ouro Preto/MG: Universidade Federal de Ouro Preto, 2011.

RIBEIRO, J. L. D.; CATEN, C. **Projeto de Experimentos**. Universidade do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção. Porto Alegre, 2003.

ROBSON, C. **Real World Research**. 3ª ed, ed. John Wiley & Sons, 2011.

SADIKU, M. N. **Elementos do Eletromagnetismo**. 3ª ed. Porto Alegre, RS, Brasil: Artmed Editora S/A, 2008.

SAGNARD, F.; EL ZEIN, G. **In Situ Characterization of Building Materials for Propagation Modeling: Frequency and Time Responses**. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* , 53 (10), pp. 3166-3173, 2005.

SALOMÃO, S. **Métodos de Geração de Colunas para Problemas de Atribuição**. Tese de Doutorado, INPE, São José dos Campos, 2005.

SEYBOLD, J. S. **Introduction to RF Propagation**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2005.

SEIDEL, S. Y.; RAPPAPORT, T. S. **914 MHz Path-Loss Prediction Models for Indoor Wireless Communications in Multifloored Buildings**. *IEEE Transactions on Antenna and Propagation* , 40 (2), pp. 207-217, 1992.

SILVA, B. A. **Superfícies em madeira e qualidade do ar: Um estudo sobre os produtos e tratamentos associados ao uso da madeira no ambiente construído e as práticas de especificação dos arquitetos paranaenses**. *Dissertação de Mestrado*. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2012.

SILVA, E. **Poluição Eletromagnética**. Vol. 6, C. J. Paulo, São Paulo: Biblioteca da Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2003.

SILVA, E.; SILVA, V. **Dimensionamento de perfis formados a frio conforme NBR 14762 e NBR 6355**. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2008.

SINAT nº 03 revisão 01. **Diretrizes para Avaliação Técnica de Produtos**. MINISTÉRIO DAS CIDADES - Secretaria Nacional da Habitação, Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), 2012.

SINAT nº 05. **Diretrizes para Avaliação Técnica de Produto**. MINISTÉRIO DAS CIDADES - Secretaria Nacional da Habitação, Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), 2011.

SHINODA, A. A. **Simulador de uma rede de celular baseada no sistema FDMA (AMPS/TDMA)**. UEL, Ed. *Semina: Ci. Exatas/Tecnol*, 2000.

STONE, W. C. **Electromagnetic Signal Attenuation in Construction Materials**. NISTIR 6055, NIST Construction Automation Program Report No. 3, United States Department of Commerce Technology Administration, 1997.

TAVARES, W. **Radiação das antenas do serviço móvel e seu tratamento na legislação brasileira e de outros países**. Câmara dos Deputados, Consultoria Legislativa, Brasília, 2001.

TEODORO, V. **Audiência pública sobre campos eletromagnéticos**. 2013. Disponível em Supremo Tribunal Federal: <<http://www.stf.jus.br/portal/cms/verNoticiaDetalhe.asp?idConteudo=232635>>. Acesso em 2013

TER MEULEN, R. H. **The ethical basis of the precautionary principle in health care decision making**. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 207, pp. S663-S667, 2005.

TYPAR. **TYPAR® Weather Protection System**. 2013. Disponível em: <[http://www.typar.com/assets/downloads/pdf/TYPAR\\_Full\\_Line\\_Brochure\\_print\\_verseion\\_1.pdf](http://www.typar.com/assets/downloads/pdf/TYPAR_Full_Line_Brochure_print_verseion_1.pdf)>. Acesso em 17 de agosto de 2014.

UNIÃO EUROPEIA (UE). **Risk Evaluation of Potential Environmental Hazards From Low Frequency Electromagnetic Field Exposure Using Sensitive in vitro Methods**. *Programme: Quality of Life and Management of Living Resources*. 2004.

VECCHIA, P. **Audiência pública sobre campos eletromagnéticos**. 2013. Disponível em Supremo Tribunal Federal: <<http://www.stf.jus.br/portal/cms/verNoticiaDetalhe.asp?idConteudo=232764>>. Acesso em 2013.

VINEIS, P. *Scientific basis for the Precautionary Principle*. *Toxicology and Applied Pharmacology*, pp. S658-S662, 2005.

WENTWORTH, S. M. **Eletromagnetismo Aplicado - Abordagem Antecipada das Linhas de Transmissão**. ARTMED, 2009.

WILSON, R. *Reflection and Transmission Losses Through Common Building Materials*. Fonte: Magis Networks, Inc.: [www.magisnetworks.com](http://www.magisnetworks.com). Acesso em 15 de agosto de 2014.

ZENID, G. J. **Madeira: uso sustentável na construção civil**. São Paulo: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1998.





## APÊNDICE C: planilha para coleta de dados

ENSAIOS DE MEDIÇÃO nº																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>data</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>período</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>temperatura (°C)</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>umidade relativa (%)</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>pressão atmosférica (hPa abs)</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>antena utilizada</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>local</td><td></td><td></td></tr> </table>							data			período			temperatura (°C)			umidade relativa (%)			pressão atmosférica (hPa abs)			antena utilizada			local		
data																											
período																											
temperatura (°C)																											
umidade relativa (%)																											
pressão atmosférica (hPa abs)																											
antena utilizada																											
local																											
<b>1</b>	<b>LIVRE</b>	antena	dbm min	dbm max	dbm média																						
	800 mHz	CF-4000																									
	900 mHz	CF-4000																									
	1800 mHz	CF-4000																									
	1900 mHz	CF-4000																									
	2400 mHz	MM-2420																									
2500 mHz	MM-2420																										
<b>2</b>	<b>FECHADO</b>	antena	dbm min	dbm max	dbm média																						
	800 mHz	CF-4000																									
	900 mHz	CF-4000																									
	1800 mHz	CF-4000																									
	1900 mHz	CF-4000																									
	2400 mHz	MM-2420																									
2500 mHz	MM-2420																										
<b>3</b>	<b>drywall</b>	antena	dbm min	dbm max	dbm média	Δ dbm																					
	800 mHz	CF-4000																									
	900 mHz	CF-4000																									
	1800 mHz	CF-4000																									
	1900 mHz	CF-4000																									
	2400 mHz	MM-2420																									
2500 mHz	MM-2420																										
<b>4</b>	<b>light wood framing</b>	antena	dbm min	dbm max	dbm média	Δ dbm																					
	800 mHz	CF-4000																									
	900 mHz	CF-4000																									
	1800 mHz	CF-4000																									
	1900 mHz	CF-4000																									
	2400 mHz	MM-2420																									
2500 mHz	MM-2420																										
<b>5</b>	<b>light steel framing</b>	antena	dbm min	dbm max	dbm média	Δ dbm																					
	800 mHz	CF-4000																									
	900 mHz	CF-4000																									
	1800 mHz	CF-4000																									
	1900 mHz	CF-4000																									
	2400 mHz	MM-2420																									
2500 mHz	MM-2420																										
<b>6</b>	<b>alvenaria tradicional</b>	antena	dbm min	dbm max	dbm média	Δ dbm																					
	800 mHz	CF-4000																									
	900 mHz	CF-4000																									
	1800 mHz	CF-4000																									
	1900 mHz	CF-4000																									
	2400 mHz	MM-2420																									
2500 mHz	MM-2420																										
<b>7</b>	<b>alvenaria estrutural cerâmica</b>	antena	dbm min	dbm max	dbm média	Δ dbm																					
	800 mHz	CF-4000																									
	900 mHz	CF-4000																									
	1800 mHz	CF-4000																									
	1900 mHz	CF-4000																									
	2400 mHz	MM-2420																									
2500 mHz	MM-2420																										
<b>8</b>	<b>alvenaria estrutural concreto</b>	antena	dbm min	dbm max	dbm média	Δ dbm																					
	800 mHz	CF-4000																									
	900 mHz	CF-4000																									
	1800 mHz	CF-4000																									
	1900 mHz	CF-4000																									
	2400 mHz	MM-2420																									
2500 mHz	MM-2420																										
<b>9</b>	<b>alvenaria solo cimento</b>	antena	dbm min	dbm max	dbm média	Δ dbm																					
	800 mHz	CF-4000																									
	900 mHz	CF-4000																									
	1800 mHz	CF-4000																									
	1900 mHz	CF-4000																									
	2400 mHz	MM-2420																									
2500 mHz	MM-2420																										

**APÊNDICE D: distâncias das antenas às amostras**

<b>Antena</b>	<b>Sistema construtivo</b>	<b>Distância (cm)</b>
antena emissora CF-4000		78,9 cm
	<i>Drywall</i>	79,7 cm
	<i>light wood framing</i>	70,7 cm
antena emissora CF-4000	<i>light steel framing</i>	77,8 cm
	alvenaria tradicional	75,9 cm
	alvenaria cerâmica estrutural	75,4 cm
	alvenaria concreto	75,4 cm
	alvenaria solo-cimento	77,2 cm

<b>Antena</b>	<b>Sistema construtivo</b>	<b>Distância (cm)</b>
antena emissora MM-2420		82 cm
	<i>Drywall</i>	77,8 cm
	<i>light wood framing</i>	68,5 cm
antena emissora MM-2420	<i>light steel framing</i>	75,6 cm
	alvenaria tradicional	73,6 cm
	alvenaria cerâmica estrutural	73,4 cm
	alvenaria concreto	73,4 cm
	alvenaria solo-cimento	74,9 cm

## APÊNDICE E: planilhas com os valores das medições

ENSAIOS DE MEDIÇÃO nº 01						
		data	10/04/15	10/04/15		
		período	manhã	tarde		
		temperatura (°C)	20	22,8		
		umidade relativa (%)	85,0	89,3		
		pressão atmosférica (hPa abs)	919,4	917,3		
		antena utilizada	CF-4000	MM-2420		
		local	terreno junto ao SIMEPAR			

<b>1</b>	<b>LIVRE</b>	<b>antena</b>	<b>dbm min</b>	<b>dbm max</b>	<b>dbm média</b>	
	800 mHz	CF-4000	-22,7	-22,8	-22,75	
	900 mHz	CF-4000	-22	-23,1	-22,55	
	1800 mHz	CF-4000	-25,6	-25,7	-25,65	
	1900 mHz	CF-4000	-27,2	-27,3	-27,25	
	2400 mHz	MM-2420	-19,7	-19,7	-19,7	
	2500 mHz	MM-2420	-20,2	-20,3	-20,25	
<b>2</b>	<b>FECHADO</b>	<b>antena</b>	<b>dbm min</b>	<b>dbm max</b>	<b>dbm média</b>	
	800 mHz	CF-4000	-33,5	-33,7	-33,6	
	900 mHz	CF-4000	-34,3	-34,4	-34,35	
	1800 mHz	CF-4000	-50	-51	-50,5	
	1900 mHz	CF-4000	-52	-53	-52,5	
	2400 mHz	MM-2420	-55,9	-56	-55,95	
	2500 mHz	MM-2420	-59,1	-59,2	-59,15	
<b>3</b>	<b>drywall</b>	<b>antena</b>	<b>dbm min</b>	<b>dbm max</b>	<b>dbm média</b>	<b>Δ dbm</b>
	800 mHz	CF-4000	-23,6	-23,7	-23,65	-0,90
	900 mHz	CF-4000	-23,1	-23,2	-23,15	-0,60
	1800 mHz	CF-4000	-30,1	-30,2	-30,15	-4,50
	1900 mHz	CF-4000	-31,5	-31,6	-31,55	-4,30
	2400 mHz	MM-2420	-20,7	-20,7	-20,7	-1,00
	2500 mHz	MM-2420	-22,3	-22,4	-22,35	-2,10
<b>4</b>	<b>light wood framing</b>	<b>antena</b>	<b>dbm min</b>	<b>dbm max</b>	<b>dbm média</b>	<b>Δ dbm</b>
	800 mHz	CF-4000	-30,8	-30,9	-30,85	-8,10
	900 mHz	CF-4000	-27	-27,3	-27,15	-4,60
	1800 mHz	CF-4000	-45	-46	-45,5	-19,85
	1900 mHz	CF-4000	-42,1	-42,3	-42,2	-14,95
	2400 mHz	MM-2420	-29,4	-29,5	-29,45	-9,75
	2500 mHz	MM-2420	-30,4	-30,5	-30,45	-10,20
<b>5</b>	<b>light steel framing</b>	<b>antena</b>	<b>dbm min</b>	<b>dbm max</b>	<b>dbm média</b>	<b>Δ dbm</b>
	800 mHz	CF-4000	-25,5	-25,6	-25,55	-2,80
	900 mHz	CF-4000	-26,1	-26,2	-26,15	-3,60
	1800 mHz	CF-4000	-29,8	-29,9	-29,85	-4,20
	1900 mHz	CF-4000	-32,2	-32,3	-32,25	-5,00
	2400 mHz	MM-2420	-24,8	-24,8	-24,8	-5,10
	2500 mHz	MM-2420	-25,7	-25,6	-25,65	-5,40
<b>6</b>	<b>alvenaria tradicional</b>	<b>antena</b>	<b>dbm min</b>	<b>dbm max</b>	<b>dbm média</b>	<b>Δ dbm</b>
	800 mHz	CF-4000	-24,9	-25	-24,95	-2,20
	900 mHz	CF-4000	-27,9	-28	-27,95	-5,40
	1800 mHz	CF-4000	-38,5	-38,6	-38,55	-12,90
	1900 mHz	CF-4000	-38,6	-38,7	-38,65	-11,40
	2400 mHz	MM-2420	-38,9	-39	-38,95	-19,25
	2500 mHz	MM-2420	-37,6	-37,7	-37,65	-17,40
<b>7</b>	<b>alvenaria estrutural cerâmica</b>	<b>antena</b>	<b>dbm min</b>	<b>dbm max</b>	<b>dbm média</b>	<b>Δ dbm</b>
	800 mHz	CF-4000	-23,9	-24	-23,95	-1,20
	900 mHz	CF-4000	-22	-22,1	-22,05	0,50
	1800 mHz	CF-4000	-26,4	-26,5	-26,45	-0,80
	1900 mHz	CF-4000	-29	-29,1	-29,05	-1,80
	2400 mHz	MM-2420	-23,7	-23,8	-23,75	-4,05
	2500 mHz	MM-2420	-25,4	-25,5	-25,45	-5,20
<b>8</b>	<b>alvenaria estrutural concreto</b>	<b>antena</b>	<b>dbm min</b>	<b>dbm max</b>	<b>dbm média</b>	<b>Δ dbm</b>
	800 mHz	CF-4000	-27,5	-27,6	-27,55	-4,80
	900 mHz	CF-4000	-23,1	-23,2	-23,15	-0,60
	1800 mHz	CF-4000	-43,3	-43,5	-43,4	-17,75
	1900 mHz	CF-4000	-39	-39,1	-39,05	-11,80
	2400 mHz	MM-2420	-30,4	-30,5	-30,45	-10,75
	2500 mHz	MM-2420	-29,6	-29,6	-29,6	-9,35
<b>9</b>	<b>alvenaria solo cimento</b>	<b>antena</b>	<b>dbm min</b>	<b>dbm max</b>	<b>dbm média</b>	<b>Δ dbm</b>
	800 mHz	CF-4000	-28,8	-28,9	-28,85	-6,10
	900 mHz	CF-4000	-24,3	-24,4	-24,35	-1,80
	1800 mHz	CF-4000	-29,4	-29,5	-29,45	-3,80
	1900 mHz	CF-4000	-30,3	-30,4	-30,35	-3,10
	2400 mHz	MM-2420	-32,5	-32,6	-32,55	-12,85
	2500 mHz	MM-2420	-33,9	-34	-33,95	-13,70



**ENSAIOS DE MEDIÇÃO nº 02**

data	10/04/15	10/04/15
período	manhã	tarde
temperatura (°C)	20,5	20,5
umidade relativa (%)	89,3	89,5
pressão atmosférica (hPa abs)	915,9	917,1
antena utilizada	CF-4000	MM-2420
local	terreno junto ao SIMEPAR	

1	LIVRE	antena	dbm min	dbm max	dbm média	
		800 mHz	CF-4000	-22,8	-22,9	-22,85
	900 mHz	CF-4000	-22,6	-22,7	-22,65	
	1800 mHz	CF-4000	-26	-26,1	-26,05	
	1900 mHz	CF-4001	-27,4	-27,5	-27,45	
	2400 mHz	MM-2420	-19	-19,1	-19,05	
	2500 mHz	MM-2420	-20,2	-20,3	-20,25	
2	FECHADO	antena	dbm min	dbm max	dbm média	
		800 mHz	CF-4000	-33,1	-33,2	-33,15
	900 mHz	CF-4000	-33,9	-34	-33,95	
	1800 mHz	CF-4000	-50,9	-51	-50,95	
	1900 mHz	CF-4001	-53	-54	-53,5	
	2400 mHz	MM-2420	-57,9	-58	-57,95	
	2500 mHz	MM-2420	-61,9	-62	-61,95	
3	drywall	antena	dbm min	dbm max	dbm média	Δ dbm
		800 mHz	CF-4000	-23,5	-23,7	-23,6
	900 mHz	CF-4000	-22,3	-22,4	-22,35	0,30
	1800 mHz	CF-4000	-30,2	-30,3	-30,25	-4,20
	1900 mHz	CF-4000	-31,4	-31,5	-31,45	-4,00
	2400 mHz	MM-2420	-20,7	-20,8	-20,75	-1,70
	2500 mHz	MM-2420	-22,2	-22,2	-22,2	-1,95
4	light wood framing	antena	dbm min	dbm max	dbm média	Δ dbm
		800 mHz	CF-4000	-31,8	-31,7	-31,75
	900 mHz	CF-4000	-25,8	-25,9	-25,85	-3,20
	1800 mHz	CF-4000	-42,9	-43	-42,95	-16,90
	1900 mHz	CF-4000	-41,5	-41,6	-41,55	-14,10
	2400 mHz	MM-2420	-29,2	-29,3	-29,25	-10,20
	2500 mHz	MM-2420	-30,3	-30,4	-30,35	-10,10
5	light steel framing	antena	dbm min	dbm max	dbm média	Δ dbm
		800 mHz	CF-4000	-25,3	-25,4	-25,35
	900 mHz	CF-4000	-26,6	-26,7	-26,65	-4,00
	1800 mHz	CF-4000	-29,6	-29,7	-29,65	-3,60
	1900 mHz	CF-4000	-30,7	-30,8	-30,75	-3,30
	2400 mHz	MM-2420	-24,6	-24,7	-24,65	-5,60
	2500 mHz	MM-2420	-25,5	-25,6	-25,55	-5,30
6	alvenaria tradicional	antena	dbm min	dbm max	dbm média	Δ dbm
		800 mHz	CF-4000	-24,9	-24,8	-24,85
	900 mHz	CF-4000	-22,1	-22,2	-22,15	0,50
	1800 mHz	CF-4000	-35	-35,1	-35,05	-9,00
	1900 mHz	CF-4000	-37,7	-37,8	-37,75	-10,30
	2400 mHz	MM-2420	-40,3	-40,4	-40,35	-21,30
	2500 mHz	MM-2420	-38,9	-39	-38,95	-18,70
7	alvenaria estrutural cerâmica	antena	dbm min	dbm max	dbm média	Δ dbm
		800 mHz	CF-4000	-24	-24	-24
	900 mHz	CF-4000	-22,4	-22,5	-22,45	0,20
	1800 mHz	CF-4000	-26	-26,1	-26,05	0,00
	1900 mHz	CF-4000	-28,05	-28,06	-28,055	-0,61
	2400 mHz	MM-2420	-23,8	-23,9	-23,85	-4,80
	2500 mHz	MM-2420	-25,3	-25,4	-25,35	-5,10
8	alvenaria estrutural concreto	antena	dbm min	dbm max	dbm média	Δ dbm
		800 mHz	CF-4000	-27	-27,1	-27,05
	900 mHz	CF-4000	-23,7	-23,8	-23,75	-1,10
	1800 mHz	CF-4000	-43,9	-44	-43,95	-17,90
	1900 mHz	CF-4000	-38,5	-38,6	-38,55	-11,10
	2400 mHz	MM-2420	-30,8	-30,9	-30,85	-11,80
	2500 mHz	MM-2420	-29,6	-29,7	-29,65	-9,40
9	alvenaria solo cimento	antena	dbm min	dbm max	dbm média	Δ dbm
		800 mHz	CF-4000	-28,9	-29	-28,95
	900 mHz	CF-4000	-25	-25,1	-25,05	-2,40
	1800 mHz	CF-4000	-29,1	-29,2	-29,15	-3,10
	1900 mHz	CF-4000	-29,4	-29,5	-29,45	-2,00
	2400 mHz	MM-2420	-32,5	-32,6	-32,55	-13,50
	2500 mHz	MM-2420	-34,1	-34,1	-34,1	-13,85

**ENSAIOS DE MEDIÇÃO nº 03**

<b>data</b>	10/04/15	10/04/15
<b>período</b>	manhã	tarde
<b>temperatura (°C)</b>	21,8	23,8
<b>umidade relativa (%)</b>	90,7	89,4
<b>pressão atmosférica (hPa abs)</b>	919,0	917,0
<b>antena utilizada</b>	CF-4000	MM-2420
<b>local</b>	terreno junto ao SIMEPAR	

		antena	dbm min	dbm max	dbm média	Δ dbm
<b>1</b>	<b>LIVRE</b>					
	800 mHz	CF-4000	-22,3	-22,4	-22,35	
	900 mHz	CF-4000	-22,7	-22,8	-22,75	
	1800 mHz	CF-4000	-26,0	-26,0	-26	
	1900 mHz	CF-4000	-26,4	-26,5	-26,45	
	2400 mHz	MM-2420	-19,1	-19,1	-19,1	
	2500 mHz	MM-2420	-20,3	-20,3	-20,3	
<b>2</b>	<b>FECHADO</b>					
	800 mHz	CF-4000	-32,2	-32,3	-32,25	
	900 mHz	CF-4000	-34,6	-34,7	-34,65	
	1800 mHz	CF-4000	-50,9	-51,0	-50,95	
	1900 mHz	CF-4000	-52,5	-52,6	-52,55	
	2400 mHz	MM-2420	-60,1	-60,2	-60,15	
	2500 mHz	MM-2420	-57,0	-58,0	-57,5	
<b>3</b>	<b>drywall</b>					
	800 mHz	CF-4000	-23,3	-23,4	-23,35	-1,00
	900 mHz	CF-4000	-22,7	-22,8	-22,75	0,00
	1800 mHz	CF-4000	-29,5	-29,6	-29,55	-3,55
	1900 mHz	CF-4000	-30,0	-30,1	-30,05	-3,60
	2400 mHz	MM-2420	-20,7	-20,8	-20,75	-1,65
	2500 mHz	MM-2420	-22,3	-22,4	-22,35	-2,05
<b>4</b>	<b>light wood framing</b>					
	800 mHz	CF-4000	-30,9	-31,0	-30,95	-8,60
	900 mHz	CF-4000	-26,2	-26,3	-26,25	-3,50
	1800 mHz	CF-4000	-42,6	-42,7	-42,65	-16,65
	1900 mHz	CF-4000	-40,5	-40,6	-40,55	-14,10
	2400 mHz	MM-2420	-29,4	-29,5	-29,45	-10,35
	2500 mHz	MM-2420	-30,5	-30,6	-30,55	-10,25
<b>5</b>	<b>light steel framing</b>					
	800 mHz	CF-4000	-24,9	-25,0	-24,95	-2,60
	900 mHz	CF-4000	-27,1	-27,2	-27,15	-4,40
	1800 mHz	CF-4000	-29,4	-29,5	-29,45	-3,45
	1900 mHz	CF-4000	-29,7	-29,8	-29,75	-3,30
	2400 mHz	MM-2420	-24,7	-24,8	-24,75	-5,65
	2500 mHz	MM-2420	-25,6	-25,7	-25,65	-5,35
<b>6</b>	<b>alvenaria tradicional</b>					
	800 mHz	CF-4000	-24,4	-24,5	-24,45	-2,10
	900 mHz	CF-4000	-22,5	-22,6	-22,55	0,20
	1800 mHz	CF-4000	-34,6	-34,7	-34,65	-8,65
	1900 mHz	CF-4000	-37,0	-37,1	-37,05	-10,60
	2400 mHz	MM-2420	-40,5	-40,6	-40,55	-21,45
	2500 mHz	MM-2420	-38,4	-38,5	-38,45	-18,15
<b>7</b>	<b>alvenaria estrutural cerâmica</b>					
	800 mHz	CF-4000	-23,6	-23,7	-23,65	-1,30
	900 mHz	CF-4000	-22,4	-22,5	-22,45	0,30
	1800 mHz	CF-4000	-26,3	-26,3	-26,3	-0,30
	1900 mHz	CF-4000	-28,2	-28,1	-28,15	-1,70
	2400 mHz	MM-2420	-23,8	-23,9	-23,85	-4,75
	2500 mHz	MM-2420	-25,3	-25,4	-25,35	-5,05
<b>8</b>	<b>alvenaria estrutural concreto</b>					
	800 mHz	CF-4000	-26,9	-27,0	-26,95	-4,60
	900 mHz	CF-4000	-23,5	-23,5	-23,5	-0,75
	1800 mHz	CF-4000	-43,6	-43,7	-43,65	-17,65
	1900 mHz	CF-4000	-38,9	-39,0	-38,95	-12,50
	2400 mHz	MM-2420	-30,8	-30,9	-30,85	-11,75
	2500 mHz	MM-2420	-29,6	-29,7	-29,65	-9,35
<b>9</b>	<b>alvenaria solo cimento</b>					
	800 mHz	CF-4000	-29,1	-29,2	-29,15	-6,80
	900 mHz	CF-4000	-25,0	-25,1	-25,05	-2,30
	1800 mHz	CF-4000	-29,0	-29,1	-29,05	-3,05
	1900 mHz	CF-4000	-29,3	-29,4	-29,35	-2,90
	2400 mHz	MM-2420	-28,3	-28,4	-28,35	-9,25
	2500 mHz	MM-2420	-31,7	-31,8	-31,75	-11,45

**ENSAIOS DE MEDIÇÃO nº 04**

<b>data</b>	10/04/15	10/04/15
<b>período</b>	manhã	tarde
<b>temperatura (°C)</b>	21,2	24,2
<b>umidade relativa (%)</b>	90,1	89,6
<b>pressão atmosférica (hPa abs)</b>	918,8	916,9
<b>antena utilizada</b>	CF-4000	MM-2420
<b>local</b>	terreno junto ao SIMEPAR	

		antena	dbm min	dbm max	dbm média	Δ dbm
<b>1</b>	<b>LIVRE</b>					
	800 mHz	CF-4000	-22,2	-22,3	-22,25	
	900 mHz	CF-4000	-22,9	-23	-22,95	
	1800 mHz	CF-4000	-25,9	-26	-25,95	
	1900 mHz	CF-4000	-26,3	-26,4	-26,35	
	2400 mHz	MM-2420	-18,9	-19	-18,95	
	2500 mHz	MM-2420	-20,3	-20,4	-20,35	
<b>2</b>	<b>FECHADO</b>					
	800 mHz	CF-4000	-32,6	-32,7	-32,65	
	900 mHz	CF-4000	-34,3	-34,4	-34,35	
	1800 mHz	CF-4000	-50,9	-51	-50,95	
	1900 mHz	CF-4000	-52,9	-53	-52,95	
	2400 mHz	MM-2420	-63,9	-64	-63,95	
	2500 mHz	MM-2420	-59,9	-60	-59,95	
<b>3</b>	<b>drywall</b>					
	800 mHz	CF-4000	-22,9	-23	-22,95	-0,70
	900 mHz	CF-4000	-22,6	-22,7	-22,65	0,30
	1800 mHz	CF-4000	-29,5	-29,6	-29,55	-3,60
	1900 mHz	CF-4000	-29,9	-30	-29,95	-3,60
	2400 mHz	MM-2420	-20,7	-20,7	-20,7	-1,75
	2500 mHz	MM-2420	-22,2	-22,3	-22,25	-1,90
<b>4</b>	<b>light wood framing</b>					
	800 mHz	CF-4000	-28,7	-28,6	-28,65	-6,40
	900 mHz	CF-4000	-26,6	-26,7	-26,65	-3,70
	1800 mHz	CF-4000	-39,9	-40	-39,95	-14,00
	1900 mHz	CF-4000	-39	-39,1	-39,05	-12,70
	2400 mHz	MM-2420	-29,2	-29,3	-29,25	-10,30
	2500 mHz	MM-2420	-30,2	-30,3	-30,25	-9,90
<b>5</b>	<b>light steel framing</b>					
	800 mHz	CF-4000	-24,9	-25	-24,95	-2,70
	900 mHz	CF-4000	-26,6	-26,7	-26,65	-3,70
	1800 mHz	CF-4000	-29,1	-29,2	-29,15	-3,20
	1900 mHz	CF-4000	-29,9	-30	-29,95	-3,60
	2400 mHz	MM-2420	-24,7	-24,7	-24,7	-5,75
	2500 mHz	MM-2420	-25,5	-25,6	-25,55	-5,20
<b>6</b>	<b>alvenaria tradicional</b>					
	800 mHz	CF-4000	-24,5	-24,6	-24,55	-2,30
	900 mHz	CF-4000	-22,6	-22,7	-22,65	0,30
	1800 mHz	CF-4000	-34,5	-34,6	-34,55	-8,60
	1900 mHz	CF-4000	-37,6	-37,7	-37,65	-11,30
	2400 mHz	MM-2420	-40,6	-40,7	-40,65	-21,70
	2500 mHz	MM-2420	-38,3	-38,4	-38,35	-18,00
<b>7</b>	<b>alvenaria estrutural cerâmica</b>					
	800 mHz	CF-4000	-23,6	-23,7	-23,65	-1,40
	900 mHz	CF-4000	-22,2	-22,3	-22,25	0,70
	1800 mHz	CF-4000	-26,2	-26,3	-26,25	-0,30
	1900 mHz	CF-4000	-28,1	-28,2	-28,15	-1,80
	2400 mHz	MM-2420	-23,6	-23,7	-23,65	-4,70
	2500 mHz	MM-2420	-25,4	-25,5	-25,45	-5,10
<b>8</b>	<b>alvenaria estrutural concreto</b>					
	800 mHz	CF-4000	-27,1	-27,2	-27,15	-4,90
	900 mHz	CF-4000	-23,6	-23,7	-23,65	-0,70
	1800 mHz	CF-4000	-43,1	-43,2	-43,15	-17,20
	1900 mHz	CF-4000	-38,8	-38,9	-38,85	-12,50
	2400 mHz	MM-2420	-30,4	-30,5	-30,45	-11,50
	2500 mHz	MM-2420	-29,6	-29,7	-29,65	-9,30
<b>9</b>	<b>alvenaria solo cimento</b>					
	800 mHz	CF-4000	-28,4	-28,5	-28,45	-6,20
	900 mHz	CF-4000	-25,1	-25,2	-25,15	-2,20
	1800 mHz	CF-4000	-29,5	-29,6	-29,55	-3,60
	1900 mHz	CF-4000	-29,9	-30	-29,95	-3,60
	2400 mHz	MM-2420	-32,1	-32,2	-32,15	-13,20
	2500 mHz	MM-2420	-33,6	-33,7	-33,65	-13,30

ENSAIOS DE MEDIÇÃO nº 05

data	10/04/15	42104,0
período	manhã	tarde
temperatura (°C)	22,3	24,5
umidade relativa (%)	89,4	89,8
pressão atmosférica (hPa abs)	918,5	916,9
antena utilizada	CF-4000	MM-2420
local	terreno junto ao SIMEPAR	

1	LIVRE	antena	dbm min	dbm max	dbm média	
	800 mHz	CF-4000	-22,4	-22,5	-22,45	
900 mHz	CF-4000	-22,8	-22,8	-22,8		
1800 mHz	CF-4000	-25,8	-25,9	-25,85		
1900 mHz	CF-4000	-26,4	-26,5	-26,45		
2400 mHz	MM-2420	-19	-19	-19		
2500 mHz	MM-2420	-20,2	-20,3	-20,25		
2	FECHADO	antena	dbm min	dbm max	dbm média	
	800 mHz	CF-4000	-32,9	-33	-32,95	
900 mHz	CF-4000	-34,9	-35	-34,95		
1800 mHz	CF-4000	-51,3	-51,2	-51,25		
1900 mHz	CF-4000	-53	-53,1	-53,05		
2400 mHz	MM-2420	-56,9	-57	-56,95		
2500 mHz	MM-2420	-56,9	-57	-56,95		
3	drywall	antena	dbm min	dbm max	dbm média	Δ dbm
	800 mHz	CF-4000	-23,1	-23,2	-23,15	-0,70
900 mHz	CF-4000	-22,7	-22,8	-22,75	0,05	
1800 mHz	CF-4000	-29,3	-29,4	-29,35	-3,50	
1900 mHz	CF-4000	-29,8	-29,9	-29,85	-3,40	
2400 mHz	MM-2420	-20,8	-20,8	-20,8	-1,80	
2500 mHz	MM-2420	-22,1	-22,2	-22,15	-1,90	
4	light wood framing	antena	dbm min	dbm max	dbm média	Δ dbm
	800 mHz	CF-4000	-31,3	-31,4	-31,35	-8,90
900 mHz	CF-4000	-26,2	-26,3	-26,25	-3,45	
1800 mHz	CF-4000	-42,4	-42,5	-42,45	-16,60	
1900 mHz	CF-4000	-40,5	-40,6	-40,55	-14,10	
2400 mHz	MM-2420	-29,3	-29,3	-29,3	-10,30	
2500 mHz	MM-2420	-30,4	-30,5	-30,45	-10,20	
5	light steel framing	antena	dbm min	dbm max	dbm média	Δ dbm
	800 mHz	CF-4000	-24,9	-25	-24,95	-2,50
900 mHz	CF-4000	-26,8	-26,9	-26,85	-4,05	
1800 mHz	CF-4000	-29,3	-29,4	-29,35	-3,50	
1900 mHz	CF-4000	-30	-30,1	-30,05	-3,60	
2400 mHz	MM-2420	-24,5	-24,6	-24,55	-5,55	
2500 mHz	MM-2420	-25,4	-25,5	-25,45	-5,20	
6	alvenaria tradicional	antena	dbm min	dbm max	dbm média	Δ dbm
	800 mHz	CF-4000	-24,4	-24,5	-24,45	-2,00
900 mHz	CF-4000	-22,6	-22,7	-22,65	0,15	
1800 mHz	CF-4000	-34,1	-34,2	-34,15	-8,30	
1900 mHz	CF-4000	-37,1	-37,2	-37,15	-10,70	
2400 mHz	MM-2420	-40,9	-41	-40,95	-21,95	
2500 mHz	MM-2420	-38,5	-38,6	-38,55	-18,30	
7	alvenaria estrutural cerâmica	antena	dbm min	dbm max	dbm média	Δ dbm
	800 mHz	CF-4000	-23,6	-23,7	-23,65	-1,20
900 mHz	CF-4000	-22,2	-22,3	-22,25	0,55	
1800 mHz	CF-4000	-26,3	-26,2	-26,25	-0,40	
1900 mHz	CF-4000	-28,3	-28,3	-28,3	-1,85	
2400 mHz	MM-2420	-24,3	-24,4	-24,35	-5,35	
2500 mHz	MM-2420	-25,7	-25,8	-25,75	-5,50	
8	alvenaria estrutural concreto	antena	dbm min	dbm max	dbm média	Δ dbm
	800 mHz	CF-4000	-27	-27,1	-27,05	-4,60
900 mHz	CF-4000	-23,4	-23,5	-23,45	-0,65	
1800 mHz	CF-4000	-43,7	-43,8	-43,75	-17,90	
1900 mHz	CF-4000	-39,2	-39,3	-39,25	-12,80	
2400 mHz	MM-2420	-30,6	-30,7	-30,65	-11,65	
2500 mHz	MM-2420	-29,5	-29,6	-29,55	-9,30	
9	alvenaria solo cimento	antena	dbm min	dbm max	dbm média	Δ dbm
	800 mHz	CF-4000	-28,5	-28,6	-28,55	-6,10
900 mHz	CF-4000	-25,7	-25,8	-25,75	-2,95	
1800 mHz	CF-4000	-28,5	-28,6	-28,55	-2,70	
1900 mHz	CF-4000	-29,3	-29,4	-29,35	-2,90	
2400 mHz	MM-2420	-28,2	-28,3	-28,25	-9,25	
2500 mHz	MM-2420	-31,7	-31,8	-31,75	-11,50	

### APÊNDICE F: cálculos estatísticos do experimento

	<b>DRYWALL</b>	<b>LIGHT WOOD FRAMING</b>	<b>LIGHT STEEL FRAMING</b>	<b>ALVENARIA NÃO ESTRUTURAL</b>	<b>ALVENARIA ESTRUTURAL CERÂMICA</b>	<b>ALVENARIA CONCRETO</b>	<b>ALVENARIA SOLOCIMENTO</b>	<b>TOTAL E MÉDIAS</b>
<b>800 MHZ</b>	-0,90	-8,10	-2,80	-2,20	-1,20	-4,80	-6,10	
	-0,75	-8,90	-2,50	-2,00	-1,15	-4,20	-6,10	
	-1,00	-8,60	-2,60	-2,10	-1,30	-4,60	-6,80	
	-0,70	-6,40	-2,70	-2,30	-1,40	-4,90	-6,20	
	-0,70	-8,90	-2,50	-2,00	-1,20	-4,60	-6,10	
	-4,05	-40,90	-13,10	-10,60	-6,25	-23,10	-31,30	-129,30
	-0,81	-8,18	-2,62	-2,12	-1,25	-4,62	-6,26	-3,69
<b>900 MHZ</b>	-0,60	-4,60	-3,60	-5,40	0,50	-0,60	-1,80	
	0,30	-3,20	-4,00	0,50	0,20	-1,10	-2,40	
	0,00	-3,50	-4,40	0,20	0,30	-0,75	-2,30	
	0,30	-3,70	-3,70	0,30	0,70	-0,70	-2,20	
	0,05	-3,45	-4,05	0,15	0,55	-0,65	-2,95	
	0,05	-18,45	-19,75	-4,25	2,25	-3,80	-11,65	-55,60
	0,01	-3,69	-3,95	-0,85	0,45	-0,76	-2,33	-1,59
<b>1800 MHZ</b>	-4,50	-19,85	-4,20	-12,90	-0,80	-17,75	-3,80	
	-4,20	-16,90	-3,60	-9,00	0,00	-17,90	-3,10	
	-3,55	-16,65	-3,45	-8,65	-0,30	-17,65	-3,05	
	-3,60	-14,00	-3,20	-8,60	-0,30	-17,20	-3,60	
	-3,50	-16,60	-3,50	-8,30	-0,40	-17,90	-2,70	
	-19,35	-84,00	-17,95	-47,45	-1,80	-88,40	-16,25	-275,20
	-3,87	-16,80	-3,59	-9,49	-0,36	-17,68	-3,25	-7,86
<b>1900 MHZ</b>	-4,30	-14,95	-5,00	-11,40	-1,80	-11,80	-3,10	
	-4,00	-14,10	-3,30	-10,30	-0,61	-11,10	-2,00	
	-3,60	-14,10	-3,30	-10,60	-1,70	-12,50	-2,90	
	-3,60	-12,70	-3,60	-11,30	-1,80	-12,50	-3,60	
	-3,40	-14,10	-3,60	-10,70	-1,85	-12,80	-2,90	
	-18,90	-69,95	-18,80	-54,30	-7,76	-60,70	-14,50	-244,91
	-3,78	-13,99	-3,76	-10,86	-1,55	-12,14	-2,90	-7,00
<b>2400 MHZ</b>	-1,00	-9,75	-5,10	-19,25	-4,05	-10,75	-12,85	
	-1,70	-10,20	-5,60	-21,30	-4,80	-11,80	-13,50	
	-1,65	-10,35	-5,65	-21,45	-4,75	-11,75	-9,25	
	-1,75	-10,30	-5,75	-21,70	-4,70	-11,50	-13,20	
	-1,80	-10,30	-5,55	-21,95	-5,35	-11,65	-9,25	

	-7,90	-50,90	-27,65	-105,65	-23,65	-57,45	-58,05	-331,25
	-1,58	-10,18	-5,53	-21,13	-4,73	-11,49	-11,61	-9,46
<b>2500 MHZ</b>	-2,10	-10,20	-5,40	-17,40	-5,20	-9,35	-13,70	
	-1,95	-10,10	-5,30	-18,70	-5,10	-9,40	-13,85	
	-2,05	-10,25	-5,35	-18,15	-5,05	-9,35	-11,45	
	-1,90	-9,90	-5,20	-18,00	-5,10	-9,30	-13,30	
	-1,90	-10,20	-5,20	-18,30	-5,50	-9,30	-11,50	
	-9,90	-50,65	-26,45	-90,55	-25,95	-46,70	-63,80	-314,00
	-1,98	-10,13	-5,29	-18,11	-5,19	-9,34	-12,76	-8,97
Total	-60,05	-314,85	-123,70	-312,80	-63,16	-280,15	-195,55	-1350,26
Média	-2,00	-10,50	-4,12	-10,43	-2,11	-9,34	-6,52	-6,43

$TC = T..2 / abn$	8682
$SQA = \sum(Ti...^2 / b.n) - TC$	1713,7
$SQB = \sum(Tj...^2 / a.n) - TC$	2538,0
$SQAB = \sum(Tij.^2 / n) - TC - SQA - SQB$	1456,2
$SQT = \sum(Yijk.^2) - TC$	6494
$SQR = SQT - SQA - SQB - SQAB$	786,4

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	GDL	médias quadradas	teste F	f TAB
A	1713,7	5	342,75	530,88	2,22
B	2538,0	6	422,99	655,18	2,11
AB	1456,2	30	48,54	75,18	1,47
Erro	786,4	1218	0,65		
TOTAL	6494	1259			

COMPARAÇÃO MÚLTIPLA DAS MÉDIAS	
$Sx = \sqrt{MQR / \sqrt{nc}}$	0,36
$Ld = 3 * Sx$	1,08

### APÊNDICE G: comparação múltipla das médias: frequência

Freq.	Média	Média	Resultado		Sistemas construtivos
800 MHz	-8,18	-6,26	1,92	DS	light wood framing - alvenaria solo cimento
	-6,26	-4,62	1,64	DS	alvenaria solo cimento - alvenaria concreto
	-4,62	-2,62	2,00	DS	alvenaria concreto - light steel framing
	-2,62	-2,12	0,50	DNS	light steel framing - alvenaria não estrutural
	-2,12	-1,25	0,87	DNS	alvenaria não estrutural - alvenaria estrutural cerâmica
	-1,25	-0,81	0,44	DNS	alvenaria estrutural cerâmica - <i>Drywall</i>
900 MHz	-3,95	-3,69	0,26	DNS	light wood framing - light steel framing
	-3,69	-2,33	1,36	DS	light steel framing - alvenaria solo cimento
	-2,33	-0,85	1,48	DS	alvenaria solo cimento - alvenaria não estrutural
	-0,85	-0,76	0,09	DNS	alvenaria não estrutural - alvenaria concreto
	-0,76	0,01	0,77	DNS	alvenaria concreto - <i>Drywall</i>
	0,01	0,45	0,44	DNS	<i>Drywall</i> - alvenaria estrutural cerâmica
1800 MHz	-17,68	-16,80	0,88	DNS	alvenaria concreto - light wood framing
	-16,80	-9,49	7,31	DS	light wood framing - alvenaria não estrutural
	-9,49	-3,87	5,62	DS	alvenaria não estrutural - <i>Drywall</i>
	-3,87	-3,59	0,28	DNS	<i>Drywall</i> - light steel framing
	-3,59	-3,25	0,34	DNS	light steel framing - alvenaria solo cimento
	-3,25	-0,36	2,89	DS	alvenaria solo cimento - alvenaria estrutural cerâmica
1900 MHz	-13,99	-12,14	1,85	DS	light wood framing - alvenaria concreto
	-12,14	-10,86	1,28	DS	alvenaria concreto - alvenaria não estrutural
	-10,86	-3,78	7,08	DS	alvenaria não estrutural - <i>Drywall</i>
	-3,78	-3,76	0,02	DNS	<i>Drywall</i> - light steel framing
	-3,76	-2,90	0,86	DNS	light steel framing - alvenaria solo cimento
	-2,90	-1,55	1,35	DS	alvenaria solo cimento - alvenaria estrutural cerâmica
2400 MHz	-21,13	-11,61	9,52	DS	alvenaria não estrutural - alvenaria solo cimento
	-11,61	-11,49	0,12	DNS	alvenaria solo cimento - alvenaria concreto
	-11,49	-10,18	1,31	DS	alvenaria concreto - light wood framing
	-10,18	-5,53	4,65	DS	light wood framing - light steel framing
	-5,53	-4,73	0,80	DNS	light steel framing - alvenaria estrutural cerâmica
	-4,73	-1,58	3,15	DS	alvenaria estrutural cerâmica - <i>Drywall</i>
2500 MHz	-18,11	-12,76	5,35	DS	alvenaria não estrutural - alvenaria solo cimento
	-12,76	-10,13	2,63	DS	alvenaria solo cimento - light wood framing
	-10,13	-9,34	0,79	DNS	light wood framing - alvenaria concreto
	-9,34	-5,29	4,05	DS	alvenaria concreto - light steel framing
	-5,29	-5,19	0,10	DNS	light steel framing - alvenaria estrutural cerâmica
	-5,19	-1,98	3,21	DS	alvenaria estrutural cerâmica - <i>Drywall</i>

**APÊNDICE H: comparação múltipla das médias: sistemas construtivos**

<b>Sistema Construtivo</b>	<b>Média</b>	<b>Média</b>	<b>Resultado</b>		<b>Freq.</b>
<b>DRYWALL</b>	-3,87	-3,78	0,09	DNS	1800-1900
	-3,78	-1,98	1,80	DS	1900-2500
	-1,98	-1,58	0,40	DNS	2500-2400
	-1,58	-0,81	0,77	DNS	2400-800
	-0,81	0,01	0,82	DNS	800-900
	-3,87	-3,78	0,09	DNS	1800-1900
<b>LIGHT WOOD FRAMING</b>	-16,80	-13,99	2,81	DS	1800-1900
	-13,99	-10,18	3,81	DS	1900-2400
	-10,18	-10,13	0,05	DNS	2400-2500
	-10,13	-8,18	1,95	DS	2500-800
	-8,18	-3,69	4,49	DS	800-900
	-16,80	-13,99	2,81	DS	1800-1900
<b>LIGHT STEEL FRAMING</b>	-5,53	-5,29	0,24	DNS	2400-2500
	-5,29	-3,95	1,34	DS	2500-900
	-3,95	-3,76	0,19	DNS	900-1900
	-3,76	-3,59	0,17	DNS	1900-1800
	-3,59	-2,62	0,97	DNS	1800-800
	-5,53	-5,29	0,24	DNS	2400-2500
<b>ALVENARIA NÃO ESTRUTURAL</b>	-21,13	-18,11	3,02	DS	2400-2500
	-18,11	-10,86	7,25	DS	2500-1900
	-10,86	-9,49	1,37	DS	1900-1800
	-9,49	-2,12	7,37	DS	1800-800
	-2,12	-0,85	1,27	DS	800-900
	-21,13	-18,11	3,02	DS	2400-2500
<b>ALVENARIA ESTRUTURAL CERÂMICA</b>	-5,19	-4,73	0,46	DNS	2500-2400
	-4,73	-1,55	3,18	DS	2400-1900
	-1,55	-1,25	0,30	DNS	1900-800
	-1,25	-0,36	0,89	DNS	800-1800
	-0,36	0,45	0,81	DNS	1800-900
	-5,19	-4,73	0,46	DNS	2500-2400
<b>ALVENARIA CONCRETO</b>	-17,68	-12,14	5,54	DS	1800-1900
	-12,14	-11,49	0,65	DNS	1900-2400
	-11,49	-9,34	2,15	DS	2400-2500
	-9,34	-4,62	4,72	DS	2500-800
	-4,62	-0,76	3,86	DS	800-900



	-17,68	-12,14	5,54	DS	1800-1900
<b>ALVENARIA SOLO-CIMENTO</b>	-12,76	-11,61	1,15	DS	2500-2400
	-11,61	-6,26	5,35	DS	2400-800
	-6,26	-3,25	3,01	DS	800-1800
	-3,25	-2,90	0,35	DNS	1800-1900
	-2,90	-2,33	0,57	DNS	1900-900
	-12,76	-11,61	1,15	DS	2500-2400

\* DS – Diferença Significativa

DNS – Diferença não Significativa

### ANEXO A: Dimensões de fabricação de blocos cerâmicos de vedação

Dimensões L x H x C M = 10 cm	Dimensões de fabricação (cm)			
	Largura (L)	Altura (H)	Comprimento (C)	
			Bloco Principal	1/2 Bloco
(1) M x (1) M x (2) M	9	9	19	9
(1) M x (1) M x (5/2) M			24	11,5
(1) M x (3/2) M x (2) M		14	19	9
(1) M x (3/2) M x (5/2) M			24	11,5
(1) M x (3/2) M x (3) M			29	14
(1) M x (2) M x (2) M		19	19	9
(1) M x (2) M x (5/2) M			24	11,5
(1) M x (2) M x (3) M			29	14
(1) M x (2) M x (4) M			39	19
(5/4) M x (5/4) M x (5/2) M	11,5		11,5	24
(5/4) M x (3/2) M x (5/2) M		14	24	11,5
(5/4) M x (2) M x (2) M		19	19	9
(5/4) M x (2) M x (5/2) M			24	11,5
(5/4) M x (2) M x (3) M			29	14
(5/4) M x (2) M x (4) M	14	19	39	19
(3/2) M x (2) M x (2) M			19	9
(3/2) M x (2) M x (5/2) M			24	11,5
(3/2) M x (2) M x (3) M			29	14
(3/2) M x (2) M x (4) M			39	19
(2) M x (2) M x (2) M	19	19	19	9
(2) M x (2) M x (5/2) M			24	11,5
(2) M x (2) M x (3) M			29	14
(2) M x (2) M x (4) M			39	19
(5/2) M x (5/2) M x (5/2) M	24	24	24	11,5
(5/2) M x (5/2) M x (3) M			29	14
(5/2) M x (5/2) M x (4) M			39	19

Fonte: NBR 15.270-1 (2005)

## ANEXO B: Dimensões de fabricação de blocos cerâmicos estruturais

Dimensões L x H x C M = 10 cm	Dimensões de fabricação (cm)					
	Largura (L)	Altura (H)	Bloco Principal	Comprimento (C)		
				1/2 Bloco	Amarração (L)	Amarração (T)
(5/4) M x (5/4) M x (5/2) M	11,5	11,5	24	11,5	-	36,5
(5/4) M x (2) M x (5/2) M		19	24	11,5	-	36,5
(5/4) M x (2) M x (3) M			29	14	26,5	41,5
(5/4) M x (2) M x (4) M			39	19	31,5	51,5
(3/2) M x (2) M x (3) M	14	19	29	14	-	44
(3/2) M x (2) M x (4) M			39	19	34	54
(2) M x (2) M x (3) M	19	19	29	14	34	49
(2) M x (2) M x (4) M			39	19	-	59

Fonte: NBR 15.270-2 (2005)

### ANEXO C: Dimensões padronizadas dos blocos de concreto

Dimensões Nominais (cm)	Designação	Dimensões padronizadas (mm)		
		Largura	Altura	Comprimento
20 x 20 x 40	M-20	190	190	390
20 x 20 x 40		190	190	190
20 x 20 x 40	M-15	140	190	390
20 x 20 x 40		140	190	190

Fonte: NBR 6136 (1994)

Valores mínimos de  $f_{bk}$  (MPa)

Classe da Resistência	Classe AE	Classe BE
4,5	-(A)	4,5
6	6	6
7	7	7
8	8	8
9	9	9
10	10	10
11	11	11
12	12	12
13	13	13
14	14	14
15	15	15
16	16	16

Fonte: NBR 6136 (1994)

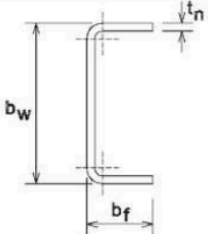
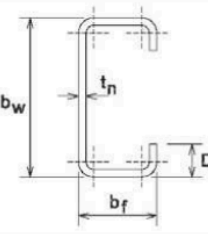
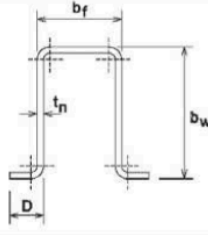
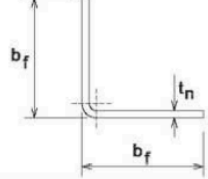
### ANEXO D: Valores médios de madeiras de reflorestamento

Nome comum	Nome científico	$\rho_{ap}$ (12%) kg/m <sup>3</sup> (1)	$f_{c0}$ Mpa (2)	$f_{c0}$ Mpa (3)	$f_{t90}$ Mpa (4)	$F_v$ Mpa (5)	$f_{c0}$ Mpa (6)	n (7)
Eucalipto	<i>E. tereticornis</i>	899	57,7	115,9	4,6	9,7	17.198	29
	<i>E. Citriodora</i>	899	48,0	78,1	4,6	9,0	13.286	18
Pinus	<i>P. eliottii</i>	560	40,	66,0	2,5	7,4	11.889	21
	<i>P. taeda L.</i>	645	44,4	82,8	2,8	7,7	13.304	15

Fonte: NBR 7190 (1997)

- (1) massa específica aparente a 12% de umidade.
- (2) Resistência à compressão paralela às fibras.
- (3) Resistência à tração paralela às fibras.
- (4) Resistência à tração normal às fibras.
- (5) Resistência ao cisalhamento.
- (6) Módulo de elasticidade longitudinal obtido no ensaio de compressão paralela às fibras.
- (7) Número de corpos de prova ensaiados

**ANEXO E: Tipos de perfis de aços conforme NBR 6355/2003**

SEÇÃO TRANSVERSAL	SÉRIE Designação NBR 6355:2003	Utilização
	<p align="center">U simples <math>U\ b_w \times b_f \times t_n</math></p>	<p align="center">Guia Ripa Bloqueador</p>
	<p align="center">U enrijecido <math>Ue\ b_w \times b_f \times D \times t_n</math></p>	<p align="center">Bloqueador Enrijecedor de alma Montante Verga Viga</p>
	<p align="center">Cartola <math>Cr\ b_w \times b_f \times D \times t_n</math></p>	<p align="center">Ripa</p>
	<p align="center">Cantoneira de abas desiguais <math>L\ b_{f1} \times b_{f2} \times t_n</math></p>	<p align="center">Cantoneira</p>

Fonte: SINAT nº 03 revisão 01 (2012)

### ANEXO F: Perfil do aço galvanizado para Drywall

Tipologia	Dimensões Nominais (mm)	Aplicação
Guia U	48/30	Paredes, forros e revestimentos
	70/30	
	90/30	
Montante C	48/35	Paredes, forros e revestimentos
	70/35	
	90/35	
Canaleta C	47/18	Forros e revestimentos
Canaleta Ômega	70/20	Forros e revestimentos
Cantoneira L	25/30	Forros e revestimentos
Cantoneira de reforço	23/23	Paredes e revestimentos
	28/28	

Fonte: NBR 15.217 (2009)

**ANEXO G: Propriedades de chapas de OSB**

Classificação	Tipo 2 (para uso em ambientes secos) Tipo 3 (para uso em ambientes úmidos), segundo DIN EN 300
Índice de umidade	2 a 12%, conforme DIN EN 300
Resistência à flexão (maior e menor eixo)	Conforme EN 300 (parâmetro definido em função do tipo de OSB, 2 ou 3, e da espessura da chapa)
Absorção à água	$A \leq 25\%$
Inchamento da chapa (espessura)	$\leq 20\%$ para OSB tipo 2; e $15\%$ para OSB tipo 3 (segundo EN 300)

Fonte: SINAT nº 03 revisão 01 (2012)



**ANEXO H: Critérios dos ensaios laboratoriais de biodeterioração por organismos xilófagos na madeira e em produtos da madeira com função de contraventamento**

	Categoria de uso 3	Categoria de uso 4
Condição de uso da madeira	Interior de construções, fora do contato com o solo, protegido das intempéries, que ocasionalmente, são expostos a Fontes de umidade; ou exterior das construções protegidos por barreira impermeável, revestimento ou câmara de ar.	Uso exterior, fora de contato com o solo e sujeito as intempéries.
Umidade da peça em uso	Ocasionalmente > 20%	Frequentemente > 20%
Resistência a fungos (apodrecedor)	Perda de massa <10%	Perda de massa <10%
Resistência a fungos (embolorador/manchador)	Nota ≤ 2	Nota ≤ 2
Resistência a cupins (subterrâneo)	Nota ≥ 9	Nota ≥ 9
Resistência a cupins (madeira seca)	Nota ≤ 1	Nota ≤ 1
Componentes da madeira	chapas de OSB aplicadas em paredes externas e internas, com função de contraventamento, não expostas.	faces expostas da chapas de fechamento, também com função de contraventamento, como face acabada da chapa.

Fonte: SINAT nº 03 revisão 01 (2012)

**ANEXO I: Tolerâncias das características geométricas das chapas de gesso**

Característica geométrica		Tolerância	Limite
espessura	9,5 mm		-
	12,5 mm	$\pm 0,5$ mm	-
	15,0 mm		-
Largura		+ 0 / - 4 mm	Máximo de 1.200 mm
Comprimento		+ 0 / 5 mm	Máximo de 3.600 mm
Esquadro		$\leq 2,5$ mm/m de largura	-
Rebaixo largura	Mínimo	-	40 mm
	Máximo	-	80 mm
Rebaixo profundidade	Mínimo	-	0,6 mm
	Máximo	-	2,5 mm

Fonte: NBR 14.715 (2001)

**ANEXO J: Limites para as características físicas e mecânicas das chapas de gesso acartonado**

Determinação		Limites		
		Espessura da chapa mm		
		9,5	12,5	15,0
Densidade superficial de massa kg/m <sup>2</sup>	Mínimo	6,5	8,0	10,0
	Máximo	8,5	12,0	14,0
	Varição máxima em relação à média da amostra do lote		± 0,5	
Resistência mínima à ruptura na flexão N	Longitudinal (face frontal para baixo)	400	550	650
	Transversal (face frontal para cima)	160	210	250
Dureza superficial determinada pelo diâmetro máximo mm			20	
Absorção máxima de água para chapa resistente à umidade (RU) %			5	
Absorção superficial máxima de água para chapa resistente à umidade (RU), tanto para a face da frente, quanto para a face do verso (característica facultativa) g/m <sup>2</sup>			160	

Fonte: NBR 14.715 (2001)