



Universidade Federal de Uberlândia
Faculdade de Engenharia Elétrica
Graduação em Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações

DANIELE OLIVEIRA SILVA

**ANÁLISE DOS NÍVEIS DE RADIAÇÃO NÃO IONIZANTE NO BAIRRO
UMUARAMA DA CIDADE DE UBERLÂNDIA, EMITIDAS POR
FONTES DE SERVIÇOS DE RÁDIO-DIFUSÃO**

Uberlândia
2019

DANIELE OLIVEIRA SILVA

**ANÁLISE DOS NÍVEIS DE RADIAÇÃO NÃO IONIZANTE NO BAIRRO
UMUARAMA DA CIDADE DE UBERLÂNDIA, EMITIDAS POR
FONTES DE SERVIÇOS DE RÁDIO-DIFUSÃO**

Trabalho apresentado na Universidade Federal de
Uberlândia como requisito para conclusão do curso
de Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações.

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Arantes Carrijo

Assinatura do Orientador

Uberlândia
2019

*Dedico este trabalho aos meus pais e a
minha irmã, pelo estímulo, carinho e
compreensão que sempre dedicaram a mim.*

AGRADECIMENTOS

A Deus que ilumina meu caminho e cuida de mim perante todos os desafios.

Ao Prof. Gilberto Arantes Carrijo por orientar e dar todo o apoio e o auxílio necessário para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus pais Ilza e Osório e a minha irmã Renata, por estarem sempre ao meu lado, me dando todo o suporte e apoio e por sempre me incentivarem.

Ao André Luiz, pela revisão deste trabalho e por todo o suporte e companheirismo.

Ao Vinícius Marcos, pela revisão deste trabalho.

Aos meus amigos Fernanda Guedes, Gustavo Carvalho e Bianca Bertoldo, por terem dedicado parte de seu tempo para me ajudar na coleta de dados, fundamentais para o desenvolvimento deste.

A todos os meus professores, de todas as etapas que vivi até hoje, que me ajudaram a chegar até aqui contribuindo para o meu crescimento pessoal e profissional e me inspirando a exercer a minha profissão com ética e dedicação.

A todos os meus amigos que estão sempre ao meu lado me ajudando a superar todos os desafios.

RESUMO

O progresso tecnológico no setor das telecomunicações acarreta na exposição cada vez mais intensa da população às radiações não ionizantes (RNI). Os possíveis riscos à saúde que a emissão dessas radiações podem causar geram uma grande insegurança tanto na população quanto nas autoridades governamentais. Devido a isso, órgãos como a International Commission On Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), o Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) e a Organização Mundial da Saúde (OMS), se dedicam em pesquisas com o intuito de diminuir as incertezas relacionadas aos riscos da exposição e, além disso, desenvolvem diretrizes para tornar o uso dessas tecnologias mais seguras. No Brasil o órgão dedicado à regulamentação e à fiscalização dos níveis de radiação não ionizante emitidos pelos serviços de telecomunicações é a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), por meio da Resolução nº 700, de 28 de setembro de 2018. Este trabalho tem como objetivo avaliar a conformidade, com a resolução citada, das estações de rádio e televisão, cujas antenas transmissoras estão instaladas no bairro Umuarama da cidade de Uberlândia – MG. A região analisada inclui áreas dentro do Campus Umuarama da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), ou seja, uma área de grande circulação de pessoas e próximas a hospitais e clínicas, vinculadas a UFU.

Palavras-chave: ANATEL, ICNIRP, IEEE, Radiação Não Ionizante, Radiodifusão.

ABSTRACT

Technological progress in the telecommunications sector leads to the increasingly intense exposure of the population to the non-ionising radiation. The possible health risks that the emission of these radiations can cause generate great insecurity both in the population and in the governmental authorities. Due to this organs such as the International Commission On Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) the Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) and the World Health Organization (WHO) dedicate themselves in research in order to reduce uncertainties related to the risks of exposure and furthermore develop guidelines to make the use of these technologies safer. In Brazil the organ dedicated to the regulation and supervision of non-ionising radiation levels emitted by services of telecommunications is the National Telecommunications Agency (ANATEL) through Recomendação nº.700, de 28 de Setembro de 2018. This work aims to evaluate the conformity with the cited recommendation of the FM and TV stations whose transmitting antennas are installed in the Umuarama district of the city of Uberlândia (MG). The analyzed region includes areas within the Umuarama Campus of the Federal University of Uberlândia that is area of great circulation of people and close to hospitals and clinics linked to UFU.

Keywords: ANATEL, Broadcasting, ICNIRP, IEEE, Non-Ionizing Radiation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – O Espectro Eletromagnético.....	27
Figura 2 – Divisões do espectro eletromagnético de acordo com as áreas de aplicabilidade	27
Figura 3 – Regiões de Campo Eletromagnético	29
Figura 4 – Representação do efeito de difração causado por uma obstrução entre o elemento transmissor e o receptor	33
Figura 5 - Variação da SAR média do corpo inteiro, na maquete virtual de um adulto do sexo masculino NORMAN, e dimensionado para um modelo de uma criança de três idades diferentes, aterrados e isolados, produzida por uma unidade de densidade de potência em função da frequência	38
Figura 6 - Penetração de ondas de rádio em tecidos musculares e adiposos em frequências usadas para serviços de telecomunicações, medidas por PEMs	39
Figura 7 – Visão da ADB para uma antena omnidirecional	66
Figura 8 – Visão ADB para uma antena setorial (a seta na antena significa direção de máxima radiação).....	66
Figura 9 - Visão do ADB para uma ou mais antenas setoriais instaladas na mesma altura.....	66
Figura 10 - Visão da ADB para uma ou mais antenas setoriais instaladas em alturas diferentes	67
Figura 11 - Visão da ADB para duas ou mais antenas omnidirecionais posicionadas em alturas distintas	67
Figura 12 – Pontos sugeridos para determinação da média espacial da exposição humana a CEMRF de um indivíduo em pé.....	70
Figura 13 – Fluxograma ilustrativo da metodologia utilizada neste trabalho	73
Figura 14 – Equipamento modelo 2640 da <i>BK Precision</i> utilizado para medições de campo elétrico.....	74
Figura 15 – Plataforma, Mosaico, da ANATEL.....	75
Figura 16 – Área do Campus Umuarama (UFU) e distribuição das torres de serviço de radiodifusão no bairro Umuarama	76
Figura 17 – Visões lateral e superior da região ADB em relação à estrutura "TORRE A"	80

Figura 18 – Visões lateral e superior da região ADB em relação à estrutura "TORRE B"	80
Figura 19 – Visões lateral e superior da região ADB em relação à estrutura "TORRE C"	81
Figura 20 – Visões lateral e superior da região ADB em relação à estrutura "TORRE D"	82
Figura 21 – Visões lateral e superior da região ADB, referente à estação E1 (estrutura "TORRE E")	83
Figura 22 – Visões lateral e superior da região ADB, referente às estações E2 e E3 (estrutura "TORRE E")	84
Figura 23 – Visões lateral e superior da região ADB em relação à estrutura "TORRE F"	85
Figura 24 – Visões lateral e superior da região ADB, referente à estação G1 (estrutura "TORRE G")	86
Figura 25 – Visões lateral e superior da região ADB, referente às estações G2 e G3 (estrutura "TORRE G")	86
Figura 26 – Visões lateral e superior da região ADB em relação à estrutura "TORRE H"	87
Figura 27 – Visões lateral e superior da região ADB em relação à estrutura "TORRE I"	88
Figura 28 – Regiões ADBs referente a cada estrutura de suporte	88
Figura 29 – Domínio de investigação referente às estações E2 e E3	91
Figura 30 – Áreas críticas e os pontos de medição	92
Figura 31 – Área de grande circulação de pessoas e os pontos de medição	92
Figura 32 – Pontos de medição nas direções de máxima radiação	93
Figura 33 – Todos os pontos de medição direta de campo elétrico	94
Figura 34 – Valores de pico da intensidade de campo elétrico de todas as estações em cada ponto de medição	96
Figura 35 – Gráfico dos valores de campo elétrico em $dB\mu V/m$ coletados no “Ponto 1”, e os valores limites referentes a cada estação	100
Figura 36 – Gráfico dos valores de campo elétrico em $dB\mu V/m$ coletados no “Ponto 2”, e os valores limites referentes a cada estação	102
Figura 37 – Gráfico dos valores de campo elétrico em $dB\mu V/m$ coletados no “Ponto3”, e os valores limites referentes a cada estação	104

Figura 38 – Gráfico dos valores de campo elétrico em $dB\mu V/m$ coletados no “Ponto 4”, e os valores limites referentes a cada estação.....	106
Figura 39 – Gráfico dos valores de campo elétrico em $dB\mu V/m$ coletados no “Ponto 5”, e os valores limites referentes a cada estação.....	108
Figura 40 – Gráfico dos valores de campo elétrico em $dB\mu V/m$ coletados no “Ponto 6”, e os valores limites referentes a cada estação.....	110
Figura 41 – Gráfico dos valores de campo elétrico em $dB\mu V/m$ coletados no “Ponto 7”, e os valores limites referentes a cada estação.....	112
Figura 42 – Gráfico dos valores de campo elétrico em $dB\mu V/m$ coletados no “Ponto 8”, e os valores limites referentes a cada estação.....	114
Figura 43 – Gráfico dos valores de campo elétrico em $dB\mu V/m$ coletados no “Ponto 9”, e os valores limites referentes a cada estação.....	116
Figura 44 – Gráfico dos valores de campo elétrico em $dB\mu V/m$ coletados no “Ponto 10”, e os valores limites referentes a cada estação.....	118
Figura 45 – Gráfico dos valores de campo elétrico em $dB\mu V/m$ coletados no “Ponto 11”, e os valores limites referentes a cada estação.....	120
Figura 46 – Gráfico dos valores de campo elétrico em $dB\mu V/m$ coletados no “Ponto 12”, e os valores limites referentes a cada estação.....	122
Figura 47 – Gráfico dos valores de campo elétrico em $dB\mu V/m$ coletados no “Ponto 13”, e os valores limites referentes a cada estação.....	124
Figura 48 – Gráfico dos valores de campo elétrico em $dB\mu V/m$ coletados no “Ponto 14”, e os valores limites referentes a cada estação.....	126
Figura 49 – Gráfico dos valores de campo elétrico em $dB\mu V/m$ coletados no “Ponto 15”, e os valores limites referentes a cada estação.....	128
Figura 50 – Gráfico dos valores de campo elétrico em $dB\mu V/m$ coletados no “Ponto 16”, e os valores limites referentes a cada estação.....	130
Figura 51 – Gráfico dos valores de campo elétrico em $dB\mu V/m$ coletados no “Ponto 17”, e os valores limites referentes a cada estação.....	132
Figura 52 – Gráfico das estações que mais contribuem com o nível de exposição em cada ponto de medição.....	136
Figura 53 – Quociente de Exposição Total.....	137

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características das regiões de campo eletromagnético.....	29
Tabela 2 – Restrições básicas para exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos na faixa de frequência de 100 kHz a 6 GHz (≥ 6 minutos)	55
Tabela 3 – Restrições básicas para exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos na faixa de frequência de 400 MHz a 6 GHz (< 6 minutos)	56
Tabela 4 – Níveis de referência, das recomendações do IEEE e ICNIRP, para exposição de corpo inteiro em ambientes controlados e não controlados, em frequências específicas de radiodifusão, com tempo médio de exposição de 30 minutos	58
Tabela 5 - Níveis de referência, das recomendações do IEEE e ICNIRP, para exposição local em ambientes controlados e não controlados, em frequências específicas de radiodifusão, com tempo médio de exposição de 6 minutos	58
Tabela 6 – Níveis de referência, da recomendação ICNIRP, para exposição local em ambientes controlados e não controlados, de 100 kHz a 6 GHz, com tempo médio de exposição ≤ 6 minutos (valores eficazes não perturbados)	59
Tabela 7 – Limites para exposição ocupacional (valores eficazes não perturbados)	63
Tabela 8 – Limites para exposição da população em geral (valores eficazes não perturbados).....	63
Tabela 9 – Restrições básicas para exposição humana a CEMRF, na faixa de radiofrequência entre 100 kHz e 10 GHz	64
Tabela 10 - Estações respectivas às estruturas de suporte, no bairro Umuarama ...	76
Tabela 11 – Parâmetros físicos das antenas transmissoras das estações analisadas	78
Tabela 12 – Valores de EIRP de cada estação analisada	79
Tabela 13 – Áreas críticas e pontos de medição correspondentes.....	91
Tabela 14 – Pontos de medição nas direções de máxima radiação referente a cada estrutura de suporte	94
Tabela 15 – Coordenadas geográficas de todos os pontos de medição	95
Tabela 16 – Limites de exposição em termos de campo elétrico para público em geral, referente a cada estação.....	98

Tabela 17 – Valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 1”	99
Tabela 18 – Valores coletados e limites de exposição das estações que mais contribuem com os níveis de exposição no “Ponto 1”	100
Tabela 19 – Parâmetros de análise para cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 1”	101
Tabela 20 – Valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 2”	101
Tabela 21 – Valores coletados e limites de exposição das estações que mais contribuem com os níveis de exposição no “Ponto 2”	102
Tabela 22 – Parâmetros de análise para cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 2”	103
Tabela 23 – Valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 3”	103
Tabela 24 – Valores coletados e limites de exposição das estações que mais contribuem com os níveis de exposição no “Ponto 3”	104
Tabela 25 – Parâmetros de análise para cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 3”	105
Tabela 26 – Valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 4”	105
Tabela 27 – Valores coletados e limites de exposição das estações que mais contribuem com os níveis de exposição no “Ponto 4”	106
Tabela 28 – Parâmetros de análise para cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 4”	107
Tabela 29 – Valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 5”	107
Tabela 30 – Valores coletados e limites de exposição das estações que mais contribuem com os níveis de exposição no “Ponto 5”	108
Tabela 31 – Parâmetros de análise para cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 5”	109
Tabela 32 – Valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 6”	109
Tabela 33 – Valores coletados e limites de exposição das estações que mais contribuem com os níveis de exposição no “Ponto 6”	110

Tabela 34 – Parâmetros de análise para cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 6”	111
Tabela 35 – Valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 7”	111
Tabela 36 – Valores coletados e limites de exposição das estações que mais contribuem com os níveis de exposição no “Ponto 7”	112
Tabela 37 – Parâmetros de análise para cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 7”	113
Tabela 38 – Valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 8”	113
Tabela 39 – Valores coletados e limites de exposição das estações que mais contribuem com os níveis de exposição no “Ponto 8”	114
Tabela 40 – Parâmetros de análise para cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 8”	115
Tabela 41 – Valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 9”	115
Tabela 42 – Valores coletados e limites de exposição das estações que mais contribuem com os níveis de exposição no “Ponto 9”	116
Tabela 43 – Parâmetros de análise para cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 9”	117
Tabela 44 – Valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 10”	117
Tabela 45 – Valores coletados e limites de exposição das estações que mais contribuem com os níveis de exposição no “Ponto 10”	118
Tabela 46 – Parâmetros de análise para cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 10”	119
Tabela 47 – Valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 11”	119
Tabela 48 – Valores coletados e limites de exposição das estações que mais contribuem com os níveis de exposição no “Ponto 11”	120
Tabela 49 – Parâmetros de análise para cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 11”	121
Tabela 50 – Valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 12”	121

Tabela 51 – Valores coletados e limites de exposição das estações que mais contribuem com os níveis de exposição no “Ponto 12”	122
Tabela 52 – Parâmetros de análise para cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 12”	123
Tabela 53 – Valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 13”	123
Tabela 54 – Valores coletados e limites de exposição das estações que mais contribuem com os níveis de exposição no “Ponto 13”	124
Tabela 55 – Parâmetros de análise para cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 13”	124
Tabela 56 – Valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 14”	125
Tabela 57 – Valores coletados e limites de exposição das estações que mais contribuem com os níveis de exposição no “Ponto 14”	126
Tabela 58 – Parâmetros de análise para cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 14”	127
Tabela 59 – Valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 15”	127
Tabela 60 – Valores coletados e limites de exposição das estações que mais contribuem com os níveis de exposição no “Ponto 15”	128
Tabela 61 – Parâmetros de análise para cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 15”	128
Tabela 62 – Valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 16”	129
Tabela 63 – Valores coletados e limites de exposição das estações que mais contribuem com os níveis de exposição no “Ponto 16”	130
Tabela 64 – Parâmetros de análise para cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 16”	130
Tabela 65 – Valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 17”	131
Tabela 66 – Valores coletados e limites de exposição das estações que mais contribuem com os níveis de exposição no “Ponto 17”	132

Tabela 67 – Parâmetros de análise para cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 17”	132
Tabela 68 – Potência de transmissão de cada estação analisada	135

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACGIH	Association Advancing Occupational and Environmental Health
ACS	American Cancer Society
ADB	<i>Assessment Domain Boundary</i>
AM	<i>Amplitude Modulation</i>
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
ANSI	American National Standards Institute
CEM	Campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos
CEMRF	Campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos, na faixa de radiofrequências
DI	Domínio de Investigação
EHC	<i>Environmental Health Criteria</i>
EIRP	<i>Equivalent Isotropic Radiated Power</i>
EMF	<i>Electromagnetic Field</i>
EPA	Environmental Protection Agency
ERP	<i>Equivalent Radiated Power</i>
FM	<i>Frequency Modulation</i>
HE	Hipersensibilidade Eletromagnética
HPA	Health Protection Agency
HPS	Health Physics Society
IAI	Intolerância Ambiental Idiopática
IARC	International Agency for Research on Cancer
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
INIRC	International Non-Ionizing Radiation Committee
IRPA	International Radiation Protection Association
ITU	International Telecommunications Union
MG	Minas Gerais
NCRP	National Council on Radiation Protection and Measurements

NTR	National Toxicology Program
OMS	Organização Mundial da Saúde
QET	Quociente de Exposição Total
RF	Radiofrequência
RNI	Radiação Não Ionizante
SA	<i>Specific Absorption</i>
SAR	<i>Specific Absorption Rate</i>
SI	Sistema Internacional de Unidades
TV	Televisão
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>
USASI	United States America Standards Institute
VHF	<i>Very High Frequency</i>
WHO	World Health Organization

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
1.1 Introdução	21
1.2 Motivação	22
1.3 Objetivos	23
1.3.1 <i>Objetivo geral</i>	23
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	23
1.4 Estrutura deste Trabalho	24
2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DA RADIAÇÃO.....	26
2.1 Espectro Eletromagnético.....	26
2.2 Características Físicas	28
2.2.1 <i>Regiões de campo eletromagnético.....</i>	28
2.2.2 <i>Densidade de potência (S).....</i>	29
2.2.3 <i>Antenas</i>	31
2.2.4 <i>Mecanismos de propagação.....</i>	32
2.2.4.1 <i>Reflexão</i>	32
2.2.4.2 <i>Difração</i>	33
2.2.4.3 <i>Espalhamento.....</i>	33
2.3 Mecanismos de Interação com Sistemas Biológicos.....	34
2.4 Dosimetria	35
2.4.1 <i>Taxa de Absorção Específica (SAR)</i>	35
2.4.1.1 <i>SAR média de corpo inteiro</i>	36
2.4.1.2 <i>SAR média local</i>	39
2.4.2 <i>Absorção Específica</i>	40
2.5 Considerações Finais	41
3 EFEITOS BIOLÓGICOS DA RADIAÇÃO POR RADIOFREQUÊNCIA	43
3.1 Estudos Recentes	44
3.1.1 <i>Estudos in vitro</i>	45
3.1.2 <i>Estudos experimentais em humanos</i>	46
3.1.3 <i>Estudos experimentais em animais</i>	47
3.1.4 <i>Estudos epidemiológicos</i>	48
3.2 Considerações Finais	49
4 NORMAS E POLÍTICAS DE PROTEÇÃO CONTRA RADIAÇÃO NÃO IONIZANTE	51
4.1 Histórico	51
4.2 Comparativo Entre as Principais Normas de Exposição aos CEM .	53
4.2.1 <i>Quanto à abrangência e à finalidade</i>	53
4.2.2 <i>Quanto às restrições básicas</i>	55
4.2.3 <i>Quanto aos níveis de referência</i>	57
4.3 A Incerteza Científica e o Princípio da Precaução	59

4.4 Órgão Regulador Nacional	60
4.5 Considerações Finais	61
5 RESOLUÇÃO N°700, DE 28 DE SETEMBRO DE 2018	62
5.1 Limites de Exposição	62
5.2 Procedimentos para Avaliação por Meio de Análises Teóricas	64
5.2.1 Determinação da ADB	65
5.3 Procedimentos para Medição Direta e Critérios de Avaliação	68
5.3.1 Exposição simultânea a campos de múltiplas frequências.....	68
5.3.2 Medições	69
5.3.2.1 Quanto ao equipamento	69
5.3.2.2 Quanto à seleção de pontos de medição	69
5.3.2.3 Posicionamento da sonda e tempo de medição.....	70
5.3.3 Análise de conformidade	72
5.4 Considerações Finais	72
6 METODOLOGIA.....	73
6.1 Equipamento Utilizado nas Medições	73
6.2 Varredura das Estações de Radiodifusão.....	74
6.3 Pontos de Avaliação	77
6.3.1 Domínios de Investigação.....	77
6.3.1.1 Parâmetros das estações analisadas	77
6.3.1.2 Cálculo das regiões ADB	78
6.3.1.2.1 Estrutura de suporte “TORRE A”	79
6.3.1.2.2 Estrutura de suporte “TORRE B”	80
6.3.1.2.3 Estrutura de suporte “TORRE C”	81
6.3.1.2.4 Estrutura de suporte “TORRE D”	81
6.3.1.2.5 Estrutura de suporte “TORRE E”	82
6.3.1.2.5.1 Cálculo da ADB para a estação E1.....	82
6.3.1.2.5.2 Cálculo da ADB para as estações E2 e E3.....	83
6.3.1.2.6 Estrutura de suporte “TORRE F”	84
6.3.1.2.7 Estrutura de suporte “TORRE G”	85
6.3.1.2.7.1 Cálculo da ADB para a estação G1	85
6.3.1.2.7.2 Cálculo da ADB para as estações G2 e G3	86
6.3.1.2.8 Estrutura de suporte “TORRE H”	87
6.3.1.2.9 Estrutura de suporte “TORRE I”.....	87
6.3.1.3 Pontos de medição nos domínios de investigação	88
6.3.2 Áreas críticas e de grande circulação de pessoas	91
6.3.3 Direção de máxima radiação	93
6.4 Coleta de Dados.....	94
6.5 Considerações Finais	96
7 RESULTADOS	98
7.1 Análise no “Ponto 1”	99
7.1.1 Medições Diretas	99
7.1.1.1 Exposição simultânea a campos de múltiplas frequências.....	100
7.2 Análise no “Ponto 2”	101
7.2.1 Medições Diretas	101

7.2.1.1 Exposição simultânea a campos de múltiplas frequências.....	102
7.3 Análise no “Ponto 3”	103
7.3.1 <i>Medições Diretas</i>	103
7.3.1.1 Exposição simultânea a campos de múltiplas frequências.....	104
7.4 Análise no “Ponto 4”	105
7.4.1 <i>Medições Diretas</i>	105
7.4.1.1 Exposição simultânea a campos de múltiplas frequências.....	106
7.5 Análise no “Ponto 5”	107
7.5.1 <i>Medições Diretas</i>	107
7.5.1.1 Exposição simultânea a campos de múltiplas frequências.....	108
7.6 Análise no “Ponto 6”	109
7.6.1 <i>Medições Diretas</i>	109
7.6.1.1 Exposição simultânea a campos de múltiplas frequências.....	110
7.7 Análise no “Ponto 7”	111
7.7.1 <i>Medições Diretas</i>	111
7.7.1.1 Exposição simultânea a campos de múltiplas frequências.....	112
7.8 Análise no “Ponto 8”	113
7.8.1 <i>Medições Diretas</i>	113
7.8.1.1 Exposição simultânea a campos de múltiplas frequências.....	114
7.9 Análise no “Ponto 9”	115
7.9.1 <i>Medições Diretas</i>	115
7.9.1.1 Exposição simultânea a campos de múltiplas frequências.....	116
7.10 Análise no “Ponto 10”	117
7.10.1 <i>Medições Diretas</i>	117
7.10.1.1 Exposição simultânea a campos de múltiplas frequências.....	118
7.11 Análise no “Ponto 11”	119
7.11.1 <i>Medições Diretas</i>	119
7.11.1.1 Exposição simultânea a campos de múltiplas frequências.....	120
7.12 Análise no “Ponto 12”	121
7.12.1 <i>Medições Diretas</i>	121
7.12.1.1 Exposição simultânea a campos de múltiplas frequências.....	122
7.13 Análise no “Ponto 13”	123
7.13.1 <i>Medições Diretas</i>	123
7.13.1.1 Exposição simultânea a campos de múltiplas frequências.....	124
7.14 Análise no “Ponto 14”	125
7.14.1 <i>Medições Diretas</i>	125
7.14.1.1 Exposição simultânea a campos de múltiplas frequências.....	126
7.15 Análise no “Ponto 15”	127
7.15.1 <i>Medições Diretas</i>	127
7.15.1.1 Exposição simultânea a campos de múltiplas frequências.....	128
7.16 Análise no “Ponto 16”	129
7.16.1 <i>Medições Diretas</i>	129
7.16.1.1 Exposição simultânea a campos de múltiplas frequências.....	130
7.17 Análise no “Ponto 17”	131
7.17.1 <i>Medições Diretas</i>	131
7.17.1.1 Exposição simultânea a campos de múltiplas frequências.....	132
7.18 Considerações Finais	133
 8 DISCUSSÃO.....	 134
8.1 Quanto às regiões ADB	134

8.2 Quanto às medições diretas	135
8.2.1 <i>Contribuição das estações aos níveis de exposição</i>	135
8.2.2 <i>Quociente de Exposição Total (QET).....</i>	137
9 CONCLUSÃO	138
10 REFERÊNCIAS	140

1 INTRODUÇÃO

1.1 Introdução

Os avanços da tecnologia no setor das telecomunicações oferecem maior conforto para a população, facilitando a comunicação e o acesso a informações. Por outro lado, tais mudanças não podem ser consideradas, de forma superficial, um processo totalmente positivo, levando em consideração que, quanto maior o padrão tecnológico de uma sociedade, maior será o nível de poluição: seja do ar, da água e do solo; visual e sonora; aeroespacial; eletromagnética [1].

Durante o século vinte, a indústria das telecomunicações teve um grande progresso. Porém, acarretou no aumento de emissores de radiação empregados em diversas redes de infraestrutura de telecomunicações. A radiodifusão, a qual compreende os serviços de radiodifusão sonora (rádio) e radiodifusão de sons e imagens (televisão) [2], faz uso de antenas fixas, as quais recebem e transmitem informações através de sinais de radiofrequência (RF), chamadas de estações transmissoras de radiocomunicação.

Decorrente dessa grande evolução, a quantidade de estações transmissoras vem aumentando consideravelmente e estão se aproximando, cada vez mais, de regiões altamente povoadas, principalmente nos centros urbanos. Essa aproximação faz com que a população fique mais exposta à radiação não ionizante (RNI), que pela definição da Comissão Internacional de Proteção Contra Radiação Não-Ionizante (ICNIRP), corresponde às radiações que ocupam frequências inferiores a 300 GHz e que não têm energia suficiente para ionizar a matéria [3]. A faixa do espectro citada engloba praticamente todos os serviços de radiocomunicação de utilização pública e privada como: serviço móvel celular, radiodifusão, transmissão via satélite e serviços multimídia.

O aumento da exposição humana a esse tipo de radiação ressalta as dúvidas sobre seus efeitos na saúde, principalmente por se tratar de uma emissão contínua na população. A comunidade científica mundial e as autoridades responsáveis têm-se dedicado ao desenvolvimento de estudos sobre os possíveis efeitos negativos à saúde oriundos da exposição às radiações emitidas por fontes de RNI, de forma a conciliar as demandas públicas, as leis restritivas das autoridades locais e ao

mesmo tempo garantir a qualidade dos serviços das indústrias de telecomunicações [4].

A Organização Mundial da Saúde (OMS), a ICNIRP, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), International Electrotechnical Commission (IEC) e International Telecommunications Union (ITU) são algumas entidades que desenvolvem pesquisas para analisar os efeitos que as radiações podem causar nos organismos biológicos, a fim de estipular limites de exposição e criar as recomendações que são base para a instalação e fiscalização dos serviços de telecomunicações [4].

Até meados da década de 1990, no Brasil, ainda não tinha estabelecido nenhuma regulamentação que limitasse a exposição à RNI. Até esse período era estabelecido, pelo Ministério do Trabalho, somente algumas normas de padrões de segurança para pessoas, que no exercício de sua profissão, ficavam expostas à radiação. Em julho de 1999, o Conselho Diretor da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), resolveu adotar como referência provisória os limites propostos pela ICNIRP, de modo a limitar a exposição humana a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos, na faixa de radiofrequências (CEMRF) [5].

No Brasil, atualmente, os limites da exposição aos CEMRFs são fiscalizados pela ANATEL, através da Resolução nº 700, de 28 de setembro de 2018 e pela Lei Federal nº 11.934, de 05 de maio de 2009, adotando os parâmetros descritos pela ICNIRP [6].

1.2 Motivação

A International Agency for Research on Cancer (IARC) da OMS fez um anúncio em 2011, classificando os CEMRF como possivelmente cancerígenos para humanos [7]. Diante das dúvidas que a ciência ainda não sanou sobre eventuais riscos à saúde humana e a inevitável exposição a essas radiações, acaba fazendo com que o estudo nessa área seja de grande relevância, já que, se trata de uma sociedade cada vez mais dependente dessa tecnologia.

No Brasil, segundo a ANATEL, existem mais de 32 mil canais de radiodifusão registrados, incluindo canais de rádios (AM e FM) e canais de televisão. Desse total, 43 estão no município de Uberlândia, sendo que 18 deles possuem suas antenas de transmissão instaladas no bairro Umuarama, próximas ao campus Umuarama da

Universidade Federal de Uberlândia (UFU), bem como, próximas de hospitais e clínicas vinculadas a UFU [8].

Efetuar medições dos níveis de sinais gerados pelos sistemas de radiodifusão na cidade de Uberlândia - MG, enquadrando os reais valores emitidos aos possíveis riscos à saúde humana, de acordo com as normas vigentes é, portanto, a contribuição deste trabalho de pesquisa para as instituições envolvidas, para os trabalhadores, para as pessoas expostas próximas das fontes emissoras de RNI, e para a sociedade em geral.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo avaliar os riscos da exposição humana às RNIs emitidas pelos serviços de radiodifusão no bairro Umuarama da cidade de Uberlândia – MG, por meio da medição da intensidade dos campos elétricos. Será realizado um estudo e verificação dos resultados obtidos das medições a fim de analisar se há cumprimento da Resolução nº 700, de 28 de setembro de 2018 nas áreas específicas.

1.3.2 Objetivos específicos

A seguir são mostrados os objetivos específicos que devem ser realizados para se chegar ao objetivo geral. São eles:

- estudo das fundamentações teóricas que envolvem a emissão de RNI e os mecanismos de interação com o corpo humano;
- avaliar os principais efeitos que a radiação emitida, pelos serviços de radiodifusão, pode causar no organismo humano;
- estudar as principais recomendações utilizadas a nível mundial;
- realizar um estudo teórico da Resolução nº 700, de 28 de setembro de 2018, publicada pela ANATEL;
- identificar a localização das principais fontes emissoras de radiação não ionizante no bairro Umuarama;

- realizar a medição direta da intensidade de campo elétrico emitida pelas estações transmissoras de radiodifusão;
- comparar os valores obtidos, por meio das medições diretas, com os valores limites estabelecidos pela ANATEL.

1.4 Estrutura deste Trabalho

A estrutura deste trabalho foi dividida em dez capítulos, com os respectivos títulos:

1. Introdução (este capítulo);
2. Fundamentos Teóricos da Radiação;
3. Efeitos Biológicos da Radiação por Radiofrequência;
4. Normas e Políticas de Proteção Contra Radiação Não Ionizante;
5. Resolução nº 700, de 28 de setembro de 2018;
6. Metodologia;
7. Resultados;
8. Discussão;
9. Conclusão;
10. Referências.

O Capítulo 1, Introdução, define o assunto abordado nesse trabalho, a motivação pelo qual este foi realizado e os objetivos pretendidos de forma geral e específica. Além disso, ele apresenta a estrutura na qual este trabalho foi constituído.

O Capítulo 2, Fundamentos Teóricos da Radiação, tem como objetivo mostrar as definições e os principais conceitos que envolvem a radiação. São apresentadas as características físicas da radiação não ionizante e os principais mecanismos de interação da RNI com o corpo humano. Por fim, são expostas as dosimetrias utilizadas para o estudo e quantificação das RNIs.

O Capítulo 3, Efeitos Biológicos da Radiação por Radiofrequência, define o que são efeitos biológicos no âmbito das RNIs e mostra os principais efeitos que podem ser adversos à saúde. Além disso, esse capítulo expõe as pesquisas mais recentes, as quais utilizam diferentes modelos de estudos (*in vitro*, *in vivo* e epidemiológicos), e, por fim, os resultados alcançados por essas pesquisas.

O Capítulo 4, Normas e Políticas de Proteção Contra Radiação Não Ionizante, apresenta ao leitor a história do surgimento dos primeiros estudos e diretrizes relacionados à exposição à RNI. Aborda as principais recomendações reconhecidas a nível mundial e que são utilizadas como base para a criação das normas nacionais. Define o princípio da precaução e mostra os países que empregam limites mais restritos baseados nesse princípio. Por fim, é apresentado as principais resoluções e leis que definem os limites de exposição à RNI no Brasil.

O Capítulo 5, Resolução nº 700, de 28 de setembro de 2018, apresenta os principais pontos de interesse desta resolução, para este trabalho, de modo a conduzir as medições e as análises dos valores mensurados.

O Capítulo 6, Metodologia, orienta o leitor sobre as etapas para a conclusão do objetivo geral deste trabalho.

O Capítulo 7, Resultados, apresenta os resultados obtidos na coleta de dados por meio de gráficos e tabelas.

O Capítulo 8, Discussão, contém a análise dos resultados obtidos de acordo com os fundamentos teóricos. Além disso, verifica a conformidade das estações analisadas de acordo com a norma vigente no Brasil.

O Capítulo 9, Conclusão, aborda as principais conclusões obtidas durante a realização deste estudo.

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DA RADIAÇÃO

A radiação é um fenômeno físico definido como energia em movimento. Em outras palavras, uma energia que viaja de um ponto ao outro no espaço, seja através do vácuo ou de um meio material qualquer, propagando-se por meio de ondas eletromagnéticas ou por meio de partículas [9].

A radiação eletromagnética é a energia resultante da composição de um campo elétrico com um campo magnético na forma de uma onda eletromagnética. As radiações eletromagnéticas são caracterizadas por seu comprimento de onda ou sua frequência, as quais determinam as diferentes faixas do espectro eletromagnético. Já a energia que viaja através de partículas é chamada de radiação corpuscular [10].

2.1 Espectro Eletromagnético

O número de oscilações dos campos elétricos e magnéticos, por segundo, define o que é chamado de “frequência”, sendo sua unidade o hertz (Hz). A frequência também pode ser referida pelo comprimento de onda. Como as ondas eletromagnéticas se movem em uma taxa constante à velocidade da luz, o comprimento de onda e a frequência estão inversamente relacionados [11]. Quanto maior o comprimento de onda, menor a frequência e vice-versa. Matematicamente:

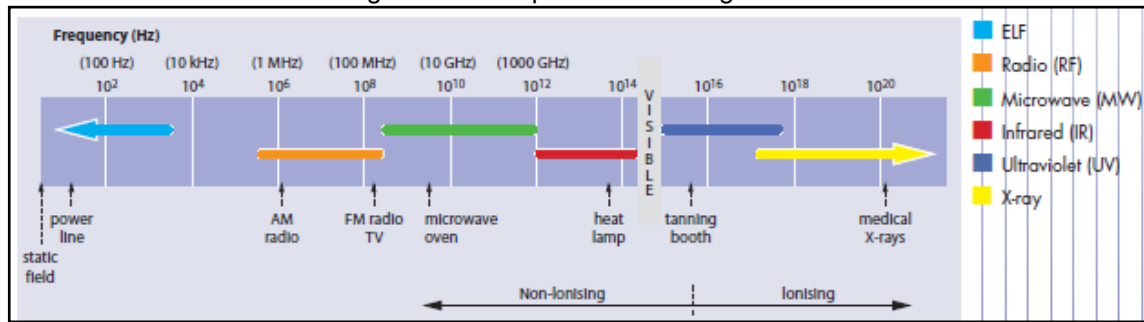
$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.1)$$

em que:

- λ é o comprimento de onda, em metros.
- c é a velocidade da luz (aproximadamente 3×10^8 metros/segundo).
- f é a frequência, em kHz.

Dessa forma, o espectro eletromagnético, apresentado na Figura 1, pode ser definido como o intervalo completo de todas as frequências pelas quais são emitidas as radiações eletromagnéticas [12].

Figura 1 – O Espectro Eletromagnético.



Fonte: *Health and Electromagnetic Fields* [10].

A Figura 1 mostra que o espectro eletromagnético é dividido em dois grupos principais: radiações ionizantes e radiações não ionizantes (RNI). A radiação ionizante inclui as radiações alfa, beta, gama, radiações de nêutrons e raios-X. É chamada de radiação “ionizante”, pois contém energia suficiente para ionizar átomos e moléculas, ou seja, podem alterar o estado físico de um átomo e causar a perda de elétrons, tornando-os eletricamente carregados. Já, a radiação não ionizante é aquela que não produz ionização, ou seja, não possui energia suficiente para “arrancar” elétrons dos átomos do meio pelo qual se propagam [13].

As ondas eletromagnéticas possuem diferentes características de transmissão, as quais estão relacionadas com suas frequências. Sendo assim, cada uma dessas faixas de frequências é melhor utilizada de acordo com uma determinada aplicação. Como podem ser observados na Figura 2, os sistemas de radiodifusão (AM, FM e TV), ocupam uma subdivisão do espectro dentro das faixas de radiofrequência e micro-ondas, e estas estão incluídas dentro da faixa de frequência das RNIs.

Figura 2 – Divisões do espectro eletromagnético de acordo com as áreas de aplicabilidade.



Fonte: *Você sabe o que é Radiação Não Ionizante? Saiba quais são seus riscos.* [14]

2.2 Características Físicas

Os comportamentos dos CEMRF, seus acoplamentos e interações com sistemas biológicos são muito diferentes nas diferentes regiões de campo eletromagnético, definidas como regiões de campo próximo e regiões de campo distante [15]. Além disso, as configurações de operação da antena, que nesse caso é tratada como fonte de radiação, são extremamente importantes para a análise de exposição à CEMRF. Sendo assim, nessa seção são tratados os principais parâmetros utilizados para a avaliação da exposição aos CEMRF.

2.2.1 Regiões de campo eletromagnético

A onda eletromagnética tem suas características alteradas de acordo com a região do espaço em que ela se propaga, fazendo com que seja necessário o uso de diferentes equações que leve em consideração a distância em que as ondas se encontram da fonte geradora. As zonas representadas por essas equações são conhecidas como regiões de campo eletromagnético [16].

As principais recomendações, como a recomendação do ICNIRP e do IEEE, que tratam dos limites à exposição aos campos eletromagnéticos, consideram três zonas, sendo elas: região de campo próximo reativo, região de campo próximo radiante e região de campo distante.

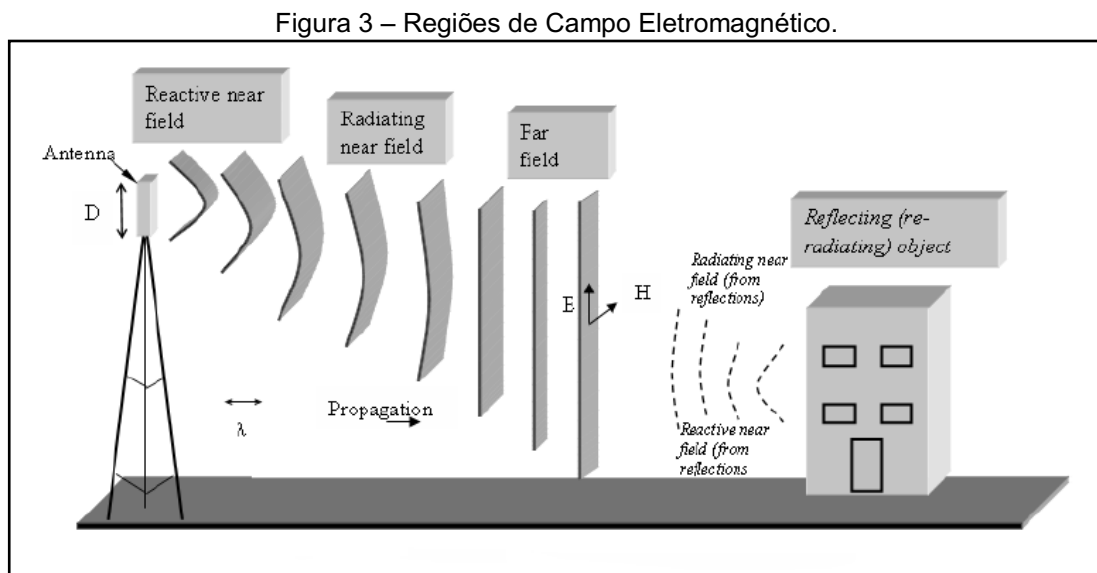
A região de campo próximo reativo corresponde a porção da região do campo próximo que está imediatamente ao redor da antena e onde o campo reativo predomina. Presume-se que esta região se estenda a uma distância de um comprimento de onda da antena. Normalmente quem tem acesso a essa área são trabalhadores que instalam ou dão manutenção nas antenas [17].

A região de campo próximo radiante é conhecida também como região de Fresnel, que é a região entre o campo próximo reativo e a região de campo distante. Embora a radiação não esteja se propagando como uma onda plana, as componentes de campo elétrico e magnético são aproximadamente perpendiculares uma a outra, além disso, a relação E/H pode ser considerada constante (e quase igual a Z_0 – a impedância intrínseca no espaço livre).

A região de campo distante é onde a onda eletromagnética se propaga como onda plana, ou seja, os vetores de intensidade de campo elétrico (E) e campo

magnético (H) localizam-se em um plano perpendicular à direção de propagação da onda e a intensidade de campo magnético multiplicada pela impedância do espaço ($Z_0 = 120\pi \Omega$) é igual à intensidade de campo elétrico [16].

As regiões citadas acima são mostradas na, Figura 3, onde, o comprimento, D , da antena é supostamente grande comparado com o comprimento de onda λ . As propriedades principais do campo eletromagnético em diferentes regiões de campo são apresentadas na Tabela 1.



Fonte: *Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100 kHz-300 GHz)* [15].

Tabela 1 – Características das regiões de campo eletromagnético.

	Campo Próximo Reativo	Campo Próximo Radiante	Campo Distante
Limite Inferior	0	λ	$Max(3\lambda; 2D^2/\lambda)$
Limite Superior	λ	$Max(3\lambda; 2D^2/\lambda)$	∞
$E \perp H$	Não	Aproximadamente	Sim
$Z = E/H$	$\neq Z_0$	$\approx Z_0$	$= Z_0$

Fonte: Adaptado de ANATEL, Ato nº 458, de 24 de janeiro de 2019 [18].

2.2.2 Densidade de potência (S)

Os campos eletromagnéticos podem ser quantificados em termos da intensidade do campo elétrico, expresso em volts por metro [V/m], pela intensidade

do campo magnético, expresso em Âmpere por metro $[A/m]$, ou em termos da densidade de fluxo de potência (S), expresso em unidades de watt por metro quadrado $[W/m^2]$.

Uma onda eletromagnética, ao se propagar, transporta energia que é transferida para os meios receptores à medida que se afasta da fonte transmissora. A taxa de fluxo de energia de uma onda eletromagnética é descrita pelo vetor de Poynting (S), calculado a partir do produto vetorial [19]:

$$\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H} [W/m^2] \quad (2.2)$$

A direção de S é a mesma direção de propagação da onda eletromagnética. Sua unidade no SI é $[W/m^2]$.

No caso da propagação em região de campo distante onde a onda é plana, E é perpendicular a H , portanto, a densidade de potência é predominantemente real

$$S = EH [W/m^2] \quad (2.3)$$

em que E é o valor da intensidade (módulo) de campo elétrico e H é o valor da intensidade (módulo) de campo magnético. A relação entre campo elétrico e campo magnético pode ser dada por:

$$H = \frac{E}{\eta} [A/m] \quad (2.4)$$

em que η é a impedância intrínseca do meio, dada em ohms. No espaço livre, considera-se, $\eta = \eta_0 = 120\pi \cong 377 \Omega$.

Substituindo a Equação 2.4 na Equação 2.3, e considerando $\eta = \eta_0$, tem-se que:

$$S = \frac{E^2}{120\pi} = H^2 120\pi [W/m^2] \quad (2.5)$$

A densidade de energia incidente, dada em Joules por metro quadrado $[J/m^2]$ se relaciona com a densidade de potência por meio da integral no tempo:

$$H_{inc} = \int_{t_1}^{t_2} S(t)dt \quad (2.6)$$

2.2.3 Antenas

A antena é um elemento por meio do qual se recebe ou transmite uma onda eletromagnética. No contexto desse trabalho, a antena será tratada como a fonte de RF, uma vez que a origem da onda eletromagnética será a localização da antena [16].

Para a avaliação da exposição humana à CEMRF é fundamental saber como se dá a distribuição espacial da energia eletromagnética e para isso é necessário saber as características construtivas, de operação e de instalação da antena. Além disso, a dimensão da antena e a distância entre a fonte e o ponto de referência que está sendo avaliado, podem também ser parâmetros importantes para essa análise.

As antenas podem ser classificadas como sendo setoriais (diretivas) ou omnidirecionais de acordo com o seu diagrama de radiação. As antenas que possuem seu diagrama de radiação direcional tem a propriedade de irradiar as ondas eletromagnéticas de maneira mais eficaz em algumas direções do que em outras. Já as antenas que possuem o diagrama de radiação omnidirecional são antenas que tem um padrão de radiação horizontal essencialmente não direcional e o diagrama de radiação vertical é diretivo.

O ganho de uma antena é definido como sendo a concentração de energia eletromagnética em determinadas direções em detrimento de outras. Dessa forma, um dos parâmetros que deve ser conhecido para a análise da exposição à CEMRF é a potência equivalente isotropicamente radiada (EIRP), que representa o produto entre a potência entregue à antena e o ganho em determinada direção. Se a direção não for especificada, fica subentendido que se está referindo à EIRP máxima, isto é, na direção de máximo ganho da antena. Logo, a densidade de potência na direção de máximo ganho de uma antena, em um ambiente de espaço livre e em campo distante, pode ser escrita como:

$$S = \frac{P_t G_t}{4\pi r^2} = \frac{EIRP}{4\pi r^2} [W/m^2] \quad (2.7)$$

em que P_t é a potência de transmissão, G_t é o ganho da antena transmissora e r é a distância até o transmissor.

Além do ganho e da EIRP, outro parâmetro relevante em relação à operação das antenas é o *tilt* da antena definido como sendo a inclinação da mesma em relação a um eixo e é utilizado para concentrar a energia emitida na direção de interesse [20].

2.2.4 Mecanismos de propagação

Entender os mecanismos de propagação e seus efeitos se faz de extrema importância na análise de exposição aos CEMRF, pois eles determinam a atenuação de propagação no enlace e, conseqüentemente, a potência recebida em um determinado receptor [21]. De acordo com Rappaport, a reflexão, a difração e o espalhamento são os principais mecanismos que influenciam na propagação de ondas eletromagnéticas, ou seja, influencia no valor médio do sinal recebido [11]. Esses mecanismos de propagação são brevemente descritos a seguir.

2.2.4.1 Reflexão

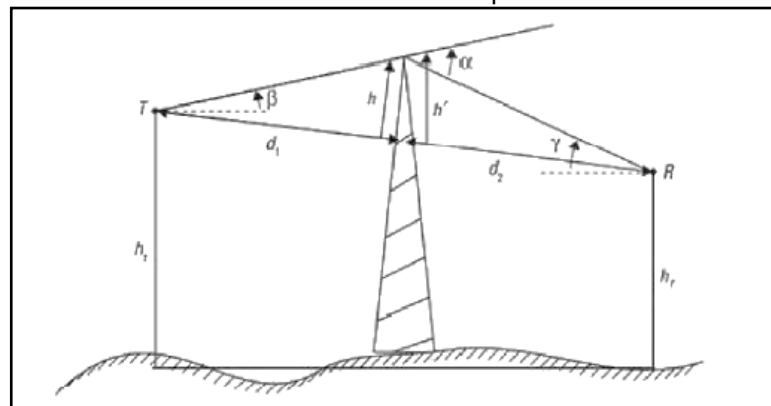
Quando uma onda de rádio propagando em um meio colide com um objeto que possui diferentes propriedades dielétricas, ocorre o fenômeno da reflexão. Uma parte da onda irá ser refletida e a outra parte refratada. Se o plano em que a onda está se propagando é um dielétrico perfeito, parte da energia incidente é absorvida e a outra parte sofre reflexão, sem haver perda de energia na absorção. Se o meio onde a onda se colidiu for um condutor perfeito, toda a energia incidente é refletida sem perdas. As intensidades dos campos elétricos gerados por essas parcelas de onda refletida e transmitida podem ser associados à onda original através da utilização do coeficiente de reflexão de Fresnel Γ . O coeficiente de reflexão é uma função das propriedades materiais, e geralmente depende da polarização da onda, do ângulo de incidência e da frequência de propagação [11].

2.2.4.2 Difração

O fenômeno da difração acontece quando, entre o transmissor e o receptor, há um caminho obstruído, surgindo assim ondas secundárias provenientes dessa superfície. A difração permite que ondas de rádio se propaguem em torno da superfície curva da terra e através de obstruções. Embora a intensidade de campo decresça rapidamente quando o receptor está em uma região obstruída, a intensidade do campo ainda é suficiente para gerar um sinal útil [21].

Na Figura 4 é possível observar que a onda que se propaga do transmissor (T) ao receptor (R), por cima do obstáculo, percorre um caminho maior do que a propagada em caminho direto da linha de visão.

Figura 4 – Representação do efeito de difração causado por uma obstrução entre o elemento transmissor e o receptor.



Fonte: *Wireless Communications Principles and Practice* [11].

2.2.4.3 Espalhamento

Quando uma onda de rádio colide com uma superfície de um objeto com dimensões menores, se comparados ao comprimento de onda da onda propagada, pode ocorrer o fenômeno do espalhamento. Dessa forma, o sinal recebido frequentemente é mais forte que o previsto pelos modelos de reflexão e difração, já que essa dispersão faz com que o sinal se espalhe em todas as direções sendo absorvidos por outros receptores. Objetos como postes de iluminação, árvores e prédios tendem a espalhar o sinal, fornecendo assim energia de rádio adicional em um receptor [11].

2.3 Mecanismos de Interação com Sistemas Biológicos

Os campos eletromagnéticos interagem com sistemas biológicos através de mecanismos diretos e indiretos. Uma interação direta produz efeitos nos organismos expostos diretamente da exposição ao campo eletromagnético. Uma interação indireta é medida pela presença de outros corpos no campo eletromagnético e ocorre como resultado de uma interação (geralmente contato físico) entre o corpo biológico e outro objeto, como um automóvel, cerca ou até mesmo outro corpo biológico [22, 23].

O conhecimento dos mecanismos específicos responsáveis por um determinado efeito biológico observado é de interesse científico, pois, além de facilitarem a compreensão e a análise das relações entre vários efeitos biológicos, eles também servem como guias para comparação e extrapolação de resultados experimentais de tecido para tecido, de tecido para animal, de animal para animal, de animal para humano e de humano para humano [24].

Quando os CEMRFs atingem um corpo biológico, parte da sua energia é refletida e parte dela é transmitida para o corpo, induzindo campos elétricos e magnéticos nos sistemas biológicos. Os campos induzidos dentro do corpo interagem com células e tecidos de várias maneiras, dependendo da frequência, da forma de onda e intensidade dos campos induzidos, bem como, das propriedades físicas e dimensões do corpo [25].

Os campos elétricos induzidos no corpo exercem uma força sobre as moléculas polarizadas (principalmente moléculas de água) e sobre as partículas carregadas, como elétrons e íons. A energia dos CEMRFs é convertida em energia cinética fazendo com que essas moléculas e partículas se movam como uma corrente, dessa forma, a energia cinética é convertida em calor. Esse calor pode afetar a saúde de várias maneiras. Caso o campo seja forte e breve o suficiente, ele pode exercer forças elétricas estimulando os nervos, causando a ruptura de membranas biológicas [25].

Do ponto de vista do risco à saúde, é de interesse saber o quanto a energia dos CEMRF é absorvida pelo tecido biológico, pois, isso é responsável pelos efeitos de aquecimento descritos acima. Essa quantificação é realizada por meio de unidades dosimétricas, que são detalhas na próxima seção.

2.4 Dosimetria

A dosimetria é um termo para representar a “avaliação da dose”, ou seja, em relação à radiação, uma grandeza dosimétrica está associada à quantidade de radiação que um material foi submetido ou absorveu [15].

Em reconhecimento aos diferentes efeitos biológicos da exposição a altas frequências e, para fins de avaliação da exposição humana ao CEMRF, consideram-se, para estudos, duas faixas de frequências: de 100 kHz a 6 GHz e de 6 GHz a 300 GHz. Essa divisão acontece, pois, abaixo de 6 GHz o efeito biológico descrito é o aquecimento dos tecidos biológicos, já acima de 6 GHz, o efeito biológico descrito é o aquecimento superficial dos tecidos biológicos.

Dessa forma, a unidade dosimétrica utilizada para avaliação e correlação com os efeitos biológicos descritos, para frequências abaixo de 6 GHz é a “taxa de absorção específica” (SAR), que é a energia absorvida por unidade de massa, dada em watts por quilograma [W/kg]. Por outro lado, acima de 6 GHz, onde o campo é absorvido mais superficialmente, ou seja, a profundidade é menos relevante, utiliza-se como unidade dosimétrica a “densidade de potência transmitida” (S_{tr}), que representa a potência absorvida por unidade de área, dada em watts por metro quadrado [W/m^2] [25].

No caso de breves exposições, em que não há tempo suficiente para ocorrer a difusão do calor, é utilizado como unidade dosimétrica a “absorção específica” (SA), dada em [J/kg] e a “densidade de energia transmitida” (H_{tr}), dada em [J/m^2], para CEM abaixo e acima de 6 GHz, respectivamente [25].

2.4.1 Taxa de Absorção Específica (SAR)

A Taxa de Absorção Específica (SAR) é definida como sendo a derivada no tempo do aumento de energia ∂W , absorvida ou dissipada em um elemento de massa ∂m contida em um elemento de volume ∂V , cuja massa específica é ρ [26]. No SI, a unidade de SAR é watts por quilograma [W/kg]. Analiticamente, pode ser expressa por:

$$SAR = \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial W}{\partial m} = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial W}{\rho \partial V} \right) \quad (2.8)$$

A SAR também pode ser relacionada com o campo elétrico em um ponto no corpo, por:

$$SAR = \frac{\sigma |E|^2}{\rho'} \quad (2.9)$$

em que $|E|$ é o módulo do valor eficaz do campo elétrico em volts por metro $[V/m]$, σ é a condutividade do tecido sob análise em Siemens por metro (S/m) e ρ' é a densidade de massa específica do tecido em quilograma por metros cúbicos $[Kg/m^3]$.

A SAR, ainda, está correlacionada com a elevação da temperatura do tecido. Sob a condição adiabática, onde não ocorre difusão de calor, a SAR e a elevação de temperatura estão diretamente relacionadas, analiticamente:

$$SAR = C \frac{dT}{dt} \quad (2.10)$$

em que C é o calor específico do tecido em joules por quilograma graus Celsius $[J/Kg \text{ } ^\circ C]$, T é a temperatura em graus Celsius $[^\circ C]$ e t é a duração da exposição em segundos (s).

Nas diretrizes de limitação à exposição aos CEMRF, duas métricas são utilizadas para a SAR: a SAR média do corpo inteiro, que é a energia total absorvida por um corpo dividido por sua massa, e, a SAR localizada que é a energia absorvida por uma parte do corpo.

2.4.1.1 SAR média de corpo inteiro

Apesar de não ter evidências claras do limiar do efeito adverso à saúde, o aumento da temperatura do núcleo do corpo devido à exposição aos CEMRF, que resulta em danos é visto somente quando a temperatura excede, em muito, o aumento de $1 \text{ } ^\circ C$, valor definido como limiar de efeito adverso a saúde pela

Association Advancing Occupational and Environmental Health (ACGIH) em 2017 [27].

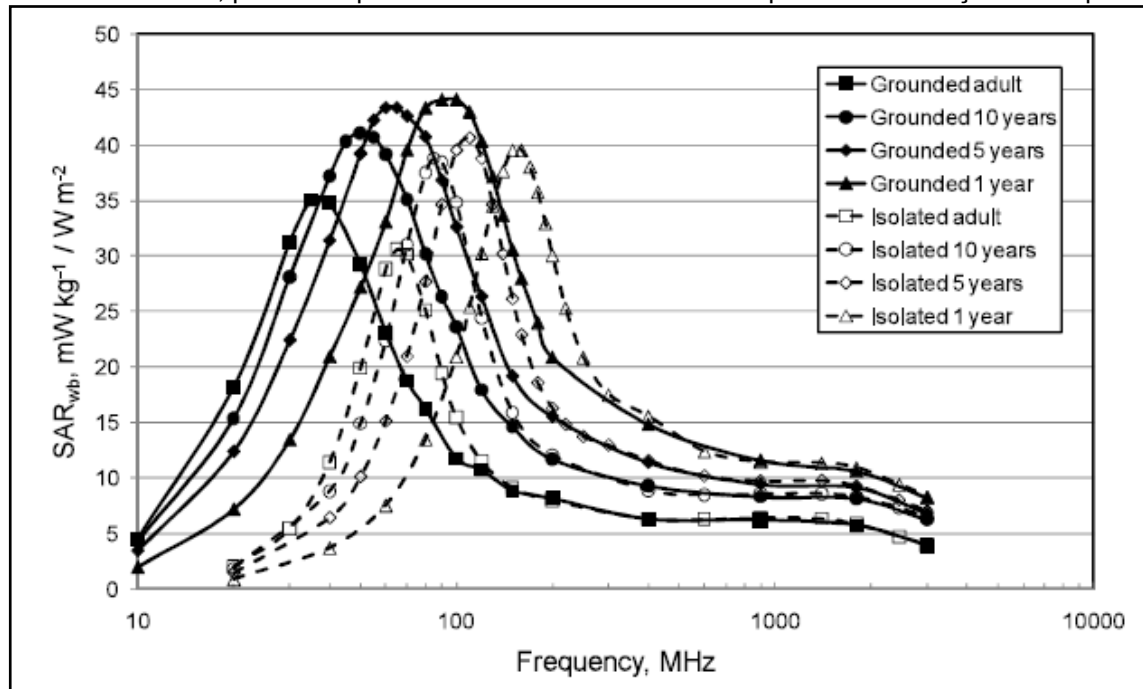
É importante notar que, embora o aumento da temperatura em mais de 1 °C possa resultar em alterações fisiológicas significativas, isso pode fazer parte da resposta do sistema termorregulador do corpo dentro da faixa fisiológica normal, e assim, não representa em si um efeito adverso para a saúde.

A partir das pesquisas experimentais e modelagens teóricas, em uma variedade de espécies, foi previsto que exposições que resultam em uma SAR média de corpo inteiro de aproximadamente 6 W/kg , dentro da faixa de 100 kHz a 6 GHz, durante um intervalo de pelo menos uma hora em temperatura ambiente (28 °C), podem induzir à um aumento da temperatura do núcleo do corpo a 1 °C em adultos humanos. É necessário uma SAR substancialmente mais alta para atingir esse aumento de temperatura em crianças devido à sua dissipação de calor mais eficiente. No entanto, devido aos métodos limitados de medição disponíveis, a ICNIRP e o IEEE adotaram uma posição conservadora, visto que, em geral, os estudos demonstraram que a exposição, por até 30 minutos, sob condições em que a SAR de corpo inteiro manteve-se menor do que 4 W/Kg causou um aumento inferior a 1 °C na temperatura do núcleo do corpo. Como comparação, um adulto humano gera um total de aproximadamente 1 W/Kg em repouso, quase 2 W/Kg em pé e 12 W/Kg durante atividades físicas como a corrida [26].

Apesar de a SAR ser a dosimetria que permite avaliar da melhor forma os efeitos da radiação eletromagnética, na prática não há como medi-la diretamente em um indivíduo. Para isso, são utilizadas técnicas computacionais que estimam o valor de SAR por meio de maquetes artificiais que imitam o corpo humano ou somente uma parte dele.

A Figura 5 mostra o resultado de uma simulação realizada com uma maquete virtual conhecida como NORMAN, desenvolvida pela Health Protection Agency (HPA), no Reino Unido. A NORMAN é uma maquete virtual de um corpo humano masculino em tamanho real, na qual podem ser alteradas suas dimensões. O modelo foi derivado de uma série de imagens contínuas de ressonância magnética parcial de um único indivíduo [28].

Figura 5 - Variação da SAR média do corpo inteiro, na maquete virtual de um adulto do sexo masculino NORMAN, e dimensionado para um modelo de uma criança de três idades diferentes, aterrados e isolados, produzida por uma unidade de densidade de potência em função da frequência.



Fonte: *Assessing personal exposures to environmental radiofrequency electromagnetic fields* [29].

Na Figura 5 pode-se perceber uma forte variação da SAR com a frequência, e onde há a SAR máxima, tem-se o valor da frequência de ressonância. A frequência de ressonância é um parâmetro que depende de vários elementos, como características do corpo e as condições de aterramento e fica aproximadamente entre as frequências de 30 e 200 MHz. Portanto, os sinais de VHF estão dentro da faixa de ressonância. Nas frequências acima de 200 MHz, se o corpo está em contato com o solo ou isolado, não resulta em muita variação de SAR, mas o tamanho do corpo é um fator importante.

Pode-se notar que crianças têm maiores SARs que os adultos, ou seja, absorvem mais energia por unidade de massa corporal, para frequências acima da frequência de ressonância. Acima da frequência de 400 MHz, uma criança de 10 anos tem cerca de 30% mais de SAR do que um adulto já uma criança de 1 ano de idade tem cerca de duas vezes o SAR adulto.

Entre 400 MHz e 2 GHz, a SAR é consideravelmente constante em função da frequência, principalmente em adultos. A partir de 2 GHz o SAR tem uma redução, devido a menor capacidade de penetração das ondas de RF, ou seja, a absorção de energia pelos tecidos do corpo humano se torna menor. Na Figura 6, é possível

notar como a absorção das ondas de RF fica confinada à superfície do corpo humano com o aumento da frequência.

Figura 6 - Penetração de ondas de rádio em tecidos musculares e adiposos em frequências usadas para serviços de telecomunicações, medidas por medidores de exposição pessoal.

Frequency, MHz	Muscle		Fat	
	Conductivity, $S m^{-1}$	Skin depth, mm	Conductivity, $S m^{-1}$	Skin depth, mm
400	0.80	28	0.041	124
900	0.94	17	0.051	74
1800	1.34	10	0.078	42
2450	1.74	7.7	0.105	31
5200	4.27	3.3	0.255	14

Fonte: *Assessing personal exposures to environmental radiofrequency electromagnetic fields* [29].

2.4.1.2 SAR média local

A exposição localizada acontece quando a fonte está localizada muito próxima do corpo ou devido ao contato com uma região altamente concentrada de energia. Ela se caracteriza por uma condição de exposição na qual uma porção limitada do corpo está sujeita à maior parte da energia incidente, sendo que a temperatura local deve, portanto, ser limitada e não alterar a temperatura do corpo. Geralmente o aumento máximo da temperatura local se concentra na superfície do corpo [24].

O aquecimento localizado excessivo pode causar dor e danos térmicos. Existe uma extensa literatura que aborda sobre o contato da pele com temperaturas abaixo de 42 °C durante períodos prolongados não causam dor ou danos às células. Porém, há também estudos avaliando limiares para efeitos adversos, mostrando que o dano pode ocorrer em temperaturas de 41 °C a 43 °C, com probabilidade do dano se agravar em função do tempo a tais temperaturas. Dessa forma, o ICNIRP e o IEEE tratam a exposição aos CEMRF que resulta em temperaturas locais de 41 °C ou maior, como potencialmente prejudiciais [26].

Como a temperatura corporal varia em função da região do corpo, são tratados separadamente dois conjuntos de tecidos que, com base em sua temperatura sob condições termostáticas, recebem diferentes limiares de efeito adverso à saúde:

- I - Tecido do “Tipo 1”, que tipicamente tem uma temperatura termostática menor: todos os tecidos do braço, antebraço, mão, coxa, perna, pé,

pavilhão auricular e córnea, câmara anterior e íris do olho, epidérmico, dérmico tecido adiposo, muscular e ósseo;

- II - Tecido do “Tipo 2”, que tipicamente apresenta uma temperatura termostática elevada: todos os tecidos da cabeça, olhos, abdómen, costas, tórax e pélvis, excluindo os definidos como tecido do tipo 1.

A temperatura termostática do tecido Tipo 1 varia entre 33 a 36 °C, e a do tecido Tipo 2 entre 38 a 38,5 °C. Estes valores foram usados para definir limiares de efeitos adversos à saúde induzidos pelo calor. Dessa forma, é adotado uma abordagem conservadora tratando os aumentos de temperatura induzidos pelos CEMRF de 5 °C e 2 °C, respectivamente, no tecido tipo 1 e 2, como limiares de efeito adverso a saúde para exposição local [26].

Dentro da faixa de 100 kHz a 6 GHz, é utilizada uma massa de 10 g de forma que a SAR média forneça uma medida apropriada para o aumento de temperatura induzido pelos CEMRF. Essa medida de massa foi utilizada porque, embora inicialmente possa haver heterogeneidade de temperatura induzida pelos CEMRF dentro dessa massa, a difusão de calor distribui rapidamente a energia térmica para um volume muito maior que é bem representado por uma massa cúbica de 10 g.

Como é difícil definir limites de exposição em função da classificação de tecidos “Tipo 1” e “Tipo 2”, duas regiões são estabelecidas: cabeça e tronco; membros. Dessa forma, obteve-se valores de exposição mais altos para membros do que para cabeça e tronco. É necessário um SAR_{10g} de pelo menos 20 W/kg para exceder os limiares de efeitos adversos para a saúde na cabeça e tronco, e 40 W/kg nos membros. Para chegar a esses valores foi utilizado um tempo médio de exposição de 6 minutos.

2.4.2 Absorção Específica (SA)

A Absorção Específica (SA) é definida como sendo o quociente de energia dW , absorvida ou dissipada em um elemento de massa dm , contida em um elemento de volume dV , cuja massa específica é ρ . No SI, a unidade de SA é Joules por quilograma (J/kg). Analiticamente, pode ser expressa por [26]:

$$SA = \frac{dW}{dm} = \frac{dW}{\rho dV} \quad (2.11)$$

A SA também pode ser definida como a integral, no tempo, da taxa de absorção específica (SAR):

$$SA = \int_{t_1}^{t_2} SAR(t) dt \quad (2.12)$$

2.5 Considerações Finais

O propósito deste capítulo foi uma recordação dos principais conceitos envolvendo os campos eletromagnéticos resultantes das radiações não ionizantes emitidos por serviços de radiodifusão.

Em primeiro lugar, foi apresentado o conceito de radiação e as suas formas de propagação, sendo elas, por meio de ondas eletromagnéticas ou partículas. Além disso, foi mostrado que o espectro eletromagnético é dividido em radiações ionizantes e radiações não ionizantes, em que, as frequências usadas para os serviços de radiodifusão fazem parte do grupo de radiações não ionizantes.

Para a avaliação da exposição a CEM é importante entender como se dá a distribuição espacial da onda eletromagnética, para isso foram apresentados alguns conceitos. O primeiro deles foram as regiões de campo eletromagnético, em que a onda se comporta de diferentes maneiras dependendo da distância da fonte emissora. O conceito de densidade de potência é também importante uma vez que a onda eletromagnética ao se propagar transfere energia aos receptores, portanto, a densidade de potência é um dos parâmetros utilizados para determinar a conformidade das estações analisadas. Entender as características de construção, instalação e operação das antenas é fundamental já que as antenas são as fontes de radiofrequências. E, quanto às características físicas, o último conceito apresentado foi sobre os mecanismos de propagação que interferem na potência do sinal recebido, no caso das frequências estudadas neste trabalho, os principais mecanismos de propagação são: reflexão, difração e espalhamento.

Entender os mecanismos de interação com o sistema biológico é muito importante para que se possam fazer comparações e extrapolação de estudos feitos em tecidos para animais ou animais para humanos etc. No caso dos campos

eletromagnéticos, ao atingir um corpo biológico eles induzem campos elétricos e magnéticos dentro do organismo causando um aquecimento nos tecidos. Do ponto de vista do risco a saúde é importante saber o quanto dessa energia é absorvida pelo organismo. Essa quantificação é feita por meio das unidades dosimétricas.

Dessa forma, foram apresentadas neste capítulo as principais unidades dosimétricas utilizadas. No campo de estudo deste trabalho as principais dosimetrias são a taxa de absorção específica (SAR) e a absorção específica (SA) para os casos de breves exposições. A taxa de absorção específica pode ser dividida entre SAR média de corpo inteiro que se refere à exposição de corpo inteiro em que há um aumento da temperatura do núcleo do corpo, e a SAR local que se refere à exposição local, em que somente uma parte do corpo é exposta ocorrendo, assim, um aumento local da temperatura sem interferir no aumento da temperatura do núcleo do corpo.

3 EFEITOS BIOLÓGICOS DA RADIAÇÃO POR RADIOFREQUÊNCIA

Um efeito biológico ocorre quando um estímulo ou uma alteração no meio ambiente gera no organismo uma resposta mensurável. Porém, somente a observação de um efeito biológico, por si só, não é suficiente para considerar a existência de um risco à saúde [30]. Os efeitos adversos à saúde acarretados pela RNI, há décadas vem sendo estudados, e mesmo com a realização de vários estudos sobre os efeitos biológicos nocivos à saúde dos indivíduos expostos aos campos eletromagnéticos, esse tema ainda é bastante controverso e gera muitas discussões [31].

Como foi apresentado no Capítulo 2, em frequências típicas de sistemas de comunicações em radiofrequência, mais especificamente a faixa das radiações não ionizantes de 8,3 kHz até 300 GHz, não produzem ionização. Contudo, a absorção dessa radiação por organismos vivos podem liberar energia suficiente para gerar alguns efeitos biológicos, que podem ser classificados em dois tipos: efeitos térmicos e efeitos não térmicos.

Os efeitos térmicos são decorrentes do aquecimento direto dos tecidos biológicos. Parte da potência da onda incidente é refletida pela pele e a outra parte penetra de forma rápida com a profundidade [32]. Dependendo da frequência a radiação eletromagnética pode ser absorvida por tecidos superficiais ou pode ser absorvida por camadas mais profundas da pele, de modo que o aumento da temperatura não seja percebido pelos sensores térmicos, localizados superficialmente na pele [33]. De modo geral, todos os efeitos resultantes do aumento da temperatura nos tecidos são chamados de efeitos térmicos.

Já os efeitos não térmicos são aqueles causados diretamente pelos campos eletromagnéticos resultantes de processos bioquímicos e eletrofísicos e não por um aumento da temperatura nos tecidos biológicos. Existe uma grande incerteza sobre os efeitos não térmicos e as suas consequências. Para valores abaixo dos estabelecidos ainda não são compreendidos, de acordo com as recomendações, se há a existência de algum perigo em relação a esses efeitos à saúde dos indivíduos expostos [34].

3.1 Estudos Recentes

No intervalo de 30 anos, foram publicados aproximadamente 25 mil estudos sobre os efeitos biológicos relacionados à exposição à radiação não ionizante. Esses estudos visam antecipar e sanar as dúvidas sobre os possíveis efeitos prejudiciais à população, de forma, a combatê-los [35]. Algumas publicações apontam a possibilidade de danos às pessoas expostas aos CEMRF: a IARC, em 2011, classificou os campos eletromagnéticos por radiofrequência como possíveis cancerígenos aos humanos [7]. Por outro lado, a American Cancer Society (ACS) declarou que as evidências não são fortes o suficiente para considerar uma relação de causa e efeito entre as radiações por radiofrequência e o desenvolvimento de câncer [36]. Adicionalmente, o National Toxicology Program (NTP) e a Environmental Protection Agency (EPA), ambas as instituições dos EUA, também não consideram as emissões por radiofrequências como potenciais causas do desenvolvimento de câncer [36, 37].

Os experimentos com células e organismos são as formas mais tradicionais e com maior eficiência, nas ciências biológicas, para analisar as relações de causa e efeito. As pesquisas que abordam os efeitos biológicos da radiação não ionizante em organismos vivos são baseadas em três modelos, sendo eles: *in vitro*, *in vivo* e epidemiológicos [10].

Os modelos *in vitro* permitem aos cientistas isolar as células específicas e estudá-las sem a necessidade de analisar um organismo em sua totalidade, ou seja, são experimentos em um meio menos complexo. Esse modelo tem sido bastante utilizado para analisar as interações do campo eletromagnético não ionizante ao nível de molécula e dos mecanismos bioquímicos que funcionam em níveis celulares. Porém, por serem estudos realizados fora dos organismos vivos, acabam se tornando limitados, já que os efeitos descobertos em nível molecular ou celular não significam automaticamente que eles sejam relevantes para o funcionamento anormal ou tenham consequências para a saúde de todo o organismo [38].

Os modelos *in vivo* utilizam para estudos animais ainda vivos ou seres humanos, desde que sejam respeitados os princípios morais e metodológicos. Os experimentos com radiofrequência são feitos principalmente com mamíferos, mais precisamente pequenos roedores reproduzidos em laboratório, como ratos e camundongos. Porém, apesar dessas espécies terem 70% dos seus genes em

comum com os dos seres humanos, eles são pequenos, logo, a penetração e propagação de RF dentro dos seus corpos se dá de forma diferente comparado aos seres humanos, inclusive para os órgãos sensoriais e o cérebro, que, devido aos ossos muito finos, são pouco protegidos da radiação externa. Outro ponto relevante em relação aos estudos *in vivo* usando ratos e camundongos é que esses animais são de hábitos noturnos e subterrâneos, sendo assim, possuem pouca proteção desenvolvida pela evolução, contra a radiação solar e outros tipos de radiações, o que os tornam mais sensíveis às radiações não ionizantes em relação aos seres humanos. [38]

Os estudos epidemiológicos são aqueles que se limitam a observação de um determinado grupo de indivíduos sem que haja nenhuma intervenção externa a eles. Por, geralmente, as abordagens experimentais utilizando seres humanos serem inviáveis, por princípios morais e metodológicos, os estudos epidemiológicos são muito utilizados [39]. Esse tipo de estudo visa analisar estatisticamente se há relação entre a exposição a um agente ambiental e os possíveis efeitos sobre o estado de saúde dos indivíduos expostos. Para isso são empregados estudos que tentam relacionar variáveis independentes, como o nível de exposição, com determinadas variáveis dependentes, como o estado de saúde e o desenvolvimento de uma doença, por meio da coleta de dados a partir de amostras da população. A maior limitação desse tipo de estudo é que, por meio dele é possível achar correlações, mas não à relação de causa e efeito [38].

3.1.1 Estudos *In Vitro*

Técnicas *in vitro* foram utilizadas para estudar a relação entre exposição à radiação não ionizante e as funções fisiológicas, que poderiam levar a efeitos adversos à saúde. Esses estudos avaliaram diversas funções e desempenhos celulares. Alterações morfológicas nas células e vazamento de albumina através da barreira hematoencefálica foram relatadas, mas devido as limitações metodológicas dos estudos, esses efeitos não foram replicados e sua relevância para a saúde não foi demonstrada. Além disso, foram relatadas algumas alterações nas funções do sistema imunológico após a exposição aos CEMRF. Porém, esses relatos foram considerados inconsistentes, e, atualmente, não há nenhuma evidência de que, se

reais essas alterações, elas sejam relevantes para causar algum efeito adverso à saúde humana [40].

3.1.2 Estudos experimentais em humanos

Existem alguns estudos experimentais em humanos sobre a influência da radiação por radiofrequência no humor, no bem-estar e nas características comportamentais das pessoas expostas. Uma pequena parcela da população se declarou como tendo hipersensibilidade eletromagnética (HE) [40]. A HE é uma doença subjetiva caracterizada por sintomas recorrentes e inespecíficos atribuídos a exposição a campos eletromagnéticos. A OMS refere-se a essa condição como Intolerância Ambiental Idiopática (IAI) [41]. Esses estudos, porém, não identificaram relação entre a exposição aos CEM e tais sintomas na população, evidenciando que a “crença sobre a exposição” (por exemplo, o chamado efeito “Nocebo”), e não a exposição em si, é o determinante do sintoma relatado [40].

Foram realizados estudos experimentais em humanos para testarem alterações nos sistemas auditivo, ocular e vestibular devido à exposição aos CEMRF. Embora sejam relatados alguns efeitos biológicos, os resultados diferem de estudos com metodologia mais rigorosa. Dessa forma, nenhum efeito sobre a função auditiva, ocular e vestibular relevante para a saúde humana foi comprovado [40].

A radiação de CEMRF pode induzir aquecimento no corpo causando um estresse no sistema cardiovascular, o que pode levar a efeitos adversos à saúde. Vários estudos em humanos investigaram o desempenho dos sistemas cardiovascular, nervoso autônomo e função termorreguladora, medindo a frequência cardíaca, pressão arterial, temperatura do corpo, pele e dedos e condutância da pele. Foram relatadas poucas alterações devido à exposição e que não geram riscos à saúde [40].

A exposição aos CEMRF associada ao aumento significativo da temperatura pode afetar o sistema reprodutivo e o desenvolvimento de embriões, aumentando as perdas embrionárias e fetais, aumentando a ocorrência de má formações, além, da redução do peso do feto. Ademais, foram relatados, também, efeitos na fertilidade masculina, sendo esta reduzida, mas, esses estudos tiveram limitações metodológicas e os efeitos relatados não foram comprovados [40].

3.1.3 Estudos experimentais em animais

Foram realizados, também, estudos em animais relacionando às funções auditiva, ocular e do aparelho vestibular, além dos potenciais efeitos dos CEMRF nesses sistemas. Especificamente, na faixa de 200 a 300 MHz, pode acontecer o efeito de audição de micro-ondas, que resulta em pulsos breves de RF e gera um som audível percebido como um breve ruído de baixo nível, geralmente descrito como um “zumbido”. Não há evidências de que esse efeito possa afetar a saúde [40].

Um grupo de pesquisadores relatou que a exposição aos CEMRF aumentou a morte de neurônios em ratos, gerando maiores riscos para o desenvolvimento de doenças neurodegenerativas, porém, dois estudos utilizando o mesmo método não conseguiram confirmar esses resultados. Foram relatados também outros efeitos como, por exemplo, alteração na liberação de neurotransmissores no córtex cerebral, porém, essas alterações não apresentaram riscos de levar à doenças neurodegenerativas. Existem outros estudos que relacionam os efeitos da radiação à doenças neurodegenerativas, porém, não possuem relevância por terem deficiências metodológicas [40].

Outro grupo de pesquisadores expôs ratos a campos de 350 MHz, levando a uma SAR de $13,2 \text{ W/kg}$, sendo relatado que a temperatura corporal aumentou para, aproximadamente, 42°C , ou seja, para um nível em que o sistema termorregulador não era mais capaz de lidar com essa alteração. Portanto, essa exposição pode ser bastante prejudicial para o sistema termorregulador e gerar efeitos adversos à saúde. Contudo, existem dois pontos a se considerar. O primeiro é que não existem pesquisas suficientes que avaliam o limiar de efeitos em relação ao aumento de temperatura que possa prejudicar a saúde em roedores. O segundo ponto a se considerar é que os seres humanos possuem um sistema termorregulador mais eficiente que os roedores, dessa forma, os seres humanos podem lidar de maneira mais eficiente com o aumento da temperatura quando comparado aos roedores [40].

Alguns estudos em animais relataram uma associação entre oncogênese, isto é, o processo de formação do câncer, e a exposição aos CEMRF. Porém, esses estudos apresentaram falhas na metodologia e na dosimetria, consequentemente os resultados não foram replicados em estudos independentes [40].

Um estudo realizado com camundongos expostos aos CEMRF, gerando uma SAR de até 2 W/kg , teve como resultado o aumento da incidência de tumores hepáticos e pulmonares [38].

A replicação deste estudo encontrou os mesmo efeitos no desenvolvimento de tumor em níveis abaixo dos limites de exposição aceitos para os seres humanos, o que torna o resultado preocupante. Os resultados são uma indicação de que a energia das radiações dos CEMRF, quando absorvida e convertida em energia térmica, influencie o metabolismo e o balanço energético, o que pode desempenhar um papel para os efeitos promotores de tumor observados [42].

Porém, ambos os estudos tiveram limitações metodológicas e os experimentos com animais geralmente não são facilmente transferíveis à situação com humanos, o que torna a interpretação dos resultados difícil e duvidosa, portanto, de acordo com o ICNIRP, há necessidade de mais pesquisas para entender melhor esses resultados.

3.1.4 Estudos epidemiológicos

Algumas pesquisas trataram a respeito os potenciais sintomas e intervenções no bem-estar da população exposta aos CEMRF, mas, a maior parte desses estudos que analisam dados da população por meio de autorrelatos sobre sintomas e exposição, torna o viés de seleção e o efeito Nocebo, fatores preocupantes. Os estudos sobre transmissores fixos quando utilizados próximos ao corpo não apontou nenhuma relação consistente entre exposição e sintomas ou influência no bem-estar, quando medidas objetivas de exposição foram realizadas. No geral, a pesquisa epidemiológica não fornece evidências de causa e efeito entre bem-estar e exposição aos CEMRF [40].

Um estudo epidemiológico relacionando leucemia infantil e exposição aos CEMRF foi realizado na Alemanha. A região de estudo incluiu municípios próximos a torres de transmissão de rádio e TV de alta potência. Os casos elegíveis tinham menos de 15 anos de idade, viviam na região de estudo no momento do diagnóstico e foram diagnosticados com leucemia entre 1984 e 2003. Para a realização desse estudo, foram consideradas todas as fontes relevantes de emissão de CEMRF: transmissores de AM, FM e TV na região de estudo, assim como transmissores fora da região de estudo, mas emitindo radiação relevante para a respectiva região de

estudo. Este estudo não apresentou nenhuma associação entre a exposição aos CEM emitidos por torres de transmissão e casos de leucemia em crianças. Os resultados foram semelhantes para todos os tipos de transmissores (AM, FM e TV) analisados separadamente. Portanto, o tipo de modulação e a faixa de frequência do sinal emitido por essas fontes não tiveram impacto no risco de leucemia. A abordagem baseada na população, com um grande número de casos estudados, em um longo período de estudo (1984-2003) e a estimativa de exposição individual é superior à de estudos anteriores. Portanto, os resultados enfraquecem as evidências de relatos anteriores sobre o aumento das taxas de incidência de leucemia infantil nas proximidades de transmissores de serviços de radiodifusão [43].

Um estudo realizado na Suíça também investigou a associação entre a exposição aos CEMRF e câncer infantil. O estudo que iniciou-se no ano de 2000 e durou até 2008, analisou crianças menores de 16 anos que viviam na Suíça. Foram incluídas nesta pesquisa crianças diagnosticadas entre janeiro de 1985 e dezembro de 2008. Este estudo baseado em censos não sugeriu uma associação entre a exposição aos CEMRF e a leucemia infantil. Foi observado um risco elevado de tumores do sistema nervoso central, mas os resultados foram inconsistentes e uma análise mais abrangente em termos de número de casos e período de observação não suportou uma associação. A falta de associação entre CEMRF e leucemia infantil está de acordo com os resultados dos dois estudos epidemiológicos anteriores, com características metodológicas semelhantes. Um ponto importante deste estudo é a consideração separada dos dados do período anterior a 1996, quando o uso de telefones sem fio e celulares não era relevante e as emissões por radiodifusão (rádio e TV) contribuíram para uma proporção maior da exposição geral aos CEMRF pela população [44].

3.2 Considerações Finais

O propósito deste capítulo foi apresentar os possíveis efeitos que a radiação não ionizante pode causar ao organismo de pessoas expostas a elas.

Foram inicialmente citados os dois tipos de efeitos biológicos que podem significar algum risco a saúde, sendo eles os efeitos térmicos que corresponde aos efeitos devido ao aquecimento dos tecidos biológicos e os efeitos não térmicos relacionados aos efeitos resultantes de processos eletrofísicos e bioquímicos.

Quanto aos efeitos não térmicos, ainda não se tem comprovações de seus possíveis efeitos negativos à saúde humana.

Posteriormente, foram apresentados os principais estudos recentes na área, a qual, a principal referência utilizada foi uma publicação que a ICNIRP publicou no ano de 2018, expondo os principais estudos e as conclusões tiradas. Pode-se, portanto, concluir que há muitas evidências quanto aos riscos da exposição humana aos CEMRF, mas nada comprovado devido ao alto grau de dificuldade na realização desses estudos, principalmente relacionado às metodologias utilizadas. Além disso, pode-se concluir a necessidade das restrições à exposição, visto que há muitas evidências negativas acompanhadas por uma grande incerteza científica.

4 NORMAS E POLÍTICAS DE PROTEÇÃO CONTRA A RADIAÇÃO NÃO IONIZANTE

Os padrões são estabelecidos para proteger a saúde e bem estar da população [30]. São os países que definem suas próprias normas relativas à exposição aos CEMRF [45]. A maioria das normas nacionais são baseadas em diretrizes estabelecidas por entidades como o ICNIRP, o IEEE em conjunto com o American National Standards Institute (ANSI), e o National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP). As diretrizes criadas por essas entidades são as mais difundidas e reconhecidas mundialmente, porém, a maioria dos países adotam as diretrizes do ICNIRP.

É importante considerar que o limite de uma diretriz não é um fator preciso entre segurança e perigo. O risco para a saúde humana aumenta gradualmente, acompanhando os níveis crescentes de exposição, ou seja, não existe um nível específico, no qual a exposição a este valor se torne um risco à saúde. O que é indicado pelas diretrizes é que abaixo do limite prescrito a exposição à radiação por RF é segura de acordo com o conhecimento científico. No entanto, isso não significa, automaticamente, que ser exposto a um nível maior irá acometer algum risco a saúde [30].

4.1 Histórico

Os primeiros sinais de preocupação em relação às radiações surgiram na década 1950, logo após a Segunda Guerra Mundial, quando cientistas envolvidos no Projeto Manhattan (o qual foi responsável por pesquisar e desenvolver as primeiras bombas atômicas) se atentaram para os níveis elevados de radiação e a quantidade de materiais radioativos utilizados [46].

Em 1953, o engenheiro biomédico Herman P. Schwan propôs um limite de exposição de 100 W/m^2 com base em modelos de aquecimento do corpo por energia de RF, o que levou ao desenvolvimento do primeiro padrão (USAS C95.1-1966), criado para limitar a exposição à radiações por RF, que cobriu as frequências de 10 MHz a 100 GHz. Este padrão foi inicialmente desenvolvido pelo *United States*

America Standards Institute (USASI) (atualmente, ANSI). Eventualmente, as pesquisas passaram a ser coordenadas pelo IEEE em conjunto com o ANSI [47, 48].

Em uma conferência realizada em 1955 em Ohio, EUA, foi decidido a formação da *Health Physics Society* (HPS). A HPS foi oficialmente formada em 1956 com o objetivo de promover a excelência na ciência e na prática da proteção contra radiação [49].

Em meados de 1963-1964, o presidente da HPS, William T. Ham Jr., criou um comitê para discutir sobre a criação de uma sociedade internacional de proteção contra radiação. Então, em junho de 1964, em Paris, França, foi decidida a criação da *International Radiation Protection Association* (IRPA) cujo objetivo era prover a proteção do homem e do meio ambiente dos perigos causados pela radiação ionizante, porém, ela só foi oficialmente formada em junho de 1965 [46].

Em 1973, em Washington, EUA, foi realizado o 3º Congresso Internacional da IRPA, onde esse grupo discutiu pela primeira vez sobre proteção contra as RNIs. Em 1974, a IRPA criou um grupo de trabalho para tratar especificamente desse tema, investigando os problemas originados no campo da proteção contra os vários tipos de RNI [50].

No 4º Congresso Internacional da IRPA, realizado em Paris, França, em 1977, o grupo de trabalho criado em 1974 se tornou o *International Non-Ionizing Radiation Committee* (INIRC) que, em conjunto com o IRPA, desenvolveram diversos documentos que forneceram a base de dados científicos para o posterior desenvolvimento dos limites de exposição e boas práticas relativas à proteção da exposição às RNIs [51, 52].

Em 1992, a ICNIRP foi constituída como uma comissão independente, com missão científica e sem fins lucrativos para continuar o trabalho do IRPA/INIRC. [50] Nesse período, em 1996, a OMS, em resposta à preocupação pública sobre os efeitos da exposição aos CEMRF na saúde e como parte de suas atribuições, estabeleceu o *International EMF Project* para avaliar as evidências científicas dos possíveis efeitos relacionados aos campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos (CEM) na faixa de frequência de 0 a 300 GHz. O projeto incentiva pesquisas focadas em preencher lacunas importantes no conhecimento, facilitando o desenvolvimento de padrões que sejam internacionalmente aceitos, limitando a exposição aos CEM [53].

Em 1998, a ICNIRP publicou diretrizes para limitar a exposição humana a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos, variáveis no tempo, até 300 GHz [54]. Em 2010, uma nova diretriz abrangendo as frequências de 1 Hz a 100 kHz foi publicada, substituindo a parte de baixa frequência das diretrizes de 1998 [16]. Atualmente, no site oficial do ICNIRP está disponível, para consulta pública, o esboço das novas diretrizes para limitar a exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos variáveis no tempo, na faixa de frequência de 100 kHz a 300 GHz [55].

Já o padrão USAS C95.1-1966 sofreu cinco revisões, sendo sua última versão publicada em 2005 e alterada em 2010, referenciada como IEEE C95.1-2005. Atualmente na plataforma do IEEE está disponível o esboço das novas diretrizes correspondente a uma revisão do IEEE C95.1-2005 [56].

4.2 Comparativo Entre as Principais Normas de Exposição aos CEM

Nesta seção será apresentada uma breve revisão e comparação, especificamente na faixa de frequência usada em radiodifusão, das principais diretrizes internacionais publicadas e adotadas por muitos países para proteção contra RNIs. São elas: IEEE C95.1 – 2005 e ICNIRP (1998). Ambas as diretrizes foram revisadas no ano de 2018. O documento PC95.1/D3.5, Oct 2018 é um esboço da revisão das diretrizes do IEEE de 2005, foi publicado em janeiro de 2018, na plataforma do IEEE, e aprovado em janeiro de 2019. O esboço da revisão do ICNIRP foi publicado em julho de 2018, ficou disponível até outubro de 2018 para manifestações e críticas de especialistas que não são membros da ICNIRP, de modo a obter diretrizes mais rigorosas e seguras. Até o momento atual, os comentários sobre a revisão da ICNIRP estão sendo analisados pelos membros da ICNIRP para finalização do projeto [24, 25, 31, 57].

4.2.1 Quanto à abrangência e a finalidade

As duas recomendações, citadas acima, têm como objetivo fornecer limites de exposição para proteger a saúde humana contra os efeitos adversos induzidos pela exposição aos CEMRF, sendo que a recomendação do IEEE (2005), que antes abrangia a faixa de 3 kHz a 300 GHz, depois da revisão em 2018, passou a

abranger a faixa de frequência de 0 Hz a 300 GHz. A recomendação do ICNIRP (1998), que antes cobria a faixa de 0 Hz a 300 GHz, de acordo com o esboço da revisão publicado em 2018, passou a abranger a faixa de frequência de 100 kHz a 300 GHz. Essas recomendações foram definidas considerando os efeitos diretos da radiação, como o aquecimento do tecido biológico e eletroestimulação¹. As diretrizes propostas levaram em consideração os efeitos diretos a curto e longo prazo, e exposição de forma contínua e descontínua. [24, 25, 31, 57]

A revisão da literatura realizada para o IEEE C95.1-2005 permanece como uma base sólida para o presente padrão, já que há uma falta de relatórios científicos e métodos confiáveis que apresentem os efeitos adversos à saúde, nos limites de exposição abaixo dos já definidos na recomendação de 2005. De acordo com a nova revisão, na literatura ainda não há evidências sobre os efeitos adversos a saúde causada por efeitos não térmicos, sendo que foram avaliadas as literaturas sobre as exposições aos CEMRF publicadas por organizações científicas e governamentais até 2017 [24, 57].

Assim como o IEEE, a ICNIRP, para a revisão publicada em 2018, investigou na literatura os efeitos da exposição à radiação por RF em sistemas biológicos, estabelecendo quais desses efeitos eram prejudiciais à saúde humana e cientificamente substantiados [25].

Ambas as recomendações consideram duas classes de exposição às RNIs: Meio Ambiente Controlado (Exposição Ocupacional) e Meio Ambiente Não Controlado (Exposição do Público em Geral) [24, 25]. Os limites são mais rigorosos para a exposição do público em geral, do que para a população exposta de forma ocupacional, uma vez que esta última compreende adultos saudáveis que estão expostos sob condições controladas, são treinados e conscientes dos riscos potenciais do ambiente ao qual estão imersos, de modo que possa ser empregadas medidas preventivas. Já o público em geral consiste em indivíduos de todas as idades, independente do seu estado de saúde, incluindo indivíduos vulneráveis como crianças, mulheres grávidas, indivíduos com o sistema termorregulador prejudicado e pessoas em tratamento de saúde. Dessa forma, se faz necessário incluir restrições mais rigorosas.

¹ A eletroestimulação se manifesta pelas excitações dos nervos e dos músculos, e pela alteração da sinapse neural [57].

4.2.2 Quanto às restrições básicas

As restrições básicas, ou também chamadas de “limite de referência dosimétrico”, são os valores que limitam a exposição ao CEM baseados em efeitos cientificamente estabelecidos sobre a saúde humana. Estas restrições básicas são dependentes da frequência do campo e são dadas em termos de unidades dosimétricas como taxa de absorção específica (SAR) [24, 25].

Para obter maior segurança perante algumas barreiras (como as incertezas biológicas e dosimétricas em estudos de laboratório, a variabilidade biológica da população e a variação nos fatores ambientais, como: vestuário e a temperatura ambiente) foi adotado o “fator redutor”, ou também chamado de “fator de segurança”, para definir os valores das restrições básicas. Para a faixa de frequência de 100 kHz a 6 GHz, foram adotados pelas duas recomendações, considerando SAR de corpo inteiro um fator de segurança de 10 para exposição em ambiente controlado e um fator de segurança de 50 para exposição em ambiente não controlado. Para a SAR localizada foram adotados um fator de redução de 2 para ambiente controlado e um fator de redução de 10 para ambiente não controlado.

Na Tabela 2 são apresentados os valores limites das restrições básicas das atuais recomendações do IEEE e do ICNIRP, para exposição ao CEMRF, com um tempo médio de 30 minutos para exposição de corpo inteiro e 6 minutos para exposição local na faixa de frequência de 100 kHz a 6 GHz.

Tabela 2 – Restrições básicas para exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos na faixa de frequência de 100 kHz a 6 GHz (≥ 6 minutos).

	IEEE		ICNIRP	
	Ambiente Controlado	Ambiente Não Controlado	Ambiente Controlado	Ambiente Não Controlado
SAR (corpo inteiro) (W/kg)	0,4	0,08	0,4	0,08
SAR10g (cabeça e tronco) (W/kg)	10	2	10	2
SAR10g (membros) (W/kg)	20	4	20	4

Fonte: Adaptado das recomendações IEEE (2018) e ICNIRP [24, 25].

A ICNIRP ressalta, ainda, que a incerteza científica relativa à dosimetria e as potenciais consequências para a saúde em relação à exposição à RF diminuiu substancialmente desde a recomendação de 1998. Isso justificaria fatores de redução menos conservadores, mas, a ICNIRP considera que os benefícios de mudanças sutis nas diretrizes não superam os benefícios de manter as restrições básicas estáveis, mantendo assim os mesmo valores limites de SAR de corpo inteiro definidos no ano de 1998.

Um ponto discrepante entre as duas recomendações em relação às restrições básicas é que a nova recomendação da ICNIRP levou em consideração o aumento rápido de temperatura que pode ocorrer em frequências mais altas (400 MHz à 6 GHz). À medida que a frequência aumenta a profundidade de penetração da radiação no tecido diminui, e um curto intervalo de tempo não é suficiente para dissipar esse calor sobre o tecido ou para fora, gerando, assim, “pontos quentes”. Isso sugere a necessidade de considerar a média de intervalos de tempo menores para certos tipos de exposição. Nesse caso não é feita distinção entre exposição de cabeça, tronco e membros, porque estudos recentes mostram que os limiares de efeito adverso à saúde são atendidos simultaneamente. Dessa forma, a ICNIRP estabeleceu um nível de SA para intervalos de exposição inferiores à 6 minutos, em função do tempo, para impedir a elevação da temperatura abaixo dos limiares de efeito adversos à saúde.

Na Tabela 3 são apresentados os valores limites das restrições básicas da atual recomendação do ICNIRP, para exposição aos CEMRF, com o tempo médio menor que 6 minutos para exposição local na faixa de frequência de 400 MHz a 6 GHz.

Tabela 3 – Restrições básicas para exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos na faixa de frequência de 400 MHz a 6 GHz (< 6 minutos).

Cenário de Exposição	SA Local (J/kg)
Exposição em Ambiente Controlado	$250 + 177(t - 1)^{0,5}$
Exposição em Ambiente Não Controlado	$50 + 35,4(t - 1)^{0,5}$

Fonte: Adaptado das recomendações IEEE (2018) e ICNIRP [24, 25].

em que, t é o intervalo de tempo em segundos.

4.2.3 Quanto aos níveis de referência

A avaliação da conformidade de acordo com os padrões aqui citados (IEEE e ICNIRP), idealmente, se dá provando que os níveis limites das restrições básicas não foram excedidos. Porém, essa prova não é facilmente obtida, já que só pode ser realizada por meio de técnicas analíticas ou de medição sofisticada se limitando na maioria das vezes em estudos laboratoriais, como já mencionado no Capítulo 2 deste trabalho. Dessa forma, foram criados os “níveis de referência”.

Os níveis de referência são derivados das restrições básicas, fornecendo uma quantidade que é mais facilmente obtida por meio de medições diretas ou cálculos teóricos. Porém, essas derivações se baseiam em pressupostos, levando em consideração sempre o pior cenário, ou seja, os níveis de referência em qualquer cenário de medição serão sempre mais conservadores do que as restrições básicas. Quando a exposição medida em termos dos níveis de referência está dentro dos limites propostos, então estará, conseqüentemente, obedecendo também às restrições básicas equivalentes. Entretanto, se os níveis de referência forem excedidos, a conformidade ainda pode ser provada se as restrições básicas equivalentes não forem excedidas.

Os níveis de referência são dados em termos de intensidade de campo elétrico (E), intensidade de campo magnético (H), densidade de potência incidente (S_{inc}) se tratando da recomendação do ICNIRP, e densidade de potência (S) se tratando da recomendação do IEEE.

Assim como as restrições básicas, tanto nas recomendações do IEEE quanto do ICNIRP, os níveis de referência foram definidos separadamente para exposição em ambientes controlados (exposição ocupacional) e para exposição em ambientes não controlados (exposição do público em geral) para proteger contra os efeitos associados à exposição de corpo inteiro (média temporal de 30 minutos) e exposição local (média temporal de 6 minutos). A recomendação do ICNIRP considera, ainda, a exposição local breve com média temporal menor que 6 minutos.

Para facilitar a comparação entre as recomendações do IEEE e do ICNIRP, a Tabela 4 apresenta os limites dos níveis de referência nas frequências dos serviços de radiodifusão. Foram utilizadas, para exemplo, as frequências de: 90 MHz (FM), 200 MHz (TV em VHF) e 600 MHz (TV em UHF).

Tabela 4 – Níveis de referência, das recomendações do IEEE e ICNIRP, para exposição de corpo inteiro em ambientes controlados e não controlados, em frequências específicas de radiodifusão, com tempo médio de exposição de 30 minutos.

Características de Exposição	Radiofrequência (MHz)	IEEE			ICNIRP		
		E (V/m)	H (A/m)	S (W/m ²)	E (V/m)	H (A/m)	S _{inc} (W/m ²)
Ambientes Controlados	90 (FM)	61.4	0,18	10	61	0.16	10
	200 (TV/VHF)	61.4	0.163	10	61	0.16	10
	600 (TV/UHF)	----	----	15	73,48	0,196	15
Ambientes não controlados	90 (FM)	27.5	0,087	2	28	0.073	2
	200 (TV/VHF)	27.5	0.0729	2	28	0.073	2
	600 (TV/UHF)	----	----	3	33,68	0,09	3

Fonte: Elaborada pelo autor.

Da mesma forma realizada na Tabela 4, para facilitar a comparação entre as recomendações do IEEE e do ICNIRP, a Tabela 5 apresenta os limites dos níveis de referência para exposição local nas frequências usadas em radiodifusão.

Tabela 5 - Níveis de referência, das recomendações do IEEE e ICNIRP, para exposição local em ambientes controlados e não controlados, em frequências específicas de radiodifusão, com tempo médio de exposição de 6 minutos.

Características de Exposição	Radiofrequência (MHz)	IEEE	ICNIRP
		S (W/m ²)	S _{inc} (W/m ²)
Ambientes Controlados	90 (FM)	50	10
	200 (TV/VHF)	68.93	10
	600 (TV/UHF)	114.64	Obs.
Ambientes não controlados	90 (FM)	10	2
	200 (TV/VHF)	13.83	2
	600 (TV/UHF)	23	Obs.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Obs.: A exposição está em conformidade com os níveis de referência se o valor de pico, em média ao longo de 6 minutos, for menor que os níveis de referência de exposição de corpo inteiro em condições de exposição em campo distante.

A Tabela 6 apresenta para cada faixa de frequência, os valores dos níveis de referência da atual recomendação do ICNIRP, em termos de densidade de energia incidente (H_{inc}), em relação à exposição local em ambientes controlados e não controlados, para regiões de campo distante em uma média de tempo de exposição ≤ 6 minutos.

Tabela 6 – Níveis de referência, da recomendação ICNIRP, para exposição local em ambientes controlados e não controlados, de 100 kHz a 6 GHz, com tempo médio de exposição ≤ 6 minutos (valores eficazes não perturbados).

Características de Exposição	Radiofrequência (GHz)	H_{inc} (kJ/m^2)
Ambientes Controlados	0,4 - 6	$0.8f^{0.51}[2.5 + 1.77(t - 1)^{0.5}]$
Ambientes não controlados	0,4 - 6	$0.8f^{0.51}[0.5 + 0.354(t - 1)^{0.5}]$

Fonte: Adaptado das recomendações IEEE (2018) e ICNIRP [24, 25].

em que f é o valor da frequência em GHz e t é o intervalo de tempo em segundos.

4.3 A Incerteza Científica e o Princípio da Precaução

Como foi visto, a comunidade científica mundial tem se empenhado no desenvolvimento de estudos sobre os efeitos à saúde humana, oriundos da exposição às RNI. Porém, diante das incertezas que ainda prevalecem entre os pesquisadores, alguns países, ou até mesmo, algumas cidades, baseados no princípio da precaução, utilizam padrões de exposição humana às RF inferiores aos das diretrizes que estabelecem os limites de exposição considerando apenas os efeitos térmicos, por falta de evidências científicas.

A precaução diz respeito à relação do homem com a natureza de forma respeitosa e funcional. Dessa forma, a precaução se trata de ações antecipatórias para proteger a saúde das pessoas e dos ecossistemas.

O princípio da precaução foi consolidado na década de 1970 na Alemanha em resposta à poluição industrial, que causava a chuva ácida, dermatites, entre outros problemas. Porém, o mesmo vem sendo empregado quando há um elevado grau de incerteza científica e há importância de agir com relação a um risco potencialmente sério, enquanto não surgirem pesquisas sanando essas incertezas [58].

A Suíça, em 1999, aprovou o regulamento 814.710, e os limites de restrições eram bem mais restritos comparados aos do ICNIRP (1998). Enquanto para a frequência de 850 MHz o nível de referência da recomendação da Suíça, em relação ao campo elétrico, era de $4 \text{ V}/\text{m}$, a do ICNIRP era de $40 \text{ V}/\text{m}$ [34]. Em 2016, uma nova versão da recomendação da Suíça, 814.710, foi aprovada. Os limites alterados

em 2016 na recomendação 814.710 estão em conformidade com os atuais limites da ICNIRP que foram publicados em 2018 [59].

A legislação italiana impôs limites extremamente mais baixos do que o do ICNIRP. Para toda a faixa de radiofrequência foi determinado, através do Decreto nº 381, de 10 de setembro de 1998, que o limite de exposição, em relação ao campo elétrico é de 20 V/m , enquanto que, para pessoas expostas por mais de 4 horas por dia, ou expostas em locais de trabalho, residências, escolas ou hospitais, o limite se restringe a 6 V/m [60].

4.4 Órgão Regulador Nacional

No Brasil, o órgão responsável por fiscalizar e regular a execução e a comercialização dos serviços de telecomunicações, como a telefonia e a radiodifusão, é a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL). A ANATEL foi criada em julho de 1977, com a aprovação da Lei nº 9.472 de 16 de junho de 1977 – Lei Geral das Telecomunicações.

De acordo com a Lei Geral das Telecomunicações, compete a ANATEL expedir normas e padrões a serem cumpridos pelas prestadoras de serviços de telecomunicações quanto aos equipamentos que estas utilizarem [61]. Em 1999, o Conselho Diretor da ANATEL decidiu adotar os limites propostos pela ICNIRP, como referência provisória para a avaliação da exposição humana a campos eletromagnéticos de radiofrequência provenientes de estações transmissoras de serviços de telecomunicações [5].

Em 2002, o Conselho Diretor da ANATEL aprovou o regulamento sobre limitação da exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos na faixa de radiofrequência entre 9 kHz e 300 GHz, por meio da Resolução nº 303, de 2 de julho de 2002, cuja referência continua sendo o limites da ICNIRP [62].

A Lei nº 11.934, de 05 de maio de 2009, que “dispõe sobre os limites à exposição humana a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos”, publicada pela Presidência do Brasil, veio regular essa questão de forma definitiva, ratificando, mais uma vez, os limites publicados pela ICNIRP. De acordo com essa lei, enquanto não forem estabelecidas novas recomendações pela OMS, serão adotados os limites da ICNIRP, recomendados pela OMS [63].

Em 2018 o Conselho Diretor da ANATEL aprovou o Regulamento Sobre a Avaliação da Exposição Humana a Campos Elétricos, Magnéticos e Eletromagnéticos Associados à Operação de Estações Transmissoras de Radiocomunicação, por meio da Resolução nº 700, de 28 de setembro de 2018. Essa Resolução também revoga a Resolução nº 303, de 2 de julho de 2002 [6].

4.5 Considerações Finais

O propósito desse capítulo foi apresentar as principais normas e políticas de proteção contra radiação não ionizante, adotadas tanto no Brasil como também em outros países.

Inicialmente foi exposto um breve histórico sobre o início dos estudos relacionados a exposição humana as radiações, apresentando as primeiras normas criadas no mundo, até as recomendações publicadas e utilizadas atualmente.

Foi exposta também uma breve comparação das principais normas usadas pela maioria dos países para criarem suas recomendações. As referências mundiais são as diretrizes do IEEE e do ICNIRP. Ambas as instituições determinam limites de exposição diferentes para ambientes controlados (exposição ocupacional) e ambientes não controlados (exposição do público em geral). Sendo que a exposição em ambientes não controlados precisam de limites mais restritos que a exposição em ambientes controlados, uma vez que a segunda inclui a exposição de pessoas treinadas para estarem imersas a um ambiente controlado de exposição, além disso, são adultos e saudáveis. Já a exposição em ambiente não controlado corresponde à exposição de pessoas de todas as idades, incluindo crianças, idosos, grávidas e pessoas em tratamentos de saúde.

Posteriormente, foi apresentado o princípio da precaução que é utilizado por muitos países, a fim de determinar limites ainda mais restritos do que os definidos pelas referências mundiais. Isso deve-se ao fato de que a exposição as radiações não ionizantes ainda é um tema cheio de incertezas na comunidade científica mundial, e que envolve várias polêmicas sobre os possíveis riscos à saúde humana.

Por fim, foi apresentado o órgão que regulamenta e fiscaliza se os limites de exposição estão sendo respeitados pelas emissoras no Brasil, este é a ANATEL.

5 RESOLUÇÃO Nº700, DE 28 DE SETEMBRO DE 2018.

A Resolução nº 700, de 28 de setembro de 2018, foi elaborada pela ANATEL considerando as diretrizes expostas na Lei nº 11.934, de 5 de maio de 2009, que dispõe sobre limites à exposição humana aos campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos.

Essa resolução aprova o regulamento sobre a avaliação da exposição humana a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos associados à operação de estações transmissoras de radiocomunicação. E, tem por objetivo definir métodos de avaliação na faixa de radiofrequências entre 8,3 kHz e 300 GHz (CEMRF).

Foram adotados, para fins de avaliação da exposição humana aos CEMRF, os limites propostos pela ICNIRP, detalhados no Ato nº 458, de 24 de Janeiro de 2019. Além disso, nesse Ato foram definidos:

- Os procedimentos para avaliação por meio de análises teóricas;
- Os requisitos mínimos para o procedimento de medição direta dos CEMRF e critérios de avaliação;
- As distâncias mínimas entre as antenas e os locais de livre acesso à população nas quais as estações transmissoras de radiocomunicação do Serviço de Radioamador e do Serviço de Rádio do Cidadão estão isentas da avaliação da conformidade;
- O relatório de conformidade: documento elaborado e assinado por entidade competente, contendo a memória de cálculo ou os resultados das medições.

Este capítulo é todo baseado nessa resolução e no Ato citado acima. E, foram levados em consideração apenas os pontos de interesse para o entendimento e realização desse estudo.

5.1 Limites de Exposição

Para fins de avaliação, devem-se considerar dois tipos de exposição: exposição da população em geral e exposição ocupacional.

A exposição da população em geral ou exposição não controlada é a qual a população em geral é exposta a CEM sem estarem cientes da exposição ou sem a

possibilidade de adotar medidas preventivas, excluindo-se a exposição durante procedimentos médicos.

Já a exposição ocupacional ou exposição controlada é a qual as pessoas são expostas a CEMRF em consequência de seu trabalho, e estão cientes do potencial de exposição, podendo, assim, tomar medidas preventivas.

Os limites de exposição ocupacional e da população em geral são os recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS), conforme estabelecido na Lei nº 11.934, de 5 de maio de 2009.

As Tabelas 7 e 8 apresentam, respectivamente, os limites para exposição ocupacional e da população em geral a campos elétrico, magnéticos e eletromagnéticos na faixa de radiofrequência entre 8,3 kHz e 300 GHz (CEMRF) propostos pela Comissão Internacional de Proteção contra Radiação Não Ionizante (ICNIRP).

Tabela 7 – Limites para exposição ocupacional (valores eficazes não perturbados).

Faixa de Radiofrequências	Intensidade de Campo, $E(V/m)$	Intensidade de Campo, $H(A/m)$	Densidade de potência de onda plana equivalente, $S_{eq} (W/m^2)$
8,3kHz a 65 kHz	170	24,4	—
0,065 MHz a 3,6MHz	170	$1,6/f$	—
3,6 MHz a 10 MHz	$610/f$	$1,6/f$	—
10 MHz a 400 MHz	61	0,16	10
400 MHz a 2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0,008f^{1/2}$	$f/40$
2 GHz a 300 GHz	137	0,36	50

Fonte: Adaptado de Ato nº 458, de 24 de janeiro de 2019 [21].

Tabela 8 – Limites para exposição da população em geral (valores eficazes não perturbados)

Faixa de Radiofrequências	Intensidade de Campo, $E(V/m)$	Intensidade de Campo, $H(A/m)$	Densidade de potência de onda plana equivalente, $S_{eq} (W/m^2)$
8,3kHz a 65 kHz	83	5	—
0,065 MHz a 3,6MHz	83	$0,73/f$	—
3,6 MHz a 10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0,73/f$	—
10 MHz a 400 MHz	28	0,073	2
400 MHz a 2000 MHz	$1,375f^{1/2}$	$0,0037f^{1/2}$	$f/200$
2 GHz a 300 GHz	61	0,16	10

Fonte: Adaptado de Ato nº 458, de 24 de janeiro de 2019 [21].

Nas Tabelas 7 e 8, f é o valor da radiofrequência, cuja unidade deve ser a mesma indicada na coluna da faixa de radiofrequências. E, os valores perturbados são aqueles medidos na ausência de indivíduos potencialmente expostos e sem a introdução de objetos absorvedores ou refletores de CEMRF durante o processo de medição.

A Tabela 9 apresenta as restrições básicas para limitação a exposição humana aos CEMRF, para radiofrequências entre 100 kHz e 10 GHz, taxa de absorção específica (SAR) média no corpo humano inteiro, SAR localizada para a cabeça e tronco e SAR localizada para os membros.

Tabela 9 – Restrições básicas para exposição humana a CEMRF, na faixa de radiofrequência entre 100 kHz e 10 GHz.

Característica de exposição	Faixa de Radiofrequências	SAR média do corpo inteiro (W/kg)	SAR localizada (cabeça e tronco) (W/kg)	SAR localizada (membros) (W/kg)
Exposição Ocupacional	100 kHz a 10 MHz	0,4	10	20
	10 MHz a 10 GHz	0,4	10	20
Exposição da população em geral	100 kHz a 10 MHz	0,08	2	4
	10 MHz a 10 GHz	0,08	2	4

Fonte: Adaptado de Ato nº 458, de 24 de janeiro de 2019 [21].

5.2 Procedimentos para Avaliação por Meio de Análises Teóricas

Na análise teórica o método padrão é dividido em um método para frequência acima de 30 MHz e para frequências inferiores a 30 MHz.

O método padrão para frequências acima de 30 MHz consiste no cálculo da Fronteira do Domínio de Avaliação (ADB) e em verificar a existência de um domínio de investigação (DI).

A ADB é a fronteira ao redor da estação avaliada na qual a exposição associada à fonte transmissora é considerada relevante. O DI é a região dentro da ADB à qual a população em geral ou um profissional, em decorrência de exposição

ocupacional, tem acesso, nas hipóteses de estações que emitam radiofrequências superiores a 30 MHz.

A ADB só é determinada caso a antena transmissora da estação avaliada seja omnidirecional ou setorial. No caso de antenas parabólicas ou outras antenas de abertura deve ser utilizado o método alternativo para análise teórica, de acordo com o item 5 do Anexo B do Ato nº458.

A estação pode ser considerada conforme pelo método padrão caso não exista nenhum DI.

5.2.1 Determinação da ADB

Para estimar a ADB devem-se considerar todas as emissões provenientes das antenas de todas as estações presentes em uma mesma estrutura de suporte. Na determinação da ADB são calculadas duas variáveis que estão relacionadas aos limites de exposição da população em geral e exposição ocupacional. São elas, D e H_b , dadas pelas equações 5.1 e 5.2, abaixo:

$$D = 1,3 \sqrt{\sum_i \frac{EIRP_i}{S_{lim,i}}} \quad (5.1)$$

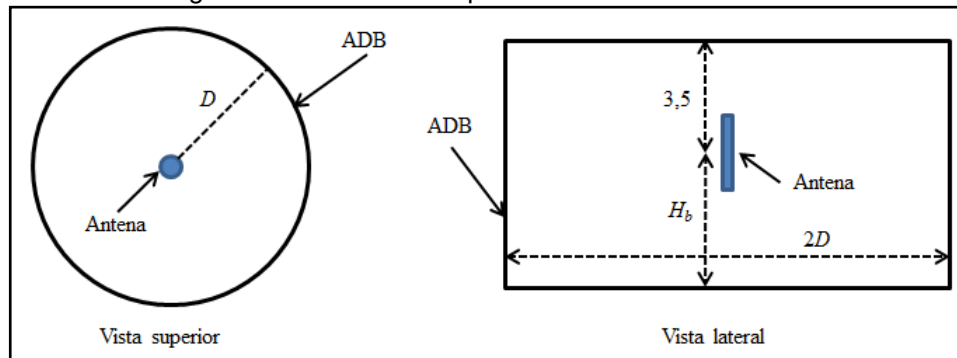
$$H_b = \max(3,5 ; D \operatorname{tg}(\alpha)) \quad (5.2)$$

em que, $EIRP_i$ é a EIRP em watts para a frequência i , $S_{lim,i}$ é o limite de exposição em W/m^2 para a frequência i , devendo ser usado o limite de exposição adequado à ADB em análise (população em geral ou ocupacional), $\max(A, B)$ é o maior valor entre A e B e o α é o maior *tilt* entre todas as antenas transmissoras da estrutura de suporte.

As regiões são determinadas de acordo com o tipo e a quantidade de antenas na estrutura de suporte, como demonstrado abaixo:

1. Para uma única antena omnidirecional presente na estrutura de suporte considera-se o formato cilindro de altura $(3,5 + H_b)$ metros e raio D em metros, centrado na antena transmissora, conforme mostra a Figura 7, abaixo:

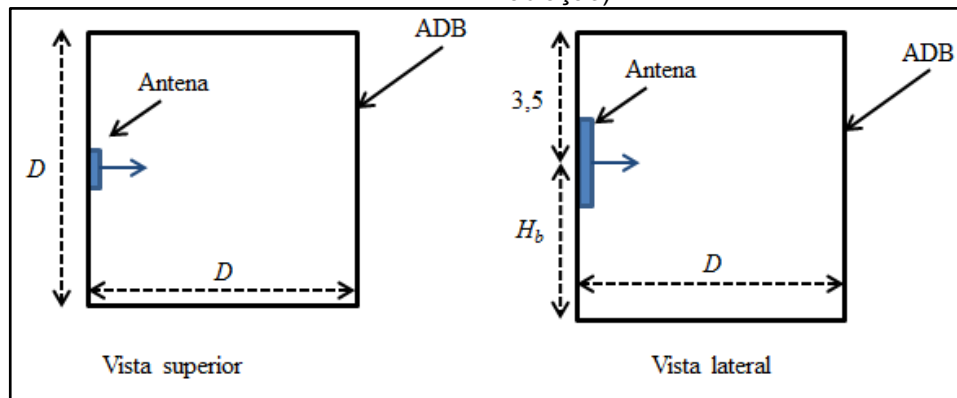
Figura 7 – Visão da ADB para uma antena omnidirecional.



Fonte: Ato nº 458, de 24 de janeiro de 2019 [21].

2. Para uma única antena setorial presente na estrutura de suporte considera-se o formato de uma caixa de altura $(3,5 + H_b)$ metros da base de lado D em metros, conforme mostra a Figura 8, abaixo:

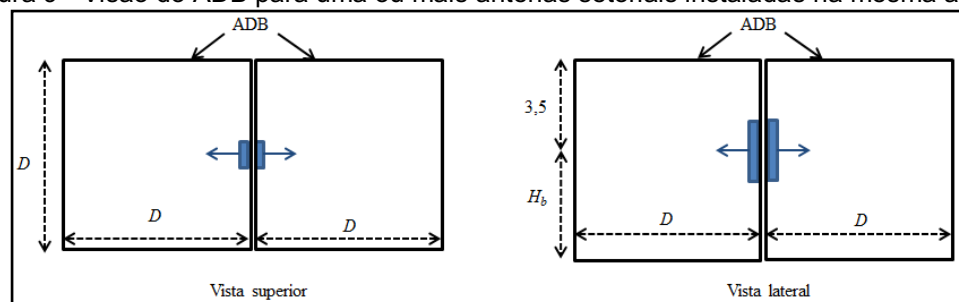
Figura 8 – Visão ADB para uma antena setorial (a seta na antena significa direção de máxima radiação).



Fonte: Ato nº 458, de 24 de janeiro de 2019 [21].

3. Para uma estrutura de suporte contendo mais de uma antena setorial posicionada na mesma altura, a ADB será a soma de cada ADB associada a cada antena, como ilustrado na Figura 9, abaixo:

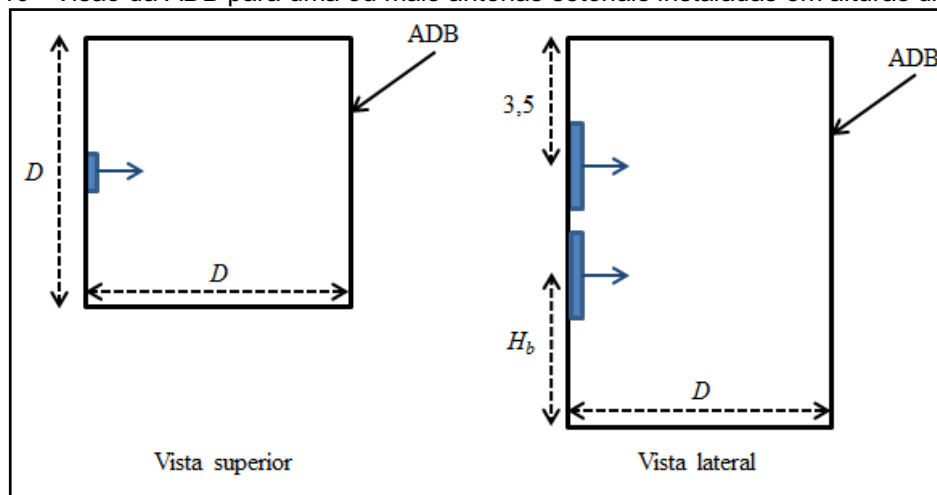
Figura 9 - Visão do ADB para uma ou mais antenas setoriais instaladas na mesma altura.



Fonte: Ato nº 458, de 24 de janeiro de 2019 [21].

4. Para uma estrutura de suporte contendo duas ou mais antenas setoriais com os mesmo azimute posicionadas em altura distintas, a ADB deverá ser calculada de acordo com o modelo 2, mas alterando a altura da caixa de forma que a ADB contemple 3,5 metros acima da antena mais alta e da estrutura e H_b metros abaixo da antena mais baixa da estrutura, como ilustra a Figura 10, abaixo:

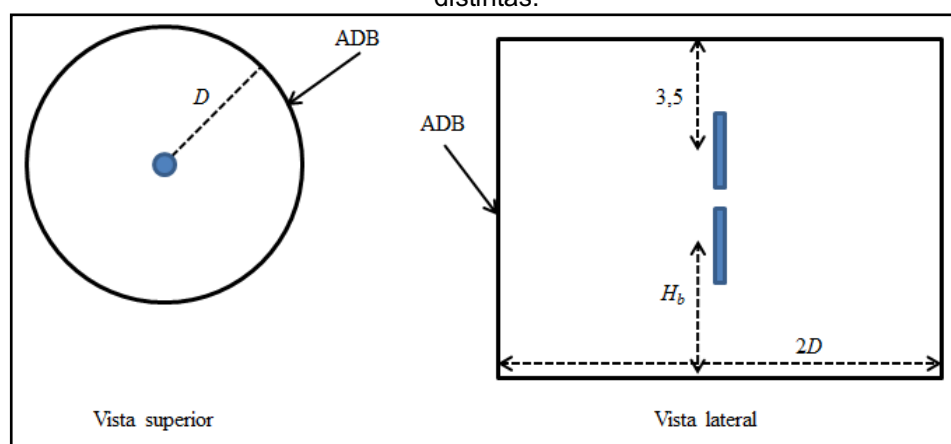
Figura 10 - Visão da ADB para uma ou mais antenas setoriais instaladas em alturas diferentes.



Fonte: Ato nº 458, de 24 de janeiro de 2019 [21].

5. Para uma estrutura de suporte contendo duas ou mais antenas omnidirecionais posicionadas em alturas distintas ou um conjunto de antenas colineares, deve-se utilizar o formato de um cilindro de raio D metros centrado no eixo das antenas transmissoras. A altura do cilindro deve contemplar 3,5 metros acima da antena mais alta da estrutura e H_b metros abaixo da antena mais baixa da estrutura, conforme mostra a Figura 11, abaixo:

Figura 11 - Visão da ADB para duas ou mais antenas omnidirecionais posicionadas em alturas distintas.



Fonte: Ato nº 458, de 24 de janeiro de 2019 [21].

5.3 Procedimentos de Medição Direta e Critérios de Avaliação

A seguir são apresentados os requisitos mínimos para o procedimento de medição direta dos CEMRF e os critérios de avaliação.

5.3.1 Exposição simultânea a campos de múltiplas radiofrequências

No caso de exposição simultânea a campos de múltiplas radiofrequências e utilizando equipamentos seletivos, todas as fontes emissoras que contribuem na exposição com nível de pelo menos 40 dB abaixo do limite aplicável à frequência de cada emissão, devem ser consideradas.

No caso de emissão com largura de faixa em que haja mais de um limite aplicável, deve-se utilizar o limite mais restritivo. Caso não haja nenhuma emissão acima desse limiar, devem ser consideradas as duas fontes que mais contribuem na exposição do ponto considerado.

Para avaliação dos efeitos térmicos, que são relevantes para frequências acima de 100 kHz, a determinação do atendimento aos limites de exposição humana ao CEMRF pode ser efetuada por meio da utilização da relação expressa na Equação 5.3:

$$\sum_{i=100kHz}^{300GHz} \left(\frac{E_i}{E_{lim,i}} \right)^2 \leq 1 \quad (5.3)$$

em que, E_i é o valor do campo elétrico na frequência i , $E_{lim,i}$ é o limite de campo elétrico, de acordo com as Tabelas 7 e 8, na frequência i .

A somatória da Equação 5.3 representa o Quociente de Exposição Total (QET) em termos dos efeitos térmicos causados pela exposição aos CEMRF.

5.3.2 Medições

5.3.2.1 Quanto ao equipamento

Os equipamentos podem ser do tipo faixa larga ou equipamentos seletivos (ou faixa estreita), podem ser dispositivos isotrópicos ou direcionais e podem medir campo elétrico ou magnético.

Os equipamentos faixa larga fornecem o nível total de exposição sem especificar informações individuais de cada uma das frequências medida. Os equipamentos seletivos são utilizados para medições seletivas em frequência, detalhando as fontes emissoras separadamente.

Para dispositivos isotrópicos a resposta esperada independe da direção do campo eletromagnético incidente. No caso dos dispositivos direcionais, a resposta depende da direção do campo eletromagnético incidente.

Medições realizadas na região de campo próximo reativo tanto o campo elétrico quanto o campo magnético devem ser medidos. Já na região de campo distante pode ser medido ou o campo elétrico ou o campo magnético, sendo, preferível um equipamento que mede o campo elétrico [6].

5.3.2.2 Quanto à seleção de pontos de medição

Em relação à exposição da população em geral a avaliação deve ser realizada no mínimo nos pontos listados abaixo:

- Pelo menos um ponto em cada domínio de investigação, caso existam;
- Um ponto no local de máxima exposição humana decorrente da emissão de CEMRF da estação transmissora de radiocomunicação avaliada;
- Três pontos na direção/azimute de máxima radiação de um ou mais dos sistemas radiantes medidos a partir da base da estrutura de suporte, sendo um ponto a uma distância inferior a 50 m, um ponto a uma distância entre 50 m e 150 m e outro acima de 150 m;
- Um ponto em cada área crítica ou em área de grande circulação de pessoas, caso existam;

Áreas críticas são áreas localizadas até 50 m de hospitais, clínicas escolas, creches e asilos.

Em relação à exposição ocupacional a avaliação deve ser realizada no mínimo nos pontos listados abaixo:

- Um ponto no local de máxima exposição ocupacional decorrente das emissões de CEMRF da estação transmissora de radiocomunicação sendo avaliada;
- Um ponto relacionado à exposição ocupacional, no qual os trabalhadores tendem a permanecer por mais tempo.

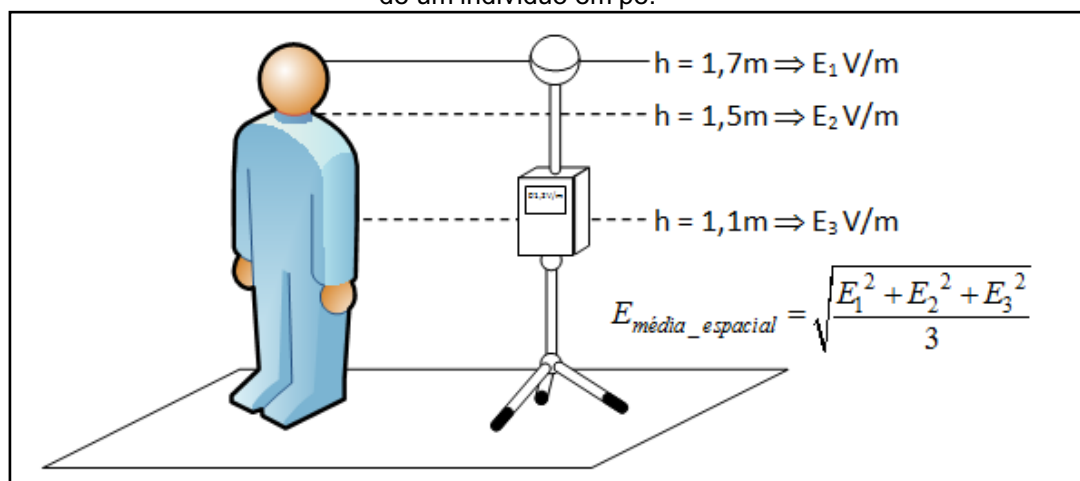
5.3.2.3 Posicionamento da sonda e tempo de medição

Para saber o posicionamento da sonda, primeiro deve ser medido o valor de pico do campo no local sob análise. O valor de pico é determinado pelo valor máximo do campo elétrico ou magnético no local que está sendo avaliado.

Se o nível de pico do campo exceder 50% do limite de exposição humana em termos de intensidade de campo elétrico, deve ser feita, pelo menos, três médias temporais em uma varredura vertical, medidos em pontos distantes de no mínimo 20 cm e no máximo 40 cm entre pontos adjacentes.

A medição, nesse caso, pode ser feita, preferencialmente, como mostra a Figura 12:

Figura 12 – Pontos sugeridos para determinação da média espacial da exposição humana a CEMRF de um indivíduo em pé.



Fonte: Ato nº 458, de 24 de janeiro de 2019 [21].

Para a realização da média temporal em um único ponto, a sonda deve estar localizada, preferencialmente na altura da máxima intensidade de campo, ou a 1,70 m de altura.

Para aumentar a precisão da medição, pode-se realizar a média espacial com seis ou nove pontos. Nesse caso, a média espacial será dada pela Equação 5.4, abaixo:

$$(E \text{ ou } H) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (E_i \text{ ou } H_i)^2}{N}} \quad (5.4)$$

em que, N é o número de pontos considerados.

Para a média temporal pode-se utilizar a referência que consiste em qualquer intervalo no período de 6 minutos. Se a exposição humana ao CEMRF for menor que o período de referência, o limite de exposição é dado pela Equação 5.5, abaixo:

$$\sum_i X_i^2 t_i \leq X_l^2 t_{avg} \quad (5.5)$$

em que, X_i é o campo (E ou H) durante a exposição i , t_j é a duração da exposição i , X_l é o limite do nível de referência e t_{avg} é o período da média temporal.

Para frequências inferiores ou iguais a 10 GHz, poderá ser realizadas medidas durante período de tempo inferior a 6 minutos, desde que garanta que o limite não seja excedido em qualquer intervalo de 6 minutos.

5.3.3 Análise de conformidade

O Quociente de Exposição Total (QET) determina a conformidade ou não conformidade de um local ao limite de exposição, no caso de exposição a múltiplas fontes. Já no caso de exposição a uma única fonte, o que determina é o nível de exposição humana ao CEMRF em relação aos níveis de referência.

Há duas causas que gera em um QET maior que 100%:

- 1 A existência de uma ou mais fontes emissoras que ultrapassam individualmente o limite de exposição humana ao CEMRF permitido, considerado suas respectivas frequências de operação;
- 2 O nível de energia recebido de cada fonte é inferior ao limite estabelecido, porém, a combinação das múltiplas fontes contribui para que o nível de exposição acumulado ultrapasse a unidade;

5.4 Considerações Finais

O propósito deste capítulo foi apresentar a Recomendação nº 700, de 28 de setembro de 2018, aprovada pela ANATEL, a fim de regulamentar os limites de exposição e os métodos de avaliação.

Dessa forma, este capítulo apresentou os critérios de avaliação para a faixa de frequência estudada nesse trabalho. A avaliação pode ser realizada pelo método teórico padrão que se refere ao cálculo da região ADB e na investigação da existência de um domínio de investigação, ou pelo método de medições diretas.

Para o caso de medições diretas, também foi apresentados os critérios para escolha dos pontos de avaliação e do equipamento utilizado, bem como a posição deste e o tempo médio de referência para as medições.

Além disso, foi mostrado que a avaliação pode ser feita considerando os níveis de exposição separados, ou seja, de cada emissora separada e a avaliação considerando o critério de exposição simultânea a campos de múltiplas radiofrequências. Esta segunda corresponde ao cálculo do QET que é um parâmetro que determina a conformidade ao não da estação analisada em um ponto de interesse.

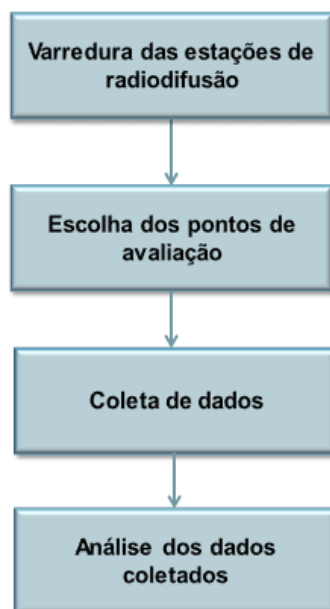
6 METODOLOGIA

Para a realização desse trabalho foi inicialmente realizada uma varredura das principais fontes de radiação por radiodifusão na cidade de Uberlândia – MG. Constatou-se, portanto, que o bairro Umuarama era a região mais adequada para este estudo, uma vez que nesta região há uma grande concentração de torres de telecomunicações localizadas perto de áreas críticas e de grande circulação de pessoas.

Após a varredura, foram escolhidos os pontos de avaliação, seguindo as diretrizes apresentadas no capítulo anterior. Dessa forma, foram feitas as coletas de dados nos pontos escolhidos. Por fim, realizou-se a análise dos dados coletados para verificar a conformidade ou não, das estações de radiodifusão analisadas, com a Resolução nº 700 da ANATEL.

O fluxograma, apresentado na Figura 13 ilustra as etapas do desenvolvimento desse trabalho.

Figura 13 – Fluxograma ilustrativo da metodologia utilizada neste trabalho.



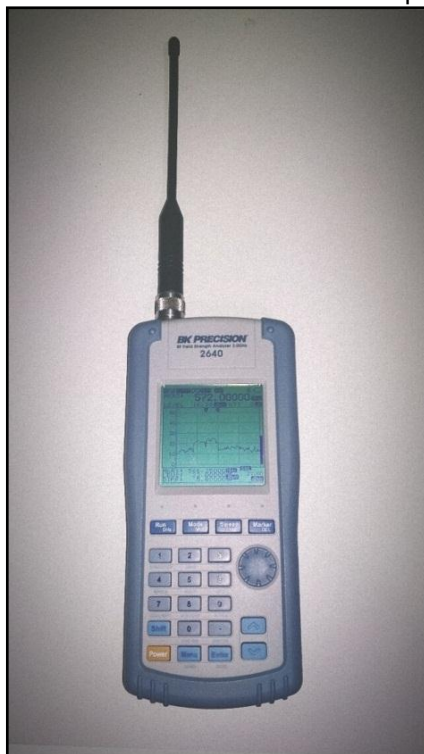
Fonte: Elaborado pelo autor.

6.1 Equipamento Utilizado nas Medições

Para a realização desse estudo foi utilizado um medidor de intensidade de campo elétrico de RF modelo 2640, fabricado pela empresa *BK Precision* [64],

constituído por uma antena receptora direcional. Este é um equipamento seletivo cuja faixa de medição vai de 100 kHz a 2 GHz.

Figura 14 – Equipamento modelo 2640 da *BK Precision* utilizado para medições de campo elétrico.



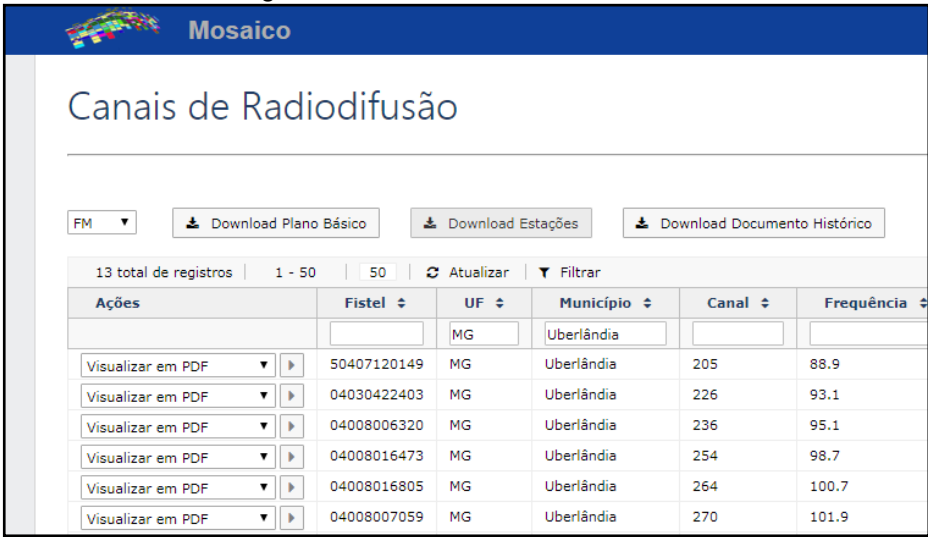
Fonte: Elaborada pelo autor.

Durante a utilização do dispositivo pode-se escolher entre as seguintes unidades: dBm para estimar a potência recebida, dB μ V/m ou dBmV/m para estimar intensidade de campo elétrico.

6.2 Varredura das Estações de Radiodifusão

A varredura das estações de radiodifusão, a serem analisadas neste trabalho, foi realizada utilizando a plataforma, chamada Mosaico, que a ANATEL disponibiliza em seu site [8]. Por meio dessa plataforma é possível obter informações de cada estação transmissora, presente na região de interesse, registradas pela ANATEL. A ilustração dessa plataforma está representada na Figura 15:

Figura 15 – Plataforma, Mosaico, da ANATEL.



The screenshot shows the 'Mosaico' platform interface for 'Canais de Radiodifusão'. It includes a search bar with 'FM' selected, download buttons for 'Download Plano Básico', 'Download Estações', and 'Download Documento Histórico'. Below the search bar, it indicates '13 total de registros' and shows a table with 6 columns: 'Ações', 'Fistel', 'UF', 'Município', 'Canal', and 'Frequência'. The table lists 6 radio channels, all from Uberlândia, MG, with their respective channel numbers and frequencies.

Ações	Fistel	UF	Município	Canal	Frequência
Visualizar em PDF	50407120149	MG	Uberlândia	205	88.9
Visualizar em PDF	04030422403	MG	Uberlândia	226	93.1
Visualizar em PDF	04008006320	MG	Uberlândia	236	95.1
Visualizar em PDF	04008016473	MG	Uberlândia	254	98.7
Visualizar em PDF	04008016805	MG	Uberlândia	264	100.7
Visualizar em PDF	04008007059	MG	Uberlândia	270	101.9

Fonte: Agência Nacional de Telecomunicações [8].

Foi avaliado, portanto, que no município de Uberlândia, existem 35 canais alocados para serviços de radiodifusão, registrados na ANATEL, sendo, 13 deles de FM e 22 de TV. Desse total, consta na plataforma, que 18 têm suas estações transmissoras localizadas no bairro Umuarama da cidade de Uberlândia – MG. Porém, algumas dessas emissoras não estão com os relatórios de plano básico atualizados. Portanto, para a realização deste trabalho, foram avaliadas 15 estações no bairro Umuarama.

As estruturas de suporte possuem, muitas vezes, mais de uma antena transmissora instalada. Ou seja, mais de uma estação pode utilizar a mesma torre para as suas instalações. A Tabela 10 mostra para cada estrutura de suporte (referidas como “TORRE ‘X’”), localizada no bairro Umuarama, as estações instaladas, que serão objetos de análise neste trabalho, e suas respectivas frequências.

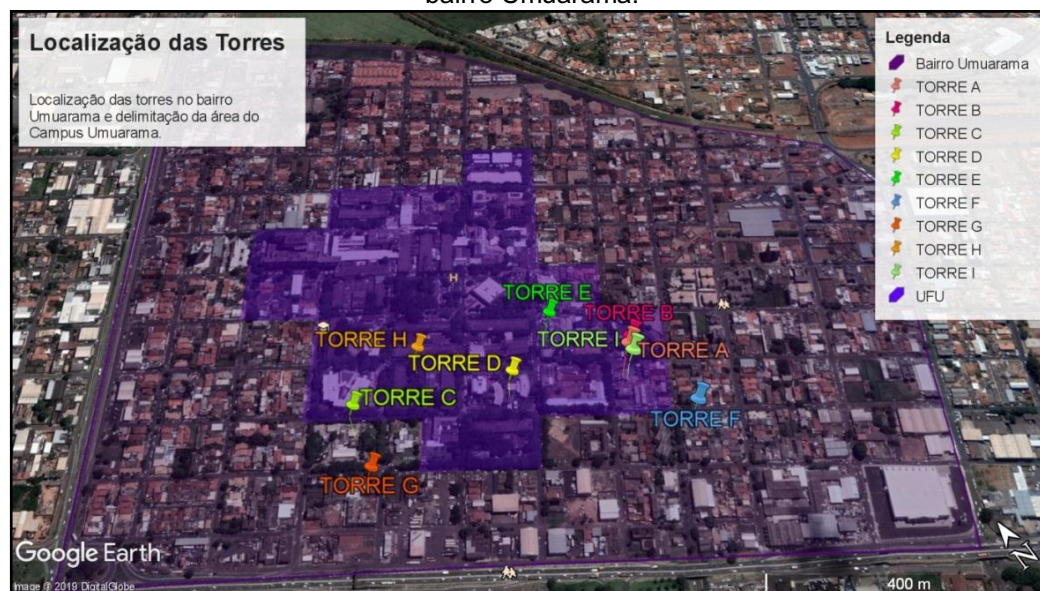
Tabela 10 – Estações respectivas às estruturas de suporte, no bairro Umuarama.

Estrutura	Estação	Serviço de Radiodifusão	Frequência (MHz)
TORRE A	A1	TV	488 – 494
	A2	TV	470 – 476
TORRE B	B1	FM	98.7
TORRE C	C1	TV	566 – 572
TORRE D	D1	TV	656 – 662
	D2	TV	602 – 608
TORRE E	E1	TV	554 – 560
	E2	FM	100.7
	E3	FM	90.9
TORRE F	F1	FM	101.9
TORRE G	G1	TV	548 – 554
	G2	FM	106.5
	G3	FM	95.1
TORRE H	H1	FM	107.5
TORRE I	I1	FM	524 – 530

Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 16 estão representadas as localizações das estruturas de suporte, listadas na Tabela 10, bem como a região do Campus Umuarama (área limitada em azul) e o bairro Umuarama (área limitada em roxo).

Figura 16 – Área do Campus Umuarama (UFU) e distribuição das torres de serviço de radiodifusão no bairro Umuarama.



Fonte: Adaptado de Google Earth.

6.3 Pontos de Avaliação

A recomendação nº 700, como foi visto na Seção 5.3.2.2, lista uma seleção de pontos, mais adequada para as medições serem feitas, para os casos de exposição da população em geral e para os casos de exposição ocupacional.

Porém, para realização das medições, neste trabalho, foram considerados apenas os pontos para os casos de exposição da população em geral, já que, para medir nos pontos relacionados à exposição ocupacional teria que ter acesso às áreas bem próximas as antenas, e ter os equipamentos de proteção adequados para isso, tornando a análise de conformidade para exposição ocupacional inviável para este trabalho.

6.3.1 Domínios de Investigação (DI)

Alguns dos pontos de análise devem ser nas regiões ADB onde pessoas possam ter acesso, ou seja, nos domínios de investigação. Com visto no Capítulo 5, para uma estimativa conservadora da ADB devem-se considerar as emissões provenientes das antenas de todas as estações presentes na mesma estrutura de suporte. Dessa forma, para cada estrutura de suporte, listada na Tabela 10, foi calculada a região ADB e analisado se existe ou não as regiões de DI.

6.3.1.1 Parâmetros das estações analisadas

A Tabela 11 mostra os parâmetros, das antenas transmissoras de cada estação analisada neste trabalho, utilizados para a determinação da região ADB. O S_{lim} foi obtido pela Tabela 8, para a faixa de frequência correspondente e frequência da estação analisada. Para as estações de TV, foram usadas as frequências inferiores dos canais, para que se obtenha o valor mais restritivo de S_{lim} .

Tabela 11 – Parâmetros físicos das antenas transmissoras das estações analisadas.

Estação	Frequência (MHz)	Antena	Altura da Antena (m)	ERP (kW)	Tilt	S_{lim} (W/m²)
A1	488 – 494	Omnidirecional	82,15	1,04	1°	2,44
A2	470 – 476	Omnidirecional	60	4,16	5°	2,35
B1	98.7	Omnidirecional	71	56,02	0°	2
C1	566 – 572	Direcional	64	23,5	4°	2,83
D1	656 – 662	Direcional	45	5,6	0°	3,28
D2	602 – 608	Direcional	58	6,31	3°	3,01
E1	554 – 560	Direcional	76,2	10,04	4,7°	2,77
E2	100.7	Omnidirecional	51	26,231	0°	2
E3	90.9	Omnidirecional	52	0,92	5°	2
F1	101.9	Omnidirecional	29,5	4,7	0°	2
G1	548 – 554	Direcional	40	0,07	0°	2,74
G2	106.5	Omnidirecional	74	14,67	0°	2
G3	95.1	Omnidirecional	88,1	4,61	5°	2
H1	107.5	Omnidirecional	43	1,392	0°	2
I1	524 – 530	Omnidirecional	45	5,82	6,60°	2,62

Fonte: Elaborada pelo autor.

6.3.1.2 Cálculo das regiões ADB

Como mostrado na Seção 5.2.1 a região ADB é definida calculando os parâmetros D e H_b . As equações para cálculo desses parâmetros estão novamente representadas pelas Equações 6.1 e 6.2.

$$D = 1,3 \sqrt{\sum_i \frac{EIRP_i}{S_{lim,i}}} \quad (6.1)$$

$$H_b = \max(3,5 ; D \operatorname{tg}(\alpha)) \quad (6.2)$$

A Equação 6.1 utiliza o parâmetro EIRP que é a potência equivalente isotropicamente radiada, em watt. Porém, nos relatórios de plano básico disponíveis no site da ANATEL, o parâmetro fornecido é a potência equivalente radiada (ERP), que consta na Tabela 11. Portanto, é utilizada a seguinte relação:

$$EIRP = ERP \times 1,64 \quad (6.3)$$

A Tabela 12 lista os valores da EIRP para cada estação analisada.

Tabela 12 – Valores de EIRP de cada estação analisada.

Estação	Frequência (MHz)	ERP (kW)	EIRP (kW)
A1	491	1,04	1,706
A2	473	4,16	6,822
B1	98.7	56,02	91,87
C1	569	23,5	38,54
D1	659	5,6	9,184
D2	605	6,31	10,348
E1	557	10,04	16,466
E2	100.7	26,231	43,018
E3	90.9	0,92	1,509
F1	101.9	4,7	7,708
G1	551	0,07	0,115
G2	106.5	14,67	24,059
G3	95.1	4,61	7,56
H1	107.5	1,392	2,283
I1	527	5,82	9,545

Fonte: Elaborada pelo autor.

6.3.1.2.1 Estrutura de suporte “TORRE A”

De acordo com a Equação 6.1:

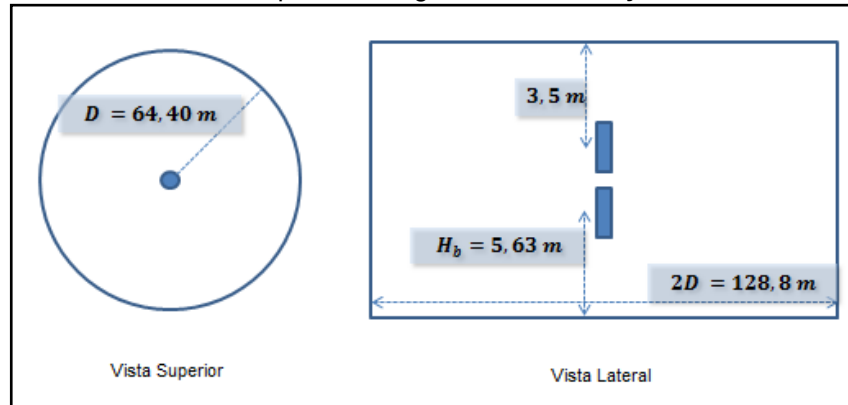
$$D = 1,3 \sqrt{\frac{1,706 \times 10^3}{2,44} + \frac{6,822 \times 10^3}{2,35}} = 64,40 \text{ m} \quad (6.4)$$

De acordo com a Equação 6.2:

$$H_b = \max(3,5 ; 64,40 \text{tg}(5^\circ)) = 5,63 \text{ m} \quad (6.5)$$

As visões lateral e superior da região ADB em relação à “TORRE A” está ilustrada na Figura 17, e foi feita de acordo com o caso 5, mostrado na Seção 5.2.1 do Capítulo 5.

Figura 17 – Visões lateral e superior da região ADB em relação à estrutura “TORRE A”.



Fonte: Elaborada pelo autor.

6.3.1.2.2 Estrutura de suporte “TORRE B”

De acordo com a Equação 5.1:

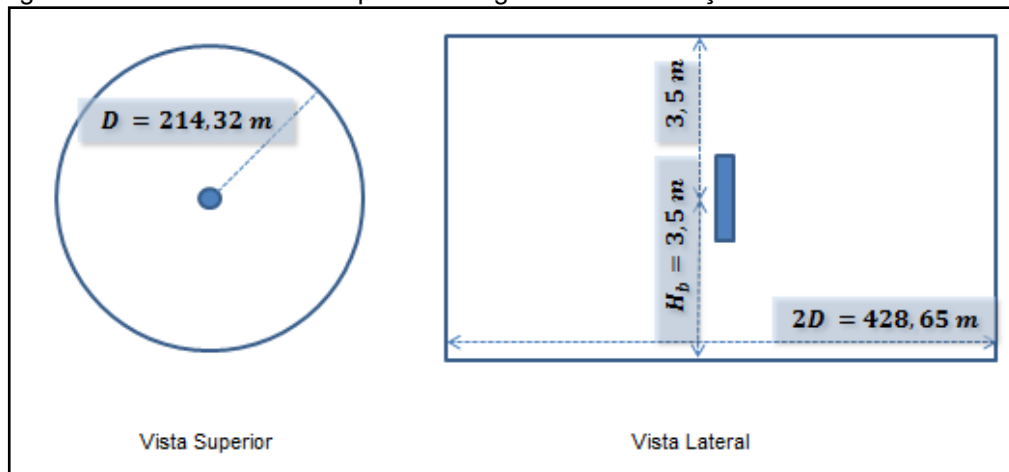
$$D = 1,3 \sqrt{\frac{91,87 \times 10^3}{2}} = 214,32 \text{ m} \quad (6.6)$$

De acordo com a equação 5.2:

$$H_b = \max(3,5 ; 214,32 \text{tg}(0^\circ)) = 3,5 \text{ m} \quad (6.7)$$

As visões lateral e superior da região ADB em relação à estrutura de suporte “TORRE B” está ilustrada na Figura 18, e foi feita de acordo com o caso 1, mostrado na Seção 5.2.1 do Capítulo 5.

Figura 18 – Visões lateral e superior da região ADB em relação à estrutura “TORRE B”.



Fonte: Elaborada pelo autor.

6.3.1.2.3 Estrutura de suporte “TORRE C”

De acordo com a Equação 5.1:

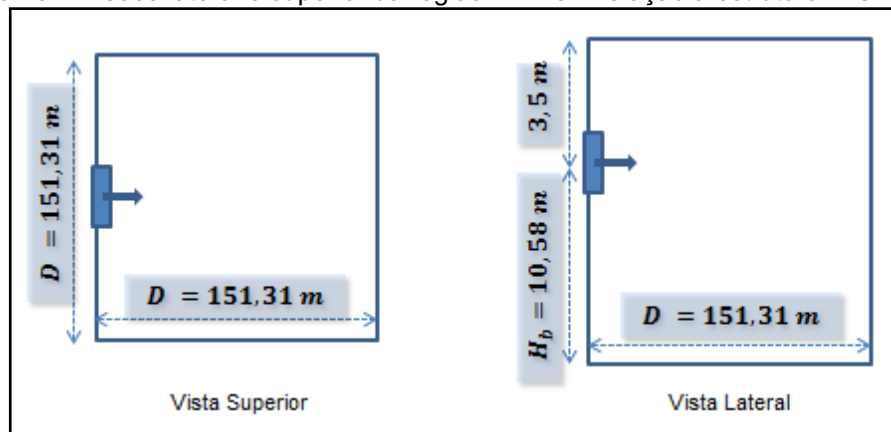
$$D = 1,3 \sqrt{\frac{38,54 \times 10^3}{2,83}} = 151,31 \text{ m} \quad (6.8)$$

De acordo com a Equação 5.2:

$$H_b = \max(3,5 ; 151,31 \text{tg}(4^\circ)) = 10,58 \text{ m} \quad (6.9)$$

As visões lateral e superior da região ADB em relação à estrutura de suporte “TORRE C” está ilustrada na Figura 19, e foi feita de acordo com o caso 2, mostrado na Seção 5.2.1 do Capítulo 5.

Figura 19 – Visões lateral e superior da região ADB em relação à estrutura “TORRE C”.



Fonte: Elaborada pelo autor

6.3.1.2.4 Estrutura de suporte “TORRE D”

De acordo com a Equação 5.1:

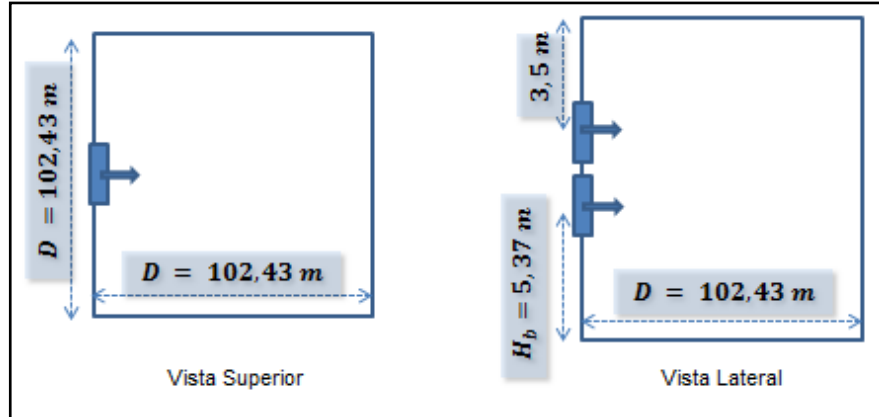
$$D = 1,3 \sqrt{\frac{9,184 \times 10^3}{3,28} + \frac{10,348 \times 10^3}{3,01}} = 102,43 \text{ m} \quad (6.10)$$

De acordo com a equação 5.2:

$$H_b = \max(3,5 ; 102,43 \text{tg}(3^\circ)) = 5,37 \text{ m} \quad (6.11)$$

As visões lateral e superior da região ADB em relação à estrutura de suporte “TORRE D” está ilustrada na Figura 20, e foi feita de acordo com o caso 4, mostrado na Seção 5.2.1 do Capítulo 5.

Figura 20 – Visões lateral e superior da região ADB em relação à estrutura “TORRE D”.



Fonte: Elaborada pelo autor.

6.3.1.2.5 Estrutura de suporte “TORRE E”

De acordo com a recomendação nº 700, não há nenhum caso específico que trata do cálculo da ADB para antenas direcionais e omnidirecionais instaladas na mesma torre. Portanto, para a estrutura “TORRE E”, foram calculadas duas regiões ADB, uma levando em consideração somente a estação E1, cuja antena é direcional, e outra levando em consideração as estações E2 e E3, cujas antenas são omnidirecionais e estão instaladas em alturas muito próximas.

6.3.1.2.5.1 Cálculo da ADB para a estação E1

De acordo com a Equação 5.1:

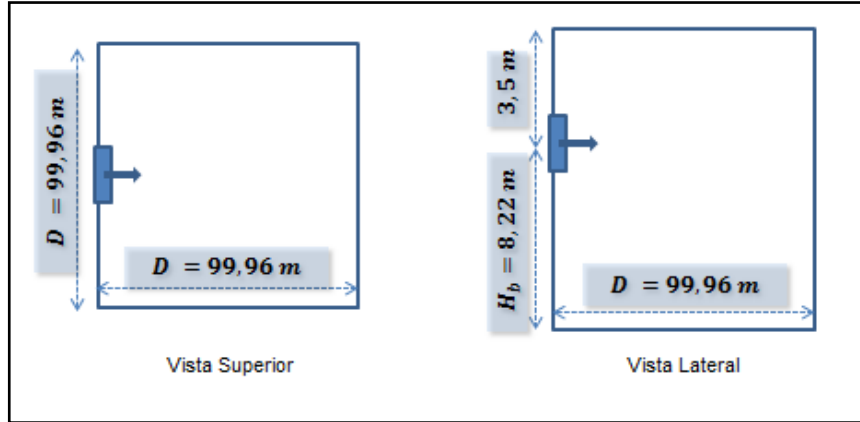
$$D = 1,3 \sqrt{\frac{16,466 \times 10^3}{2,77}} = 99,96 \text{ m} \quad (6.12)$$

De acordo com a Equação 5.2:

$$H_b = \max(3,5 ; 99,96 \tan(4,7^\circ)) = 8,22 \text{ m} \quad (6.13)$$

As visões lateral e superior da região ADB, referente à estação E1, está representada na Figura 21, e foi feita de acordo com o caso 2, mostrado na Seção 5.2.1 do Capítulo 5.

Figura 21 – Visões lateral e superior da região ADB, referente à estação E1 (estrutura “TORRE E”).



Fonte: Elaborada pelo autor.

6.3.1.2.5.2 Cálculo da ADB para as estações E2 e E3

De acordo com a Equação 5.1:

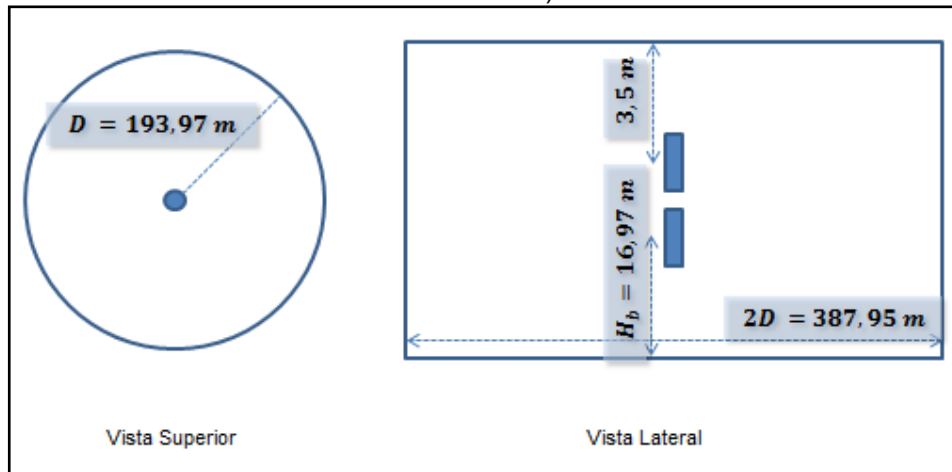
$$D = 1,3 \sqrt{\frac{43,018 \times 10^3}{2} + \frac{1,509 \times 10^3}{2}} = 193,97\text{ m} \quad (6.14)$$

De acordo com a Equação 5.2:

$$H_b = \max(3,5 ; 193,97 \text{tg}(5^\circ)) = 16,97\text{ m} \quad (6.15)$$

As visões lateral e superior da região ADB, referente às estações E2 e E3, está representada na Figura 22, e foi feita de acordo com o caso 5, mostrado na Seção 5.2.1 do Capítulo 5.

Figura 22 – Visões lateral e superior da região ADB, referente às estações E2 e E3 (estrutura “TORRE E”).



Fonte: Elaborada pelo autor.

6.3.1.2.6 Estrutura de suporte “TORRE F”

De acordo com a Equação 5.1:

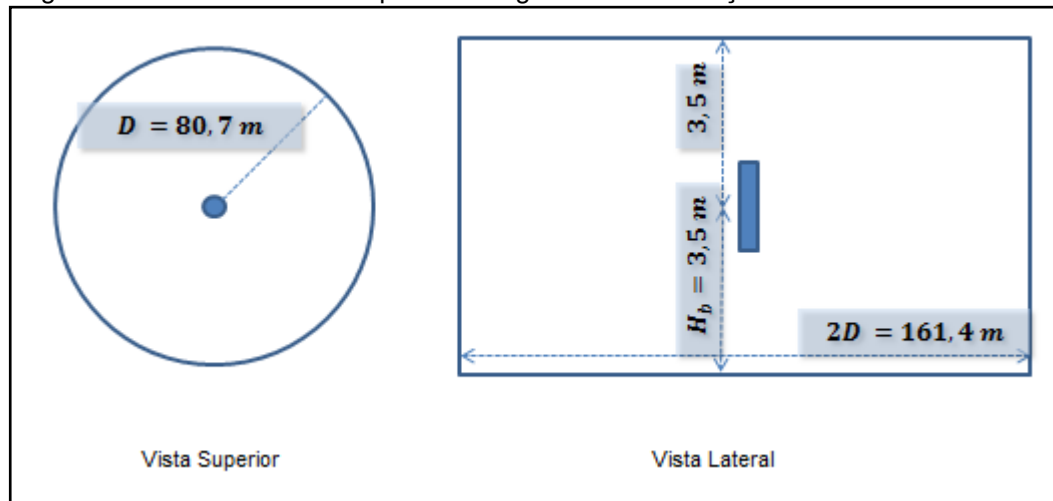
$$D = 1,3 \sqrt{\frac{7,108 \times 10^3}{2}} = 80,7 \text{ m} \quad (6.18)$$

De acordo com a Equação 5.2:

$$H_b = \max(3,5 ; 80 \text{tg}(0^\circ)) = 3,5 \text{ m} \quad (6.19)$$

As visões lateral e superior da região ADB, referente à estação G1, está representada na Figura 23, e foi feita de acordo com o caso 1, mostrado na Seção 5.2.1 do Capítulo 5.

Figura 23 – Visões lateral e superior da região ADB em relação à estrutura “TORRE F”.



Fonte: Elaborada pelo autor.

6.3.1.2.7 Estrutura de suporte “TORRE G”

Da mesma forma como foi feito para a estrutura “TORRE E”, foram calculadas duas regiões ADB, uma levando em consideração somente a estação G1, cuja antena é direcional, e outra levando em consideração as estações G2 e G3, cujas antenas são omnidirecionais e estão instaladas em alturas próximas.

6.3.1.2.7.1 Cálculo da ADB para a estação G1

De acordo com a Equação 5.1:

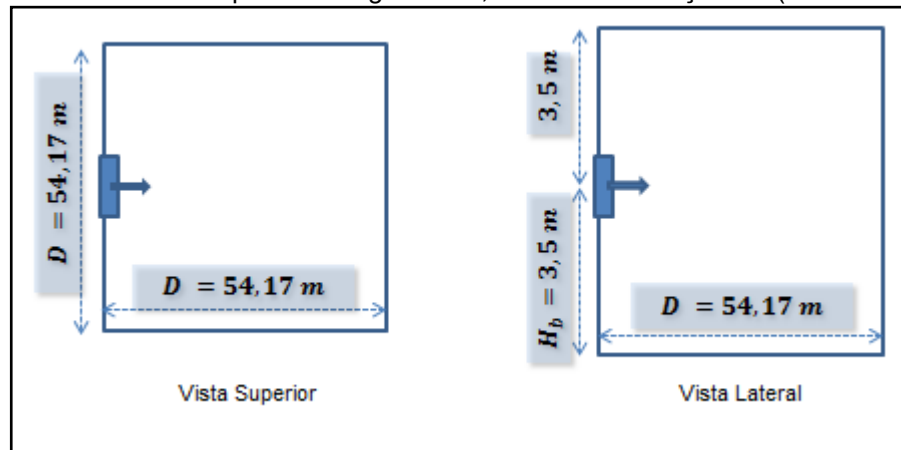
$$D = 1,3 \sqrt{\frac{0,115 \times 10^3}{2,74}} = 54,17 \text{ m} \quad (6.18)$$

De acordo com a Equação 5.2:

$$H_b = \max(3,5 ; 54,17 \text{tg}(0^\circ)) = 3,5 \text{ m} \quad (6.19)$$

As visões lateral e superior da região ADB, referente à estação G1, está representada na Figura 24, e foi feita de acordo com o caso 2, mostrado na Seção 5.2.1 do Capítulo 5.

Figura 24 – Visões lateral e superior da região ADB, referente à estação G1 (estrutura “TORRE G”).



Fonte: Elaborada pelo autor.

6.3.1.2.7.2 Cálculo da ADB para as estações G2 e G3

De acordo com a Equação 5.1:

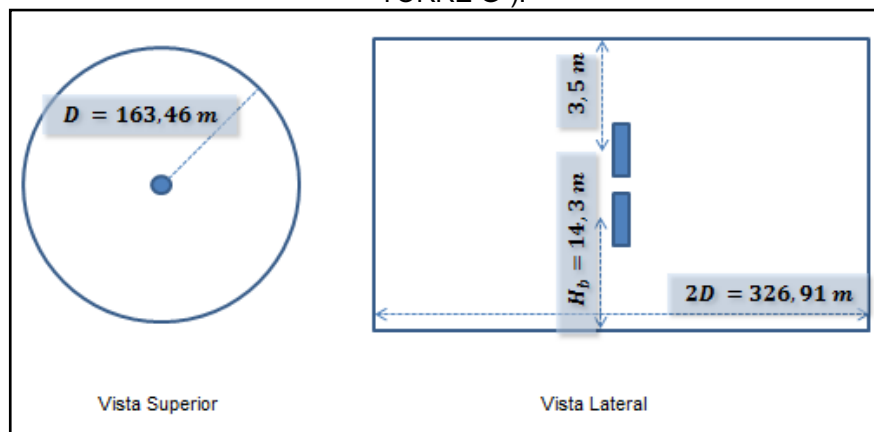
$$D = 1,3 \sqrt{\frac{24,059 \times 10^3}{2} + \frac{7,56 \times 10^3}{2}} = 163,46 \text{ m} \quad (6.20)$$

De acordo com a Equação 5.2:

$$H_b = \max(3,5 ; 163,46 \text{tg}(5^\circ)) = 14,3 \text{ m} \quad (6.21)$$

As visões lateral e superior da região ADB, referente às estações G2 e G3, está representada na Figura 25, e foi feita de acordo com o caso 5, mostrado na Seção 5.2.1 do Capítulo 5.

Figura 25 – Visões lateral e superior da região ADB, referente às estações G2 e G3 (estrutura “TORRE G”).



Fonte: Elabora pelo autor.

6.3.1.2.8 Estrutura de suporte “TORRE H”

De acordo com a Equação 5.1:

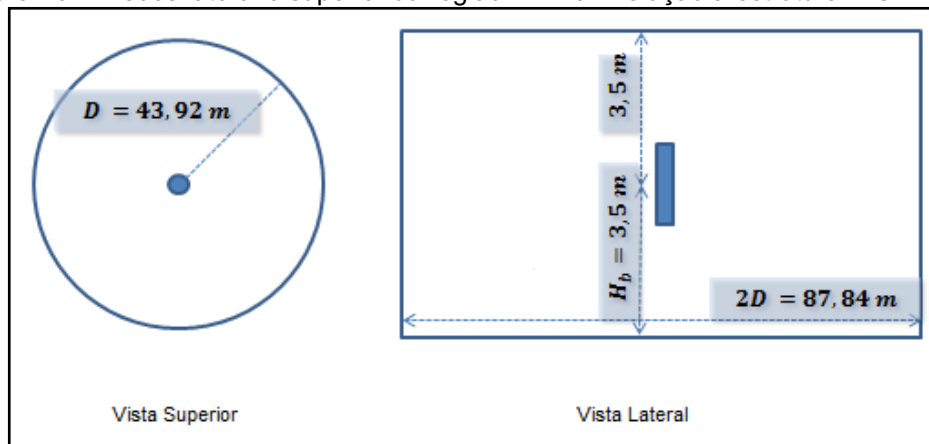
$$D = 1,3 \sqrt{\frac{2,283 \times 10^3}{2}} = 43,92 \text{ m} \quad (6.22)$$

De acordo com a Equação 5.2:

$$H_b = \max(3,5; 43,92 \text{tg}(0^\circ)) = 3,5 \text{ m} \quad (6.23)$$

As visões lateral e superior da região ADB em relação à estrutura de suporte “TORRE H” está ilustrada na Figura 26, e foi feita de acordo com o caso 1, mostrado na Seção 5.2.1 do Capítulo 5.

Figura 26 – Visões lateral e superior da região ADB em relação à estrutura “TORRE H”.



Fonte: Elaborada pelo autor.

6.3.1.2.9 Estrutura de suporte “TORRE I”

De acordo com a Equação 5.1:

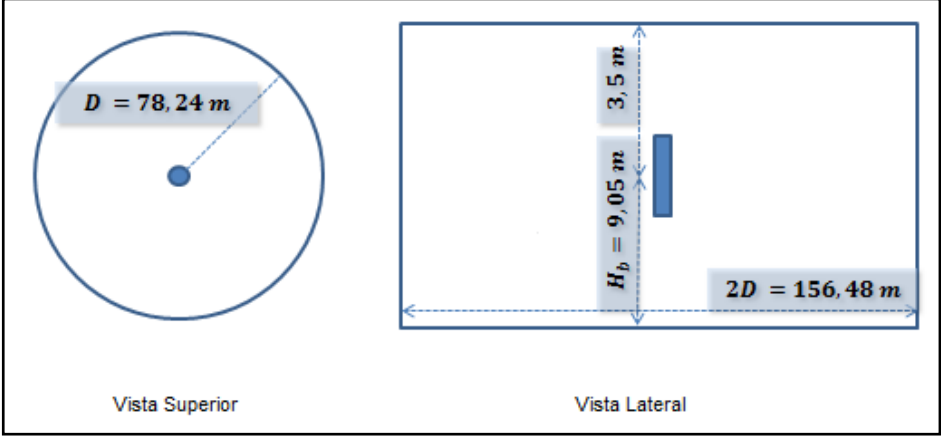
$$D = 1,3 \sqrt{\frac{9,545 \times 10^3}{2,62}} = 78,24 \text{ m} \quad (6.24)$$

De acordo com a equação 5.2:

$$H_b = \max(3,5 ; 78,24 \text{tg}(6,60^\circ)) = 9,05 \text{ m} \quad (6.25)$$

As visões lateral e superior da região ADB em relação à estrutura de suporte “TORRE I” está ilustrada na Figura 27, e foi feita de acordo com o caso 1, mostrado na Seção 5.2.1 do Capítulo 5.

Figura 27 – Visões lateral e superior da região ADB em relação à estrutura “TORRE I”.

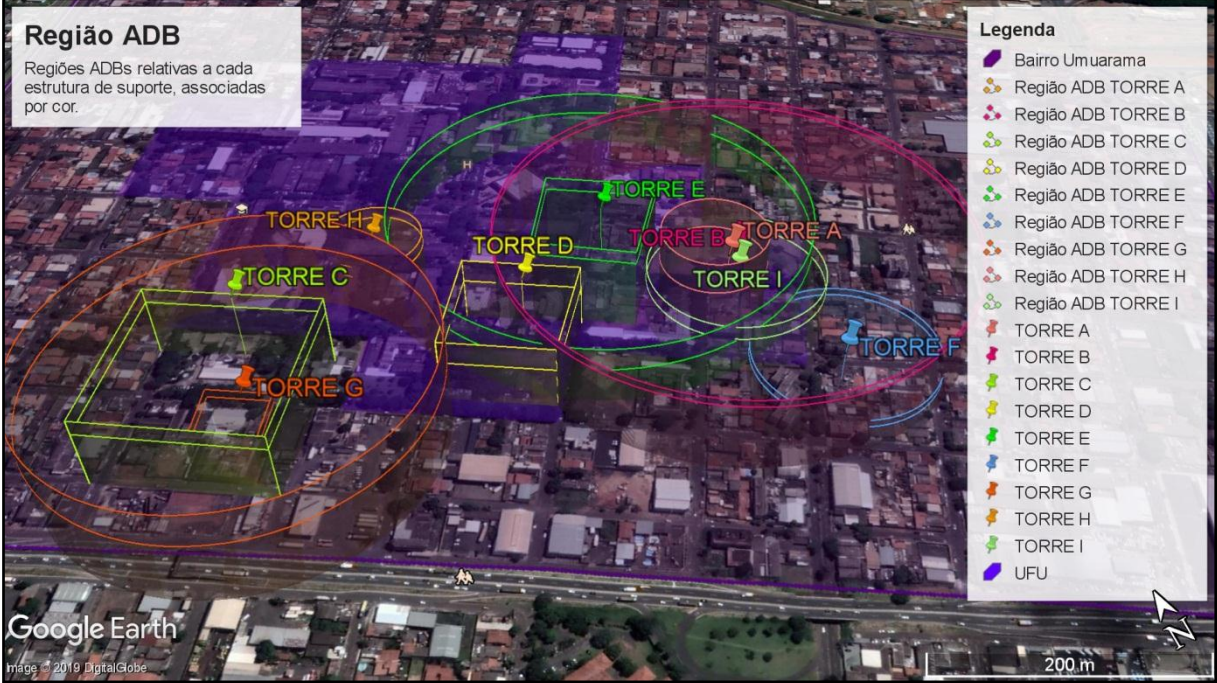


Fonte: Elaborada pelo autor.

6.3.1.3 Pontos de medição nos domínios de investigação

Para melhor visualização das regiões ADBs, a Figura 28, abaixo, mostra as regiões ADBs relacionadas a cada estrutura de suporte em formato 3D. Sendo essas, as regiões entre as curvas mais escuras.

Figura 28 – Regiões ADBs referente a cada estrutura de suporte.



Fonte: Adaptado de Google Earth.

Analisando a região ADB em relação a estrutura de suporte “TORRE A”, percebe-se que a construção mais alta possui, aproximadamente, 20 metros de altura e a região ADB começa a uma altura em relação ao solo de, aproximadamente, 54 metros (*altura antena mais baixa* – $H_b = 60 - 5,63$). Ou seja, em relação à estrutura “TORRE A”, não há domínio de investigação, pois acima de 20 metros não há região em que pessoas possam ter acesso.

Analisando a região ADB em relação à estrutura de suporte “TORRE B”, percebe-se que a construção mais alta possui, aproximadamente, 20 metros de altura e a região ADB começa a uma altura em relação ao solo de, aproximadamente, 67 metros (*altura antena mais baixa* – $H_b = 71 - 3,5$). Analisando a região, percebe-se que há um prédio residencial de aproximadamente 80 metros, sendo que os apartamentos do 13º ao 15º piso estão dentro da região ADB, já que a região ADB, vai até a uma altura de 75 metros (*altura antena mais alta* + $3,5 = 71 + 3,5$). Ou seja, esses apartamentos são domínios de investigação.

Analisando a região ADB em relação à estrutura de suporte “TORRE C”, percebe-se que a construção mais alta é um prédio residencial de três pisos que possui aproximadamente 15 metros de altura e a região ADB começa a uma altura em relação ao solo de, aproximadamente, 53 metros (*altura antena mais baixa* – $H_b = 64 - 10,58$). Ou seja, em relação à estrutura “TORRE C”, não há domínio de investigação, pois, acima de 15 metros não há região em que pessoas possam ter acesso.

Analisando a região ADB em relação à estrutura de suporte “TORRE D”, percebe-se que a construção mais alta é o Bloco 4Q da UFU e possui, aproximadamente, 30 metros de altura e a região ADB começa a uma altura em relação ao solo de, aproximadamente, 40 metros (*altura antena mais baixa* – $H_b = 45 - 5,37$). Ou seja, em relação à estrutura “TORRE D”, não há domínio de investigação, pois, acima de 30 metros não há região em que pessoas possam ter acesso.

Em relação à estação E1, a curva inferior da região ADB está, em relação ao solo, aproximadamente, a 68 metros (*altura antena mais baixa* – $H_b = 76,2 - 8,22$). Analisando a região, percebe-se que a construção mais alta é o Bloco 4K da UFU e possui, aproximadamente, 30 metros e não alcança a região ADB. Ou seja, em relação à estação E1 da estrutura da “TORRE E”, não há domínio de investigação.

Em relação às estações E2 e E3, a curva inferior da região ADB está, em relação ao solo, aproximadamente, a 34 metros (*altura antena mais baixa* – $H_b = 51 - 16,97$) e a curva superior a aproximadamente 55,5 metros (*altura antena mais alta* + $3,5 = 52 + 3,5$). Analisando a região, percebe-se que há um prédio residencial de aproximadamente 80 metros (mesmo da região ADB da “TORRE B”), sendo que os apartamentos do 6º ao 11º piso estão dentro da região ADB. Ou seja, esses apartamentos são domínios de investigação.

Em relação à estação G1, a curva inferior da região ADB está, em relação ao solo, aproximadamente, a 36,5 metros (*altura antena mais baixa* – $H_b = 40 - 3,5$). Analisando a região, percebe-se que as construções mais altas são alguns prédios, sendo que o maior deles possui quatro pisos e uma altura próxima a 20 metros, não alcançando a região ADB. Ou seja, em relação à estação G1 da estrutura “TORRE G”, não há domínio de investigação.

Em relação às estações G2 e G3, a curva inferior da região ADB está, em relação ao solo, aproximadamente, a 60 metros (*altura antena mais baixa* – $H_b = 74 - 14,3$). Analisando a região, percebe-se que a construção mais alta é o Bloco 4Q da UFU e possui no máximo 20 metros de altura. Ou seja, em relação à estação G2 e G3 da estrutura “TORRE G”, não há domínio de investigação.

Em relação à estrutura de suporte “TORRE H”, a curva inferior da região ADB está, em relação ao solo, aproximadamente, a 39,5 metros (*altura antena mais baixa* – $H_b = 43 - 3,5$). Analisando a região, percebe-se que a construção mais alta, possui no máximo 15 metros. Ou seja, em relação à estrutura “TORRE H”, não há domínio de investigação, pois, acima de 15 metros não há região em que pessoas possam ter acesso.

Por fim, analisando a região ADB em relação à estrutura de suporte “TORRE I”, percebe-se que a construção mais alta possui, aproximadamente, 20 metros de altura e a região ADB começa a uma altura em relação ao solo de, aproximadamente, 36 metros (*altura antena mais baixa* – $H_b = 45 - 9,05$). Ou seja, em relação à estrutura “TORRE I”, não há domínio de investigação, pois acima de 20 metros não há região em que pessoas possam ter acesso.

Portanto, há somente um único domínio de investigação e este está relacionado as estações B1, E2, E3. O ponto de medição está representado na Figura 29:

Figura 29 – Domínio de investigação referente às estações B1, E2 e E3.



Fonte: Adaptado de Google Earth.

6.3.2 Áreas críticas e de grande circulação de pessoas

As áreas críticas são áreas localizadas até 50 metros de hospitais, clínicas, escolas, creches e asilos. No bairro Umuarama as principais regiões de áreas críticas, são clínicas e hospitais pertencentes à Universidade Federal de Uberlândia.

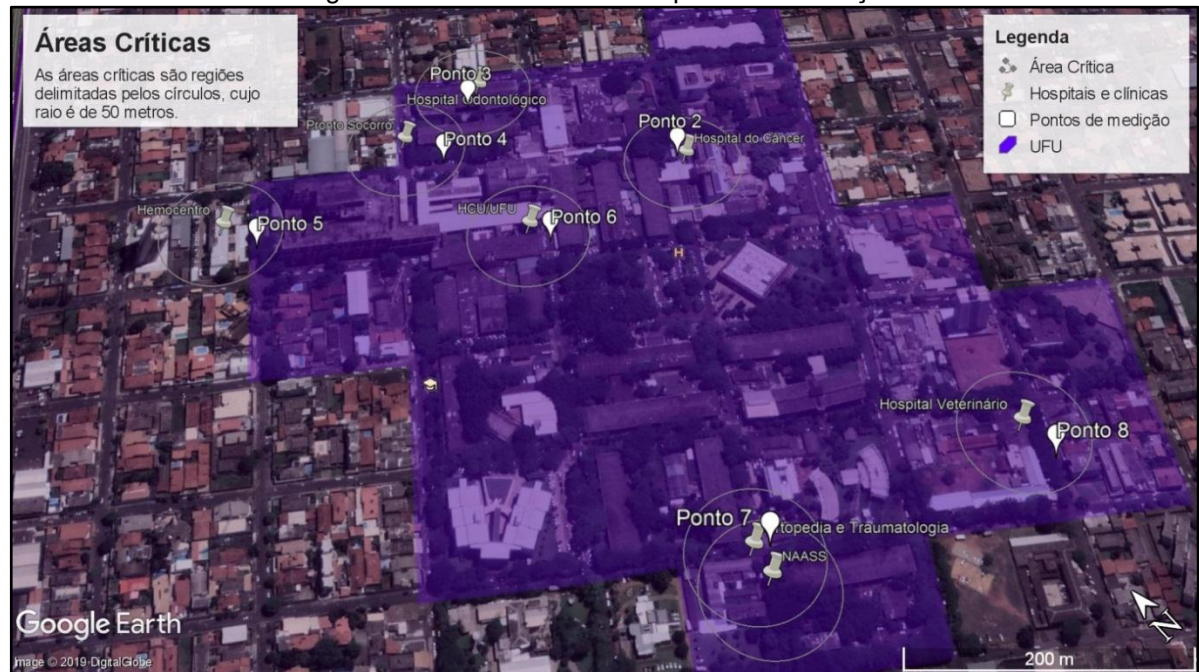
Na Figura 30 a região dentro do círculo (cinza) apresenta as áreas críticas e os pontos na cor branca são pontos os quais foram realizadas as medições diretas. As áreas críticas e os pontos de medição estão relacionados na Tabela 13:

Tabela 13 – Áreas críticas e pontos de medição correspondentes.

Áreas Críticas	Pontos de Medição
Hospital do Câncer	Ponto 2
Hospital Odontológico	Ponto 3
Pronto Socorro	Ponto 4
Hemocentro	Ponto 5
Hospital de Clínicas da UFU	Ponto 6
Ortopedia e Traumatologia/NAAS	Ponto 7
Hospital Veterinário	Ponto 8

Fonte: Elaborada pelo autor.

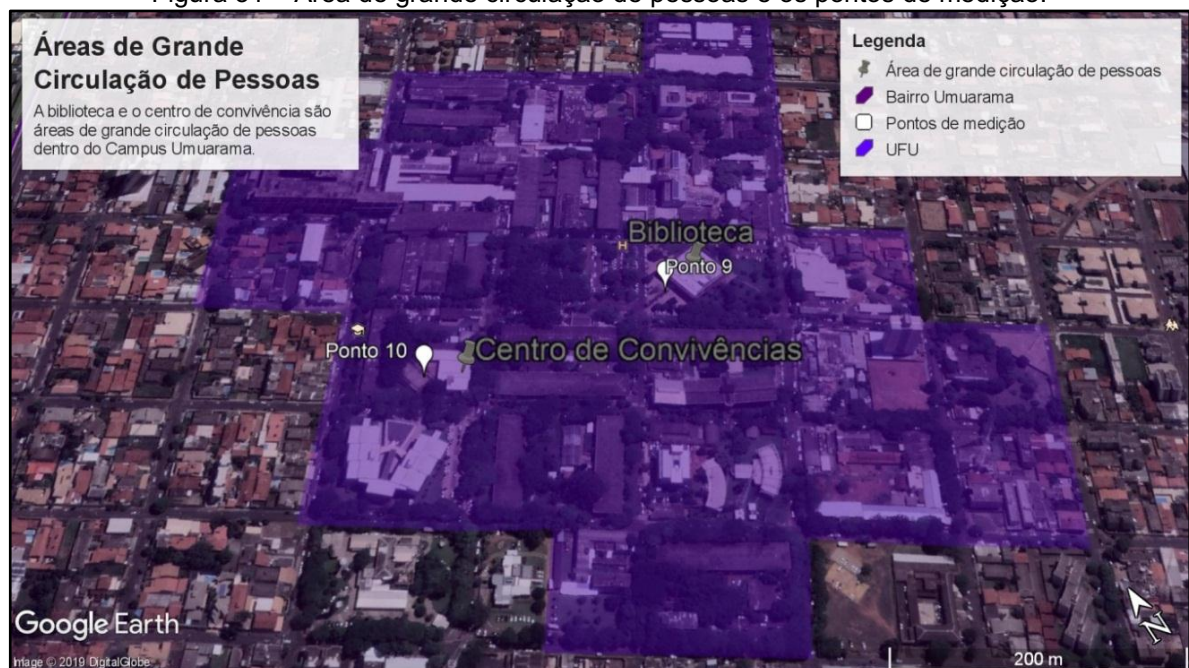
Figura 30 – Áreas críticas e os pontos de medição.



Fonte: Adaptado de Google Earth.

Como a maioria dos pontos medidos, estão dentro de um setor universitário todos eles são pontos os quais há uma grande circulação de pessoas. Mas, dois pontos específicos de grande relevância para considerar a grande circulação de pessoas foram considerados para medição, são eles: biblioteca e centro de convivência, como mostrado na Figura 31 pelos pontos 9 e 10, respectivamente.

Figura 31 – Área de grande circulação de pessoas e os pontos de medição.



Fonte: Adaptado de Google Earth.

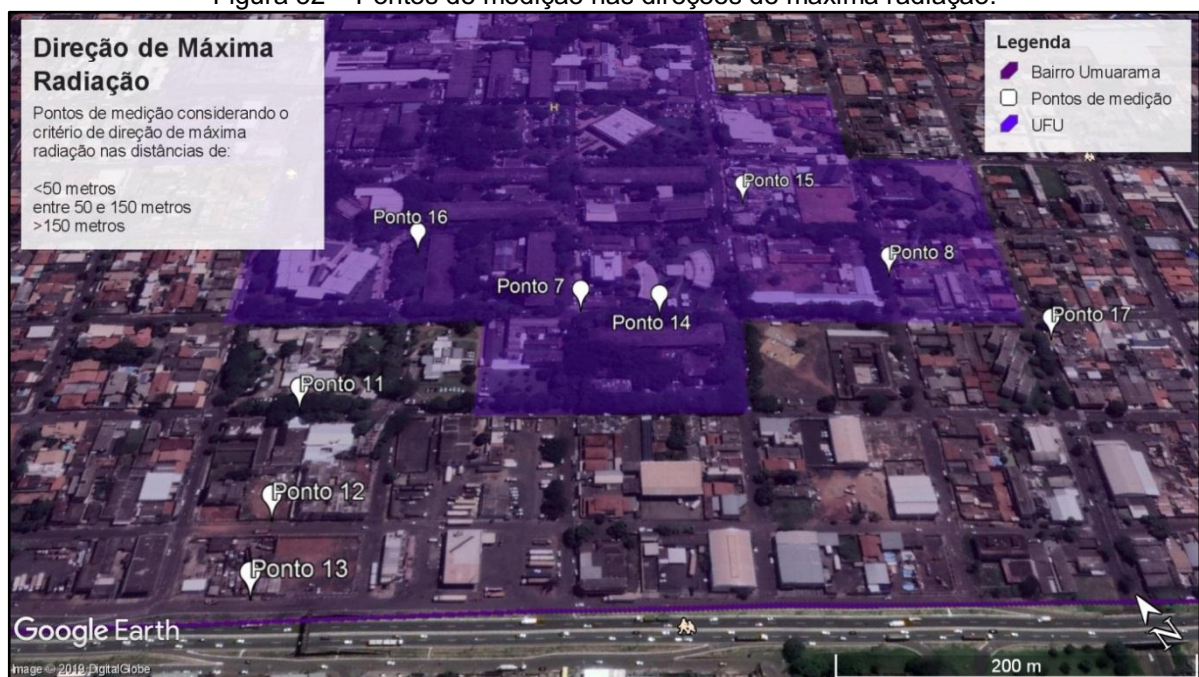
6.3.3 Direção de máxima radiação

As medições realizadas na direção de máxima radiação das antenas transmissoras devem ser coletadas em três pontos em distâncias diferentes contadas a partir da base da estrutura de suporte, sendo eles:

- a uma distância inferior a 50 metros;
- a uma distância entre 50 e 150 metros;
- a uma distância superior a 150 metros.

Como a máxima radiação de todas as antenas direcionais em análise é direcionada para o centro da cidade, os pontos escolhidos para estações com antenas instaladas na mesma estrutura de suporte foram os mesmos. Além disso, como são várias torres localizadas muito próximas umas das outras, alguns pontos nas direções de máxima radiação referentes a algumas estações analisadas, mesmo que em torres diferentes, coincidiram. Na Figura 32, estão os pontos de medição referente ao critério de máxima direção de radiação.

Figura 32 – Pontos de medição nas direções de máxima radiação.



Fonte: Adaptado de Google Earth.

A Tabela 14 lista para as estações, os pontos de medição referente à análise na direção de máxima radiação. Como as torres A, B e I estão muito próximas, então os pontos foram os mesmo para as estações da Torre A, Torre B e Torre I.

Tabela 14 – Pontos de medição nas direções de máxima radiação referente a cada estrutura de suporte.

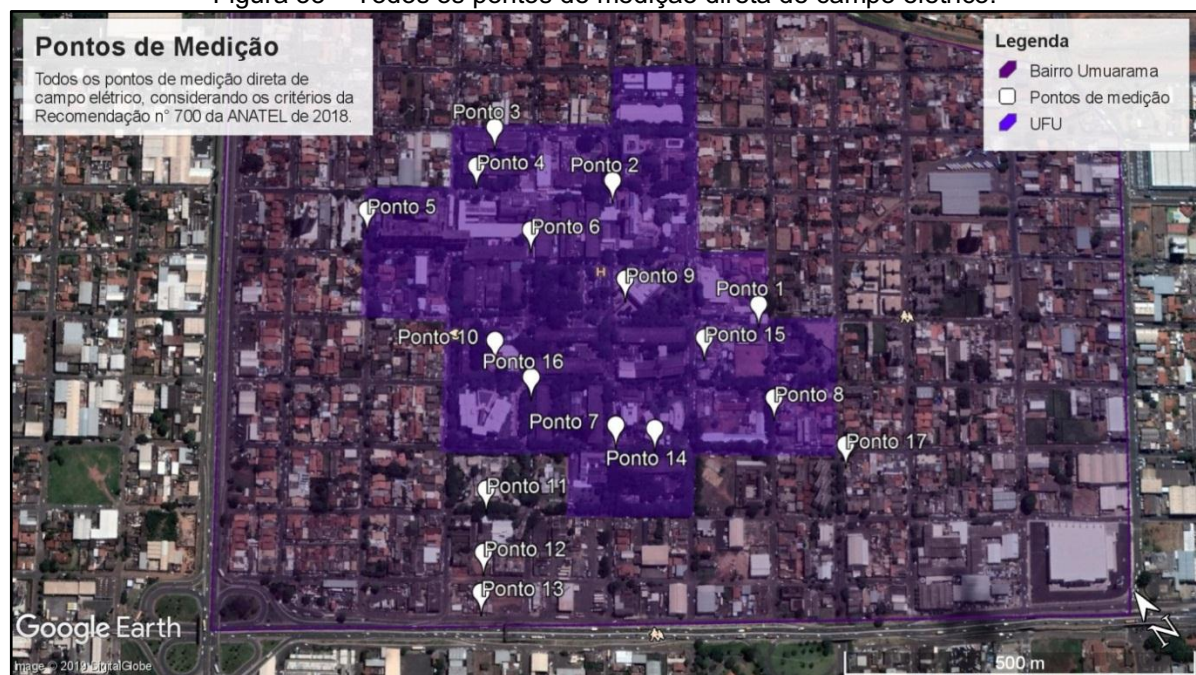
Estações	< 50 m	50 – 150 m	> 150 m
A1, A2, B1 e I1	Ponto 8	Ponto 15	Ponto 14
C1	Ponto 11	Ponto 12	Ponto 13
D1 e D2	Ponto 14	Ponto 7	Ponto 16
E1, E2 e E3	Ponto 15	Ponto 14	Ponto 7
F1	Ponto 17	Ponto 8	Ponto 15
G1, G2 e G3	Ponto 11	Ponto 12	Ponto 13
H1	Ponto 16	Ponto 7	Ponto 14

Fonte: Elaborada pelo autor.

6.4 Coleta de Dados

As medições diretas das intensidades de campo elétrico foram realizadas nos 17 pontos mostrados na Figura 33 escolhidos conforme os critérios mostrados na seção anterior.

Figura 33 – Todos os pontos de medição direta de campo elétrico.



Fonte: Adaptado de Google Earth.

A Tabela 15 lista as coordenadas geográficas de cada ponto de medição da Figura 33.

Tabela 15 – Coordenadas geográficas de todos os pontos de medição.

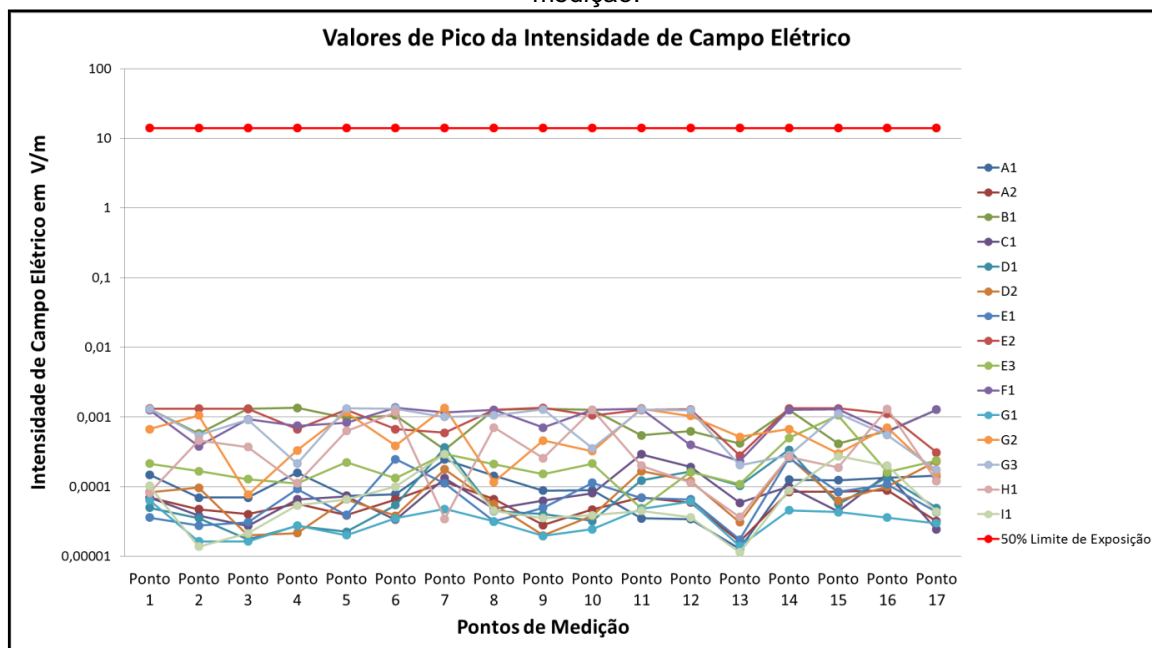
Pontos de Medição	Coordenadas Geográficas	
	Latitude	Longitude
Ponto 1	18°53'06.76"S	48°15'27.07"O
Ponto 2	18°52'58.21"S	48°15'29.59"O
Ponto 3	18°52'52.84"S	48°15'32.83"O
Ponto 4	18°52'54.03"S	48°15'34.70"O
Ponto 5	18°52'52.80"S	48°15'40.40"O
Ponto 6	18°52'57.98"S	48°15'34.31"O
Ponto 7	18°53'07.70"S	48°15'36.33"O
Ponto 8	18°53'10.81"S	48°15'29.22"O
Ponto 9	18°53'02.37"S	48°15'31.87"O
Ponto 10	18°53'01.31"S	48°15'38.83"O
Ponto 11	18°53'06.73"S	48°15'43.24"O
Ponto 12	18°53'09.02"S	48°15'45.03"O
Ponto 13	18°53'10.44"S	48°15'46.18"O
Ponto 14	18°53'08.85"S	48°15'34.87"O
Ponto 15	18°53'06.71"S	48°15'30.34"O
Ponto 16	18°53'03.67"S	48°15'38.39"O
Ponto 17	18°53'14.44"S	48°15'27.68"O

Fonte: Elaborada pelo autor.

Para determinar as posições do equipamento, em que serão realizadas as medidas, deve-se obter o valor de pico de exposição nos pontos de interesse, como citado na Seção 5.3.2.3. Como o equipamento utilizado é seletivo, foi coletado os valores de pico de cada estação nos pontos de medição. Esses valores, coletados em $dB\mu V/m$ foram convertidos para V/m , de acordo com a relação da Equação 6.26 e estão representados no gráfico da Figura 34.

$$E_{[V/m]} = 10^{\frac{E_{[dB\mu V/m]} - 120}{20}} \quad (6.26)$$

Figura 34 – Valores de pico da intensidade de campo elétrico de todas as estações em cada ponto de medição.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Pelo gráfico da Figura 34, é possível ver que, os valores de picos estão, muito abaixo de 50% do valor limite mais restrito, em uma ordem de 10^4 vezes menor. Portanto, de acordo com a análise do gráfico acima, as medições foram realizadas com o equipamento localizado apenas na altura de 1,70 metros, utilizando a média temporal de referência de 6 minutos. Dessa forma, foram coletados para cada estação, em cada ponto avaliado, 12 valores, sendo estes coletados em um intervalo de 30 segundos com o equipamento posicionado a uma altura de 1,70 metros.

A coleta de dados foi realizada durante os dias da semana de segunda à sexta-feira, nos períodos entre 08h00min e 11h00min horas e das 13h00min às 17h00min horas.

6.5 Considerações Finais

O propósito deste capítulo foi mostrar a metodologia utilizada para a realização deste trabalho. Inicialmente foi feita a varredura das estações de TV e FM que possuem suas instalações em Uberlândia. Para isto foi utilizado o site da ANATEL, o qual disponibiliza os planos básicos de todas as estações registradas. Com os planos básicos em mãos, verificaram-se quais estações tinham suas antenas instaladas no bairro Umuarama da cidade de Uberlândia, chegando a uma

quantidade de 18 estações registradas, e desse total, 15 delas foram utilizadas para análise.

Tendo, portanto a localização das antenas transmissoras das estações analisadas, o próximo passo foi escolher os pontos de medições diretas, sendo essa escolha guiada pela resolução nº 700 da ANATEL. Para isso, primeiramente foi analisado se havia domínios de investigação, em relação a cada estação de interesse, dessa forma, foi definido o primeiro ponto de avaliação. Os próximos pontos escolhidos foram em áreas críticas e regiões de grande circulação de pessoas. Por fim, o restante dos pontos escolhidos foi obedecendo ao critério de máxima direção de radiação. Chegou-se, então, a um total de 17 pontos para realizar-se as medições diretas.

A coleta de dados foi realizada em cada um dos 17 pontos, citados acima, com o equipamento 2640 da *BK Precision*, usando o tempo de referência de 6 minutos, em uma altura de 1,70 metros, durante os dias de segunda a sexta-feira, nos horários entre 8:00 e 11:00 horas e das 13:00 às 17:00 horas.

7 RESULTADOS

A análise dos valores medidos é feita por pontos de medição. Dessa forma, para cada ponto medido é apresentados os valores de campo elétrico, medidos por meio de medições diretas, comparando estes com os limites de exposição para público em geral.

Os limites de exposição para público em geral, são dados na Tabela 8 em V/m , como os dados coletados estão em $dB\mu V/m$, por meio da Equação 7.1, os valores limites foram convertidos para a mesma unidade dos dados coletados. Os valores limites convertidos para $dB\mu V/m$ estão listados na Tabela 16.

$$E_{dB\mu V/m} = 20 \log \frac{E_{V/m}}{10^{-6}} \quad (7.1)$$

Tabela 16 – Limites de exposição em termos de campo elétrico para público em geral, referente a cada estação.

Estações	Limite de Exposição em $dB\mu V/m$. (Público em Geral)
A1	150,68
A2	149,51
B1	148,94
C1	150,82
D1	150,95
D2	150,58
E1	150,22
E2	148,94
E3	148,94
F1	148,94
G1	150,18
G2	148,94
G3	148,94
H1	148,94
I1	149,98

Fonte: Elaborada pelo autor.

Além disso, como se trata de uma região com várias fontes transmissoras instaladas muito próximas umas as outras, os valores coletados também serão analisados pelo critério de exposição simultânea a campos de múltiplas frequências,

obtendo assim, conseqüentemente o valor do QET (parâmetro que determina a conformidade ou não de um local ao limite de exposição).

Para o critério de exposição simultânea, caso não haja nenhuma estação que ultrapasse o limiar de até 40 dB abaixo do limite de exposição no ponto de interesse, serão analisadas somente as estações que mais contribuem com o nível de exposição no ponto de análise, como citado na Seção 5.3.1.

7.1 Análise no “Ponto 1”

7.1.1 Medições diretas

Os valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 1”, por meio de medições diretas, estão listados na Tabela 17.

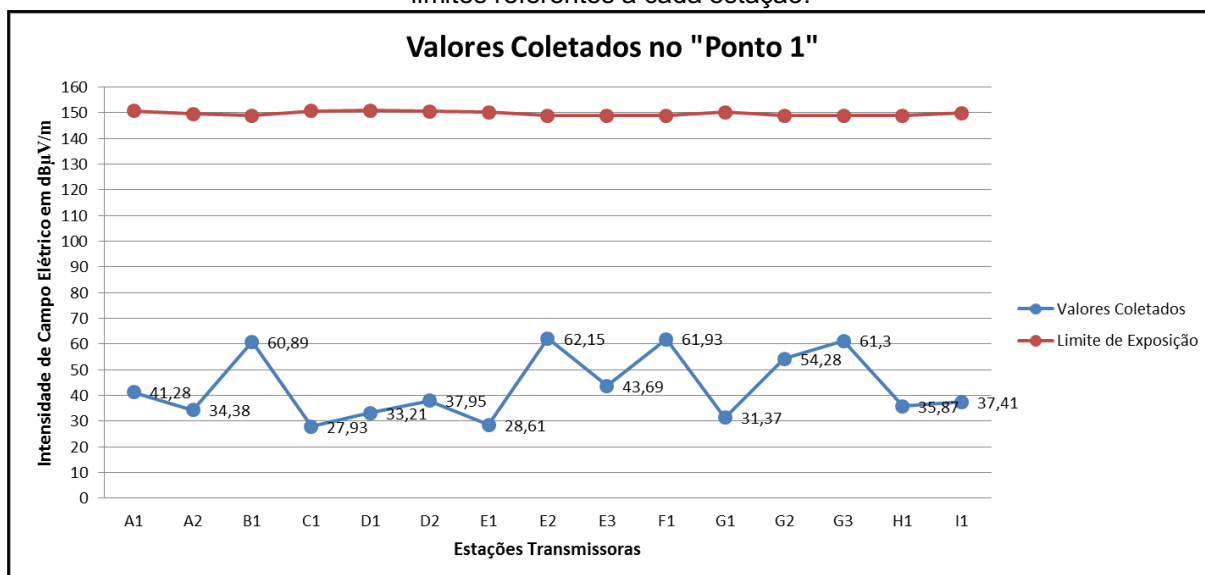
Tabela 17 – Valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 1”.

Estações	M.1	M.2	M.3	M.4	M.5	M.6	M.7	M.8	M.9	M.10	M.11	M.12	Média
A1	41,44	40,88	41,33	40,33	40,22	42	40,11	40,33	41,11	41,77	42,42	43,42	41,28
A2	34,18	36,9	35,59	35,18	33,81	34,18	35,18	33,72	33	33,05	34,8	33	34,38
B1	61	62,2	62,2	51	62,3	62,4	60	62	62,1	62,1	61,33	62	60,89
C1	33,36	36,91	26,86	26,3	25,93	26,13	25,6	26,33	26,8	27,5	26,33	27,08	27,93
D1	33,36	31,5	32,9	33	33,54	33	33,9	32,81	33	33,54	34	34	33,21
D2	38,38	38,44	38,22	37,88	37,88	37,88	38,11	36,83	37,55	37,88	38	38,33	37,95
E1	28,33	31,15	28,33	29,66	30,08	27,66	27,58	28,66	27,83	27,5	28,58	28	28,61
E2	62,3	62,4	62,3	62,3	62,4	62	62,2	62,3	61,66	62,3	61,33	62,3	62,15
E3	41,66	40,42	41,75	46,66	45,16	43,5	44,16	45,16	42,5	45,5	43,5	44,33	43,69
F1	62,03	62	62,01	62,03	62,02	62,02	62,02	62,04	61,33	62,03	62	61,66	61,93
G1	30,16	30,75	31,88	30,85	30,66	31,67	31,07	31,15	36,16	30,66	30,91	30,5	31,37
G2	54	55	52,66	53,75	54,25	55,5	52,66	55,25	51,8	54,5	55,5	56,5	54,28
G3	61,33	58	62	61,66	62,1	61,33	60,5	61,66	62,3	61,33	62	61,33	61,30
H1	38,2	36,28	35,66	36,57	35,16	36,28	35	36	36,14	36,14	35,83	33,16	35,87
I1	36,25	36,91	32,81	33,54	37,88	39,88	36,11	38,67	38,44	39,77	38,38	40,22	37,41

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 35 compara os valores médios da intensidade de campo elétrico coletados no “Ponto 1”, com os valores limites de exposição do público em geral, de acordo com a Tabela 16.

Figura 35 – Gráfico dos valores de campo elétrico em $dB\mu V/m$ coletados no “Ponto 1”, e os valores limites referentes a cada estação.



Fonte: Elaborada pelo autor.

7.1.1.1 Exposição simultânea a campos de múltiplas frequências

Como pode ser observado no gráfico da Figura 35, existem quatro estações com níveis de emissão muito próximos. A Tabela 18 lista os valores de campo elétrico, tanto os coletados, como os valores limites, das estações que mais contribuem com a exposição nesse ponto, são elas: B1, E2, F1 e G3.

Tabela 18 – Valores coletados e limites de exposição das estações que mais contribuem com os níveis de exposição no “Ponto 1”.

Estações	Valores Coletados		Limites de exposição	
	E $dB\mu V/m$	E V/m	E $dB\mu V/m$	E V/m
B1	60,89	0,00111	148,94	28
E2	62,15	0,0013	148,94	28
F1	61,93	0,00125	148,94	28
G3	61,3	0,0012	148,94	28

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 19 lista os parâmetros para o cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 1”.

Tabela 19 – Parâmetros de análise para cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 1”.

Estações	$E [V/m]$	$E_{lim}[V/m]$	E/E_{lim}	$(E/E_{lim})^2$
B1	0,00111	28	3,95678E-05	1,56561E-09
E2	0,0013	28	4,57448E-05	2,09259E-09
F1	0,00125	28	4,46007E-05	1,98923E-09
G3	0,0012	28	4,14803E-05	1,72062E-09
			QET=	7,36804E-09

Fonte: Elaborada pelo autor.

7.2 Análise no “Ponto 2”

7.2.1 Medições diretas

Os valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 2”, por meio de medições diretas, estão listados na Tabela 20.

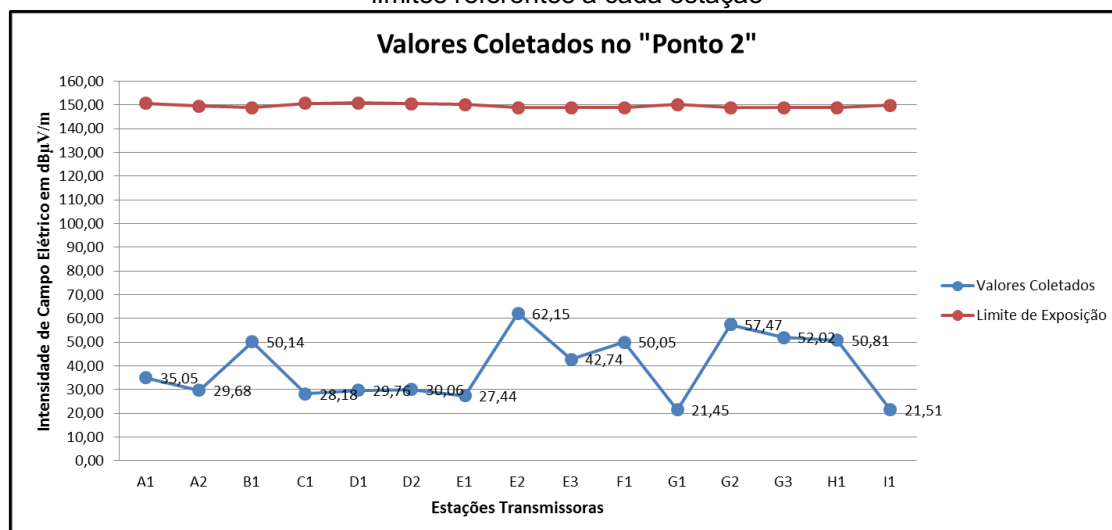
Tabela 20 – Valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 2”.

Estações	M.1	M.2	M.3	M.4	M.5	M.6	M.7	M.8	M.9	M.10	M.11	M.12	Média
A1	36,9	32,7	36	35,9	34,54	35,18	35	35,36	35	34,9	34,27	34,81	35,05
A2	32,4	30,64	27,69	29	27,76	28	28,28	33,57	29,16	30,64	28,35	30,71	29,68
B1	37	35	55,25	51	53,5	50,6	54,5	54,5	54,75	51,6	53	51	50,14
C1	30,66	31,65	30,58	30,16	28,8	28,66	28,91	28,83	20,3	28,16	26	25,46	28,18
D1	31	30,69	30,76	29,3	29,61	28,76	29,7	29,3	27,53	29,92	30,07	30,46	29,76
D2	28,53	29,53	29,7	29,92	39,7	28,92	28,84	28,53	29,15	29,38	28	30,46	30,06
E1	28,5	27,33	27	27,25	28,83	27,91	27,5	27	27,4	26,73	27,11	26,66	27,44
E2	62,3	62,4	62,3	62,3	62,4	62	62,2	62,3	61,66	62,3	61,33	62,3	62,15
E3	42,5	44	42,83	42,16	44,5	43	41,37	41,37	43	43,16	42,5	42,5	42,74
F1	50,6	50,2	51,6	48,8	50,8	50	50	50,4	48,2	51	51,2	47,75	50,05
G1	22,21	24,33	23,28	20,8	21,11	20,43	21	21	20,81	20,31	21,35	20,75	21,45
G2	58	54,75	57	60,5	56,5	60	58	59,33	54,5	59	54	58	57,47
G3	51,8	53,25	48,4	54	51,4	51,4	53,5	54,75	50	52	51,4	52,33	52,02
H1	48	50,8	52,33	51,4	50,4	50	50	53,25	51,54	51,4	49,8	50,8	50,81
I1	22,82	21,15	20,66	20,25	20,75	22,17	21,6	21,2	21,4	22,64	21,5	21,95	21,51

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 36 compara os valores médios da intensidade de campo elétrico coletados no “Ponto 2”, com os valores limites de exposição do público em geral, de acordo com a Tabela 16.

Figura 36 – Gráfico dos valores de campo elétrico em $dB\mu V/m$ coletados no “Ponto 2”, e os valores limites referentes a cada estação



Fonte: Elaborada pelo autor.

7.2.1.1 Exposição simultânea a campos de múltiplas frequências

Como pode ser observado no gráfico da Figura 36, existem três estações com níveis de emissão muito próximos. A Tabela 21 lista os valores de campo elétrico, tanto os coletados, como os valores limites, das estações que mais contribuem com o nível de exposição do ponto analisado, são elas: E2, G2 e G3.

Tabela 21 – Valores coletados e limites de exposição das estações que mais contribuem com os níveis de exposição no “Ponto 2”.

Estações	Valores Coletados		Limites de exposição	
	E $dB\mu V/m$	E V/m	E $dB\mu V/m$	E V/m
E2	62,15	0,001280855	148,94	28
G2	57,47	0,000747309	148,94	28
G3	52,02	0,000399025	148,94	28

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Tabela 22 lista os parâmetros para o cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 2”.

Tabela 22 – Parâmetros de análise para cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 2”.

Estações	$E [V/m]$	$E_{lim}[V/m]$	E/E_{lim}	$(E/E_{lim})^2$
E2	0,001280855	28	4,57448E-05	2,09259E-09
G2	0,000747309	28	2,66896E-05	7,12334E-10
G3	0,000399025	28	1,42509E-05	2,03088E-10
			QET=	3,00801E-09

Fonte: Elaborada pelo autor.

7.3 Análise no “Ponto 3”

7.3.1 Medições diretas

Os valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 3”, por meio de medições diretas, estão listados na Tabela 23.

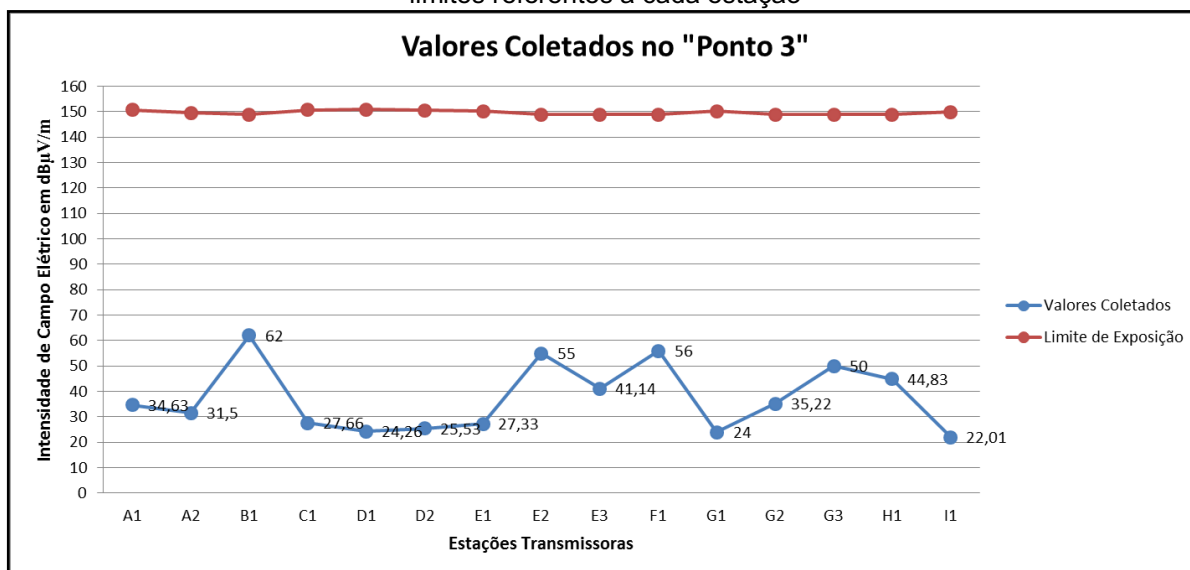
Tabela 23 – Valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 3”.

Estações	M.1	M.2	M.3	M.4	M.5	M.6	M.7	M.8	M.9	M.10	M.11	M.12	Média
A1	491	36	35,9	35	35,45	34,39	35,27	35,63	36,9	34,81	34,9	35,9	34,63
A2	473	29,3	31,92	31,42	30,35	31,7	30,71	31,57	31,92	31,57	32,1	31,35	31,5
B1	98,7	61	62,2	62,2	51	62,3	62,4	60	62	62,1	62,1	61,33	62
C1	569	25,73	26,6	27,33	26,92	25,46	26,43	22,26	26,66	28,33	28,8	27,91	27,66
D1	659	23,81	24,83	24,6	23,73	23,53	23,93	24	24,6	23,86	24,2	24,6	24,26
D2	605	25,76	26	25,4	25,2	25,66	25,2	25,46	25,33	25,1	25,53	25,66	25,53
E1	557	26,63	27,91	29,58	28	29,41	26,73	29,5	29,83	27,88	29,16	29	27,33
E2	100,7	51,4	53	50,4	62,3	53,5	54,25	55,57	55,5	54,5	54,5	51,6	55
E3	90,9	36,8	40,85	38,28	42,16	41,62	41,12	42,16	40,28	40,14	41,75	42,16	41,14
F1	101,9	55,5	55	56,5	48,8	54,5	57	57,5	58	57	59,33	55,5	56
G1	551	24,33	21,47	23,85	20,31	23,14	23,28	20,25	21,47	23,85	24	24,13	24
G2	106,5	32,55	34,7	30,33	30,5	36,4	37,71	37,57	35,55	37,42	36,7	36,4	35,22
G3	95,1	50,6	49	49,8	54	51,4	59,2	48	50,4	51,4	50,6	52,4	50
H1	107,5	45	40,57	41	51,4	44	43,16	44,33	43	43,66	41,87	42,5	44,83
I1	527	21,4	21,5	22,11	22,5	26,65	21,25	20,33	21,87	22,09	20,76	21,6	22,01

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 37 ompara os valores médios da intensidade de campo elétrico coletados no “Ponto 3”, com os valores limites de exposição do público em geral, de acordo com a Tabela 16.

Figura 37 – Gráfico dos valores de campo elétrico em $dB\mu V/m$ coletados no “Ponto 3”, e os valores limites referentes a cada estação



Fonte: Elaborada pelo autor.

7.3.1.1 Exposição simultânea a campos de múltiplas frequências

Como pode ser observado no gráfico da Figura 37, existem três estações com níveis de emissão muito próximos. A Tabela 24 lista os valores de campo elétrico, tanto os coletados, como os valores limites, das estações que mais contribuem com a exposição no ponto analisado, são elas: B1, E2 e F1.

Tabela 24 – Valores coletados e limites de exposição das estações que mais contribuem com os níveis de exposição no “Ponto 3”.

Estações	Valores Coletados		Limites de exposição	
	E $dB\mu V/m$	E V/m	E $dB\mu V/m$	E V/m
B1	62	0,00126	148,94	28
E2	55	0,00056	148,94	28
F1	56	0,00063	148,94	28

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Tabela 25 lista os parâmetros para o cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 3”.

Tabela 25 – Parâmetros de análise para cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 3”.

Estações	$E [V/m]$	$E_{lim}[V/m]$	E/E_{lim}	$(E/E_{lim})^2$
B1	0,00126	28	4,49616E-05	2,02155E-09
E2	0,00056	28	2,00836E-05	4,03352E-10
F1	0,00063	28	2,25342E-05	5,0779E-10
			QET=	2,93269E-09

Fonte: Elaborada pelo autor.

7.4 Análise no “Ponto 4”

7.4.1 Medições diretas

Os valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 4”, por meio de medições diretas, estão listados na Tabela 26.

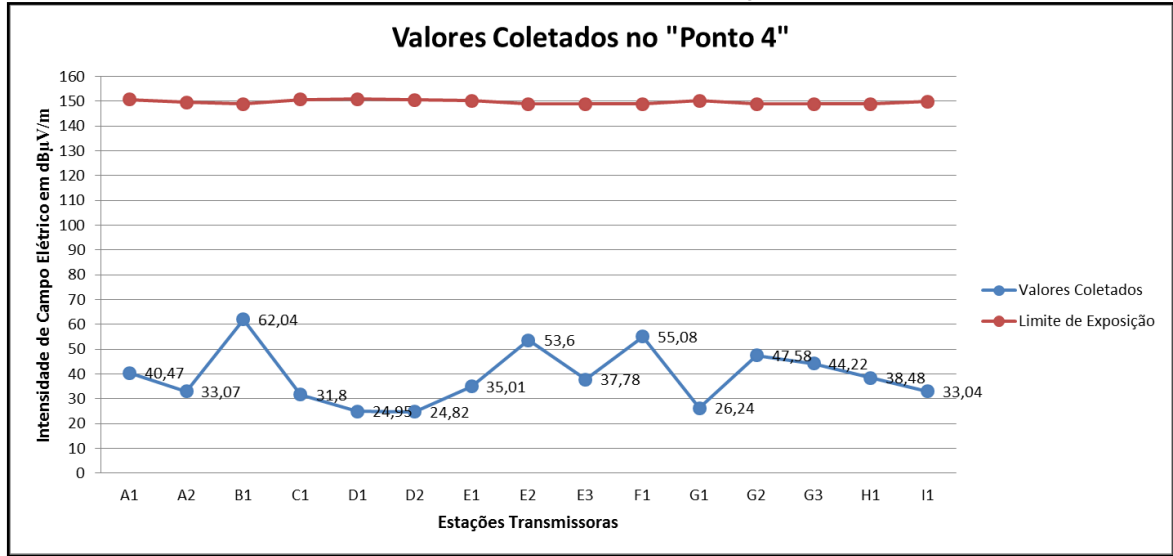
Tabela 26 – Valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 4”.

Estações	M.1	M.2	M.3	M.4	M.5	M.6	M.7	M.8	M.9	M.10	M.11	M.12	Média
A1	40,77	34,18	41,66	38,77	40,22	43	39,33	44	39,77	44	39,22	40,66	40,47
A2	30,14	34,27	35,09	33,9	34	32,7	31,7	31,42	32,9	33,9	34,09	32,7	33,07
B1	62,07	61,33	62,05	62,07	62,07	62,07	62,61	62,05	62,04	62,07	62,05	62	62,04
C1	30,66	36,33	30,5	30,58	31,07	29,76	31,07	36,33	31,36	31,61	31,38	31	31,80
D1	24,66	24,33	24,6	24,73	28,8	24,86	25,06	25,26	23,06	24,66	24,46	24,93	24,95
D2	26,18	24,12	24,06	25	24,5	26,68	25,9	25,8	24,18	24,12	23,8	23,53	24,82
E1	30,58	31,15	29	33,9	36,6	38,57	38,47	39,37	37,75	36,18	33,9	34,69	35,01
E2	51,8	56,5	55,5	53	55,5	52	52,66	51,8	52,66	53,25	54	54,5	53,60
E3	41	37	36,3	36,1	38,42	37,42	39,25	38,28	37	37,85	38,71	36	37,78
F1	56	56,75	55,5	56,5	56,5	53,75	53,5	54,5	52,66	53,25	54,5	57,5	55,08
G1	20,87	26,26	26,73	27,4	25,42	26,53	26	26,46	28,83	26,66	27,33	26,4	26,24
G2	45,33	49	48,6	46,42	47,5	46	47,5	46,57	46,85	49,8	47	50,4	47,58
G3	41	45,16	46	46,66	42,66	43	43,5	43,5	43,83	45	45,83	44,5	44,22
H1	39,75	41	38,14	37,71	38,42	37,39	39,25	37,71	38,65	37	39,37	37,42	38,48
I1	31,71	34,09	32,62	34,54	32	31,71	34,63	33,69	33,27	33	32,9	32,27	33,04

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 38 compara os valores médios da intensidade de campo elétrico coletados no “Ponto 4”, com os valores limites de exposição do público em geral, de acordo com a Tabela 16.

Figura 38 – Gráfico dos valores de campo elétrico em $dB\mu V/m$ coletados no “Ponto 4”, e os valores limites referentes a cada estação



Fonte: Elaborada pelo autor.

7.4.1.1 Exposição simultânea a campos de múltiplas frequências

Como pode ser observado no gráfico da Figura 38, existem três estações com níveis de emissão muito próximos. A Tabela 27 lista os valores de campo elétrico, tanto os coletados, como os valores limites, das estações que mais contribuem com os níveis de exposição do ponto analisado, são eles: B1, E2 e F1.

Tabela 27 – Valores coletados e limites de exposição das estações que mais contribuem com os níveis de exposição no “Ponto 4”.

Estações	Valores Coletados		Limites de exposição	
	E $dB\mu V/m$	E V/m	E $dB\mu V/m$	E V/m
B1	62,04	0,00126	148,94	28
E2	53,6	0,00048	148,94	28
F1	55,08	0,00057	148,94	28

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Tabela 28 lista os parâmetros para o calculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 4”.

Tabela 28 – Parâmetros de análise para cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 4”.

Estações	E [V/m]	E_{lim} [V/m]	E/E_{lim}	$(E/E_{lim})^2$
B1	0,00126	28	4,51692E-05	2,04025E-09
E2	0,00056	28	1,70939E-05	2,92203E-10
F2	0,00063	28	2,02695E-05	4,10851E-10
			QET=	2,74331E-09

Fonte: Elaborada pelo autor.

7.5 Análise no “Ponto 5”

7.5.1 Medições diretas

Os valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 5”, por meio de medições diretas, estão listados na Tabela 29.

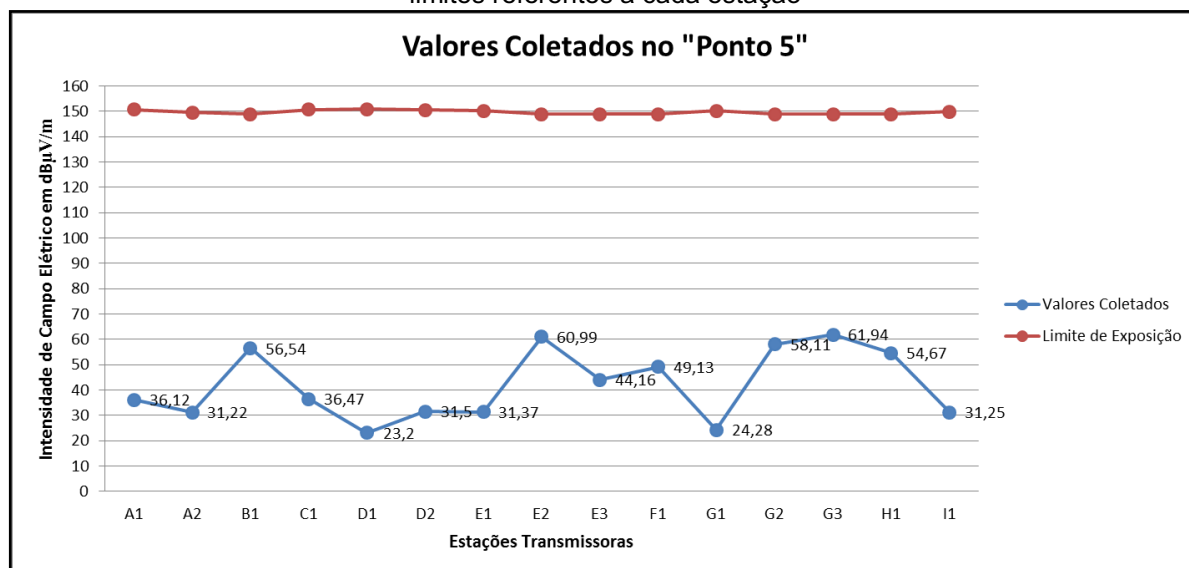
Tabela 29 – Valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 5”.

Estações	M.1	M.2	M.3	M.4	M.5	M.6	M.7	M.8	M.9	M.10	M.11	M.12	Média
A1	35,72	37,37	36,63	36,54	36,72	36	34,09	35,9	36,45	35,18	36	36,82	36,12
A2	31,21	30,35	31,21	30,14	31,78	31,5	31,64	31	31,85	30,57	31,85	31,57	31,22
B1	56	57,5	56,5	57,5	55,25	59,66	56,25	56,5	58	57,5	56,25	51,6	56,54
C1	36,45	37,25	36,63	36,9	36,45	36,18	35,9	36,36	36,54	36	35,9	37,12	36,47
D1	27,07	26,53	23,33	23,4	23,13	22,8	21,58	23,93	22,66	21,05	21,41	21,52	23,20
D2	31,61	31,85	31,42	31,35	30,69	36,07	36,36	29,92	29,84	29,76	29,3	29,84	31,50
E1	30,41	30,66	31,53	30,91	31,23	31,93	31,69	31,23	31,92	31,84	31,61	31,5	31,37
E2	61,66	62	61,66	61	60,5	61,33	62,02	62	60,5	59,76	57,5	62	60,99
E3	41,25	45,16	42,66	47	46,16	46	45,83	42,16	42	44,5	41,5	45,66	44,16
F1	49	49,4	48,2	47	48,6	48,8	58,4	46,66	47,5	48,6	48	49,4	49,13
G1	23,64	24,4	25,35	25,778	23	22,71	24,63	26,06	25	24,66	21,82	24,33	24,28
G2	58,5	59,33	60,5	57,5	56	58	56,75	59,66	61,33	53,75	57	59	58,11
G3	62,04	62	61,66	62,02	62,02	62,03	61,66	62	62,5	62,04	61,33	62,03	61,94
H1	56	53,25	54,5	55,25	53	54,25	54,25	54,5	56	55,5	55,5	54	54,67
I1	28	30,64	29,64	29,92	28,7	27,85	36,35	31	30,57	36,35	29,78	36,21	31,25

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 39 compara os valores médios da intensidade de campo elétrico coletados no “Ponto 5”, com os valores limites de exposição do público em geral, de acordo com a Tabela 16.

Figura 39 – Gráfico dos valores de campo elétrico em $dB\mu V/m$ coletados no “Ponto 5”, e os valores limites referentes a cada estação



Fonte: Elaborada pelo autor.

7.5.1.1 Exposição simultânea a campos de múltiplas frequências

Como pode ser observado no gráfico da Figura 39, existem três estações com níveis de emissão muito próximos. A Tabela 30, abaixo, lista os valores de campo elétrico, tanto os coletados, como os valores limites, das estações que mais contribuem com o nível de exposição do ponto analisado, são elas: E2, G2 e G3.

Tabela 30 – Valores coletados e limites de exposição das estações que mais contribuem com os níveis de exposição no “Ponto 5”.

Estações	Valores Coletados		Limites de exposição	
	E $dB\mu V/m$	E V/m	E $dB\mu V/m$	E V/m
E2	60,99	0,00112	148,94	28
G2	58,11	0,00080	148,94	28
G3	61,94	0,00125	148,94	28

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Tabela 31, abaixo, lista os parâmetros para o cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 5”.

Tabela 31 – Parâmetros de análise para cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 5”.

Estações	$E [V/m]$	$E_{lim}[V/m]$	E/E_{lim}	$(E/E_{lim})^2$
E2	0,00112	28	4,0026E-05	1,60208E-09
G2	0,00080	28	2,87304E-05	8,25437E-10
G3	0,00125	28	4,46521E-05	1,99381E-09
			QET=	4,42133E-09

Fonte: Elaborada pelo autor.

7.6 Análise no “Ponto 6”

7.6.1 Medições diretas

Os valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 6”, por meio de medições diretas, estão listados na Tabela 32.

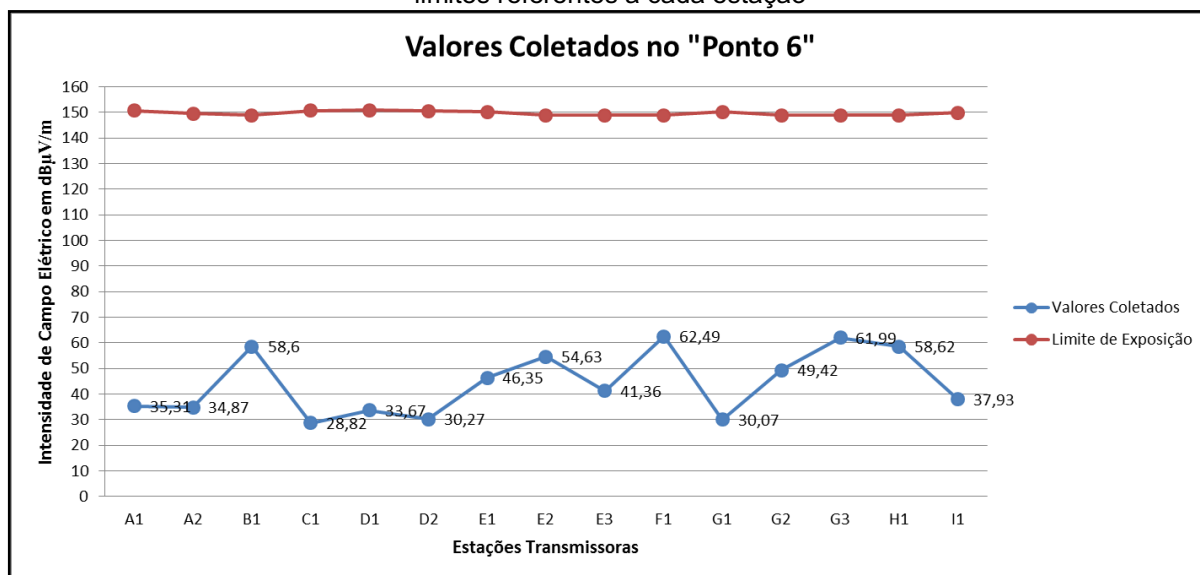
Tabela 32 – Valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 6”.

Estações	M.1	M.2	M.3	M.4	M.5	M.6	M.7	M.8	M.9	M.10	M.11	M.12	Média
A1	35,9	35,72	34,63	35,09	34,9	35,09	34,72	35,36	34,27	34,81	35,36	37,87	35,31
A2	32,9	31,64	35,9	36,33	35,9	35,72	34,66	35,45	35	35	34,54	35,45	34,87
B1	60,5	57,5	59	60	59,66	58	56,5	58	57,5	59,33	57,5	59,66	58,60
C1	30,08	30,58	28,41	28,75	28,25	28,83	28,41	27,41	27,58	29,66	29,3	28,58	28,82
D1	34,18	34,69	34,45	34,27	34	33,81	33,72	33,66	31,92	33,54	32,81	33	33,67
D2	28,76	30,46	30,69	30,3	29,84	30,76	30,38	30,23	29,69	30,07	30,38	31,7	30,27
E1	44,85	46,12	46,12	47,33	45,5	46,25	45,37	46,25	47,16	46	47,87	47,33	46,35
E2	56,5	55,5	54,25	54	53	55,55	53	53	55	55,5	56	54,25	54,63
E3	40,85	40,71	41,87	39,5	41,62	41,75	41,7	41,87	40,28	42,5	41,87	41,75	41,36
F1	62,3	62,6	62,7	62,6	62,5	62,3	62,5	62,6	62,7	62,4	62,2	62,5	62,49
G1	30,41	30,75	30,91	30,66	30,25	29,46	29	30,08	29,84	29,53	29,84	30,16	30,07
G2	48	49,8	50,2	50,4	51,8	47,25	49,4	50	49,8	50,4	45,53	50,4	49,42
G3	61	60	62,3	62,2	62,4	62,2	62,3	62,4	62,3	62,3	62,1	62,4	61,99
H1	61,33	59,66	60	59	60	56,5	59,66	58	57	59,33	58	55	58,62
I1	37,66	40	36,33	38,55	40	38	38,55	38,77	36,91	36,5	36,91	37	37,93

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 40 compara os valores médios da intensidade de campo elétrico coletados no “Ponto 6”, com os valores limites de exposição do público em geral, de acordo com a Tabela 16.

Figura 40 – Gráfico dos valores de campo elétrico em $dB\mu V/m$ coletados no “Ponto 6”, e os valores limites referentes a cada estação



Fonte: Elaborada pelo autor.

7.6.1.1 Exposição simultânea a campos de múltiplas frequências

Como pode ser observado no gráfico da Figura 40, existem quatro estações com níveis de emissão muito próximos. A Tabela 33 lista os valores de campo elétrico, tanto os coletados, como os valores limites, das estações que mais contribuem com o nível de exposição no ponto analisado, são elas: B1, F1, G3 e H1.

Tabela 33 – Valores coletados e limites de exposição das estações que mais contribuem com os níveis de exposição no “Ponto 6”.

Estações	Valores Coletados		Limites de exposição	
	E $dB\mu V/m$	E V/m	E $dB\mu V/m$	E V/m
B1	58,6	0,00085	148,94	28
F1	62,49	0,00133	148,94	28
G3	61,99	0,00126	148,94	28
H1	58,62	0,0008531	148,94	28

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Tabela 34 lista os parâmetros para o cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 6”.

Tabela 34 – Parâmetros de análise para cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 6”.

Estações	E [V/m]	E_{lim} [V/m]	E/E_{lim}	$(E/E_{lim})^2$
B1	0,00085	28	3,03978E-05	9,24025E-10
F1	0,00133	28	4,7571E-05	2,263E-09
G3	0,00126	28	4,49099E-05	2,0169E-09
H1	0,0008531	28	3,04679E-05	9,28291E-10
			QET=	6,13221E-09

Fonte: Elaborada pelo autor.

7.7 Análise no “Ponto 7”

7.7.1 Medições diretas

Os valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 7”, por meio de medições diretas, estão listados na Tabela 35.

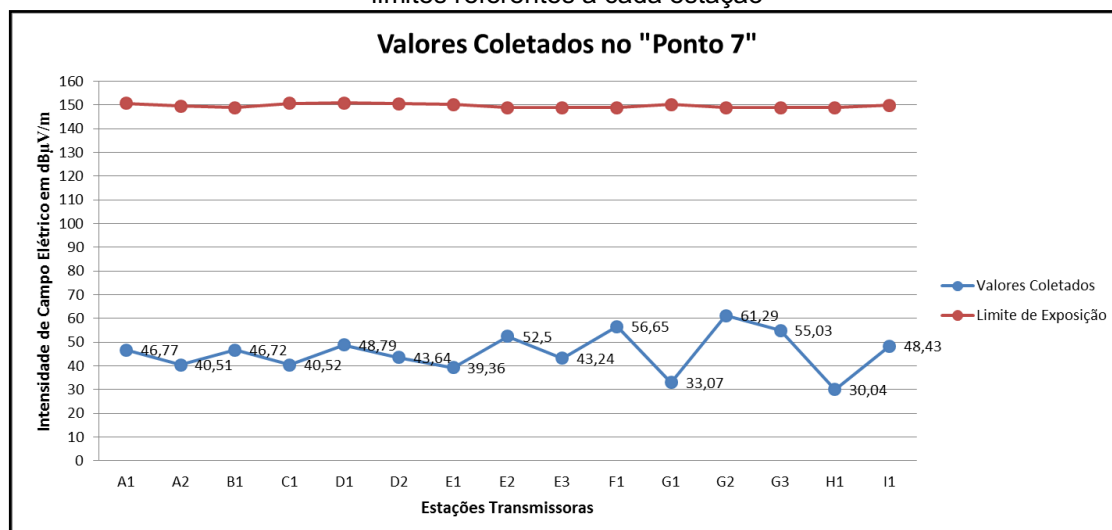
Tabela 35 – Valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 7”.

Estações	M.1	M.2	M.3	M.4	M.5	M.6	M.7	M.8	M.9	M.10	M.11	M.12	Média
A1	45,14	46,57	47	46,85	46,28	46,85	46,71	47	47,2	47,8	47	46,85	46,77
A2	40,55	40	39,62	40,88	41,11	40,66	41,33	41	40,88	41,44	38,22	40,44	40,51
B1	44,5	41	43,83	42,2	49,8	50,6	50,4	43,43	49,6	46,66	50	48,6	46,72
C1	36,9	38,22	41	40,37	40,88	42,28	42,44	40,22	40,88	40,88	41,22	41	40,52
D1	48,71	48,71	48,28	48,14	51,28	50,57	48,14	48	47,42	48,71	48,49	49	48,79
D2	42	43,75	44	42,42	42	41,9	45	45	44,62	44,12	44,62	44,25	43,64
E1	39,37	39,12	40	35,6	39,25	41	40	39,62	39,37	39,37	39,75	39,87	39,36
E2	51,2	53,25	54	51,4	51	54,5	53,75	53	47,25	55,5	51,4	53,75	52,50
E3	49,4	44,16	45,5	44,5	42,33	42,33	41,75	41,75	43	42	43	39,12	43,24
F1	55	55,75	58	56,75	57	61,33	53,5	55	59	55	57,5	56	56,65
G1	33	32,8	33	32,3	33,5	32,8	33,6	33,56	33	32,92	33,6	32,8	33,07
G2	62,65	61,33	60	61,66	62	61	60,5	61	61	62	61	61,33	61,29
G3	56,25	60	55,25	55,5	58,5	56,25	55,5	54,75	56	52,66	52	47,75	55,03
H1	30,75	29,63	29,9	29,9	29,9	30,33	30	29,45	30,33	30,08	30,16	30	30,04
I1	49	49,2	49,2	49,4	49,2	49,2	49,4	49,2	49,2	49	49,2	40	48,43

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 41 compara os valores médios da intensidade de campo elétrico coletados no “Ponto 7”, com os valores limites de exposição do público em geral, de acordo com a Tabela 16.

Figura 41 – Gráfico dos valores de campo elétrico em $dB\mu V/m$ coletados no “Ponto 7”, e os valores limites referentes a cada estação



Fonte: Elaborada pelo autor.

7.7.1.1 Exposição simultânea a campos de múltiplas frequências

Como pode ser observado no gráfico da Figura 41, existem três estações com níveis de emissão muito próximos. A Tabela 36 lista os valores de campo elétrico, tanto os coletados, como os valores limites, das estações que mais contribuem com o nível de exposição do ponto analisado, são elas: F1, G2 e G3.

Tabela 36 – Valores coletados e limites de exposição das estações que mais contribuem com os níveis de exposição no “Ponto 7”.

Estações	Valores Coletados		Limites de exposição	
	E $dB\mu V/m$	E V/m	E $dB\mu V/m$	E V/m
F1	56,55	0,00067	148,94	28
G2	61,29	0,00116	148,94	28
G3	55,03	0,00056	148,94	28

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Tabela 37 lista os parâmetros para o cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 7”.

Tabela 37 – Parâmetros de análise para cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 7”.

Estações	$E [V/m]$	$E_{lim}[V/m]$	E/E_{lim}	$(E/E_{lim})^2$
F1	0,00067	28	2,40072E-05	5,76347E-10
G2	0,00116	28	4,14326E-05	1,71666E-09
G3	0,00056	28	2,01531E-05	4,06148E-10
			QET=	2,69915E-09

Fonte: Elaborada pelo autor.

7.8 Análise no “Ponto 8”

7.8.1 Medições diretas

Os valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 8”, por meio de medições diretas, estão listados na Tabela 38.

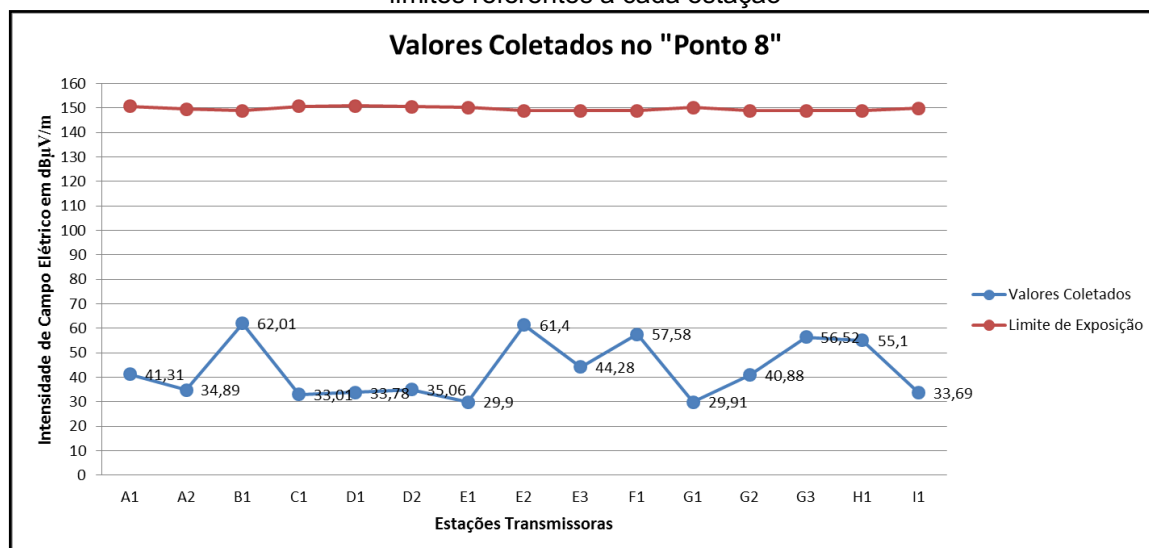
Tabela 38 – Valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 8”.

Estações	M.1	M.2	M.3	M.4	M.5	M.6	M.7	M.8	M.9	M.10	M.11	M.12	Média
A1	41,33	40,66	42,28	41	40,22	41	41	41,11	40,88	40,11	43,14	43	41,31
A2	35,9	36,36	36,45	35,63	35,54	34,18	34,17	33,8	35,67	32,19	33,98	34,8	34,89
B1	62,05	62,05	62,04	62,06	62,02	62,04	61,66	62	62,03	62,04	62,05	62,06	62,01
C1	33,66	33,75	33,7	32,87	31,98	31,76	33,78	32,65	33,98	32,87	32,5	32,56	33,01
D1	33	32,87	32,89	33,09	34,76	34,87	34,54	34,76	32,09	34,65	33,86	33,98	33,78
D2	35	35,76	35,87	35,3	34,87	34,76	34,76	34,75	33,76	35,87	34,99	34,98	35,06
E1	30	29,84	29,78		29,66	29,55	29,76	29,7	29	30,87	30,65	30,12	29,90
E2	61,33	61	62	61,33	61	62	61	61	62,02	61,66	60,5	62	61,40
E3	45,16	43,5	44,66	40,57	46,5	45	43,33	43	45,66	45,16	44	44,87	44,28
F1	62	58	59,66	58,5	54	55,5	56,25	59	55,5	58	56,5	58	57,58
G1	30	29,99	28,7	29,5	28,64	30,98	30,56	30,87	29,77	29,67	29,64	30,65	29,91
G2	41	40,09	40,9	40	40,98	41	41,3	41,33	41	41	40,9	41	40,88
G3	52	51,8	54	56,25	59,33	59,66	60,5	56,75	55	59,66	57	56,25	56,52
H1	55,5	52,66	56,25	54,25	57	55,5	53,5	56	55	55,5	53,75	56,25	55,10
I1	33,09	35,6	34,76	34,86	33,56	33,67	34,56	32,76	32	33,9	32,89	32,66	33,69

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 42 compara os valores médios da intensidade de campo elétrico coletados no “Ponto 8”, com os valores limites de exposição do público em geral, de acordo com a Tabela 16.

Figura 42 – Gráfico dos valores de campo elétrico em $dB\mu V/m$ coletados no “Ponto 8”, e os valores limites referentes a cada estação



Fonte: Elaborada pelo autor.

7.8.1.1 Exposição simultânea a campos de múltiplas frequências

Como pode ser observado no gráfico da Figura 42, existem cinco estações com níveis de emissão próximos. A Tabela 39 lista os valores de campo elétrico, tanto os coletados, como os valores limites, das estações que mais contribuem com o nível de exposição do ponto analisado, são elas: B1, E2, F1, G3 e H1.

Tabela 39 – Valores coletados e limites de exposição das estações que mais contribuem com os níveis de exposição no “Ponto 8”.

Estações	Valores Coletados		Limites de exposição	
	E $dB\mu V/m$	E V/m	E $dB\mu V/m$	E V/m
B1	62,01	0,0013	148,94	28
E2	61,04	0,0011	148,94	28
F1	57,58	0,0008	148,94	28
G3	56,53	0,0007	148,94	28
H1	55,1	0,0006	148,94	28

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Tabela 40 lista os parâmetros para o cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 8”.

Tabela 40 – Parâmetros de análise para cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 8”.

Estações	$E [V/m]$	$E_{lim}[V/m]$	E/E_{lim}	$(E/E_{lim})^2$
B1	0,0013	28	4,50134E-05	2,02621E-09
E2	0,0011	28	4,02571E-05	1,62063E-09
F1	0,0008	28	2,70297E-05	7,30607E-10
G3	0,0007	28	2,3952E-05	5,73699E-10
H1	0,0006	28	2,03162E-05	4,12747E-10
			QET=	5,36389E-09

Fonte: Elaborada pelo autor.

7.9 Análise no “Ponto 9”

7.9.1 Medições diretas

Os valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 9”, por meio de medições diretas, estão listados na Tabela 41.

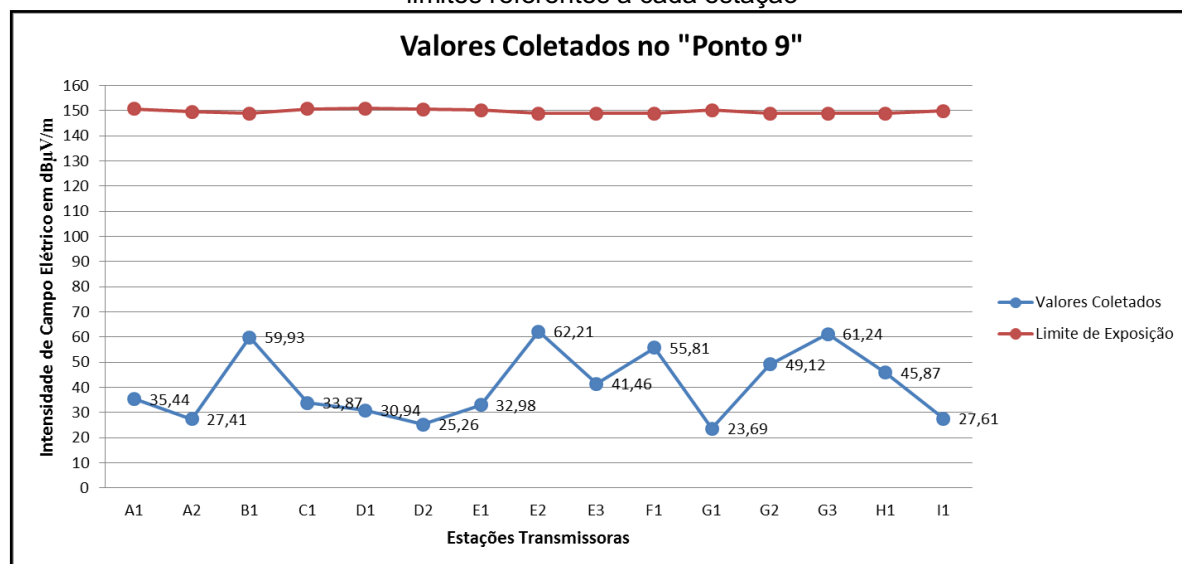
Tabela 41 – Valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 9”.

Estações	M.1	M.2	M.3	M.4	M.5	M.6	M.7	M.8	M.9	M.10	M.11	M.12	Média
A1	35,57	33,42	36,57	37,71	38,88	36	36,42	35,86	34,85	33,85	34,57	31,6	35,44
A2	29	27,62	28,55	26,9	26,54	26,63	24,9	28,33	26,54	27	27,87	29	27,41
B1	62	60,5	57,5	60	59,33	60,5	59	59,33	59	60	59,66	62,3	59,93
C1	36	35	31,88	33	32,28	33,87	33,62	33,28	34,71	33,75	35	34	33,87
D1	32,14	30,8	30,9	31,4	30,9	30	31,3	30,4	30	31,33	32,14	30	30,94
D2	25,5	25,64	25,5	24,98	24,87	25,08	25,06	25	25,5	26	25,06	24,87	25,26
E1	31,66	33,74	32,85	32,57	32,85	34	32,71	32,14	33,42	34	33	32,85	32,98
E2	62,2	62,1	62,4	62	62,2	62,4	61,66	62,3	62	62,4	62,3	62,6	62,21
E3	43,66	41,87	41,75	38,71	42,5	43,5	40,28	41,5	41,62	41,12	41,62	39,37	41,46
F1	56	55,5	56,25	54	55,5	55,5	57	55,75	55	56,25	56	57	55,81
G1	23,9	23	23,9	23,08	23,76	24	25,89	24	23,9	23,78	23	22,1	23,69
G2	48	48,2	45,8	53,25	50,6	48,8	48,6	48,2	49	50,8	48	50,2	49,12
G3	60	62,2	61,33	62,1	62	62	60,5	59	61,66	61,33	60,6	62,1	61,24
H1	48,2	46,28	45,66	46,57	45,16	46,28	45	46	46,14	46,14	45,83	43,16	45,87
I1	31	26,83	24,9	29	27	26,83	25,85	24,72	26,5	28,66	29	31	27,61

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 43 compara os valores médios da intensidade de campo elétrico coletados no “Ponto 9”, com os valores limites de exposição do público em geral, de acordo com a Tabela 16.

Figura 43 – Gráfico dos valores de campo elétrico em $dB\mu V/m$ coletados no “Ponto 9”, e os valores limites referentes a cada estação



Fonte: Elaborada pelo autor.

7.9.1.1 Exposição simultânea a campos de múltiplas frequências

Como pode ser observado no gráfico da Figura 43, existem três estações com níveis de emissão muito próximos. A Tabela 42 lista os valores de campo elétrico, tanto os coletados, como os valores limites, das estações que mais contribuem com o nível de exposição no ponto analisado, são elas: B1, E2, e G3.

Tabela 42 – Valores coletados e limites de exposição das estações que mais contribuem com os níveis de exposição no “Ponto 9”.

Estações	Valores Coletados		Limites de exposição	
	E $dB\mu V/m$	E V/m	E $dB\mu V/m$	E V/m
B1	59,93	0,00099	148,94	28
E2	62,21	0,00129	148,94	28
G3	61,24	0,00115	148,94	28

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Tabela 43 lista os parâmetros para o cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 9”.

Tabela 43 – Parâmetros de análise para cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 9”.

Estações	$E [V/m]$	$E_{lim}[V/m]$	E/E_{lim}	$(E/E_{lim})^2$
B1	0,00099	28	3,54276E-05	1,25512E-09
E2	0,00129	28	4,60619E-05	2,1217E-09
G3	0,00115	28	4,11948E-05	1,69701E-09
			QET=	5,07382E-09

Fonte: Elaborada pelo autor.

7.10 Análise no “Ponto 10”

7.10.1 Medições diretas

Os valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 10”, por meio de medições diretas, estão listados na Tabela 44.

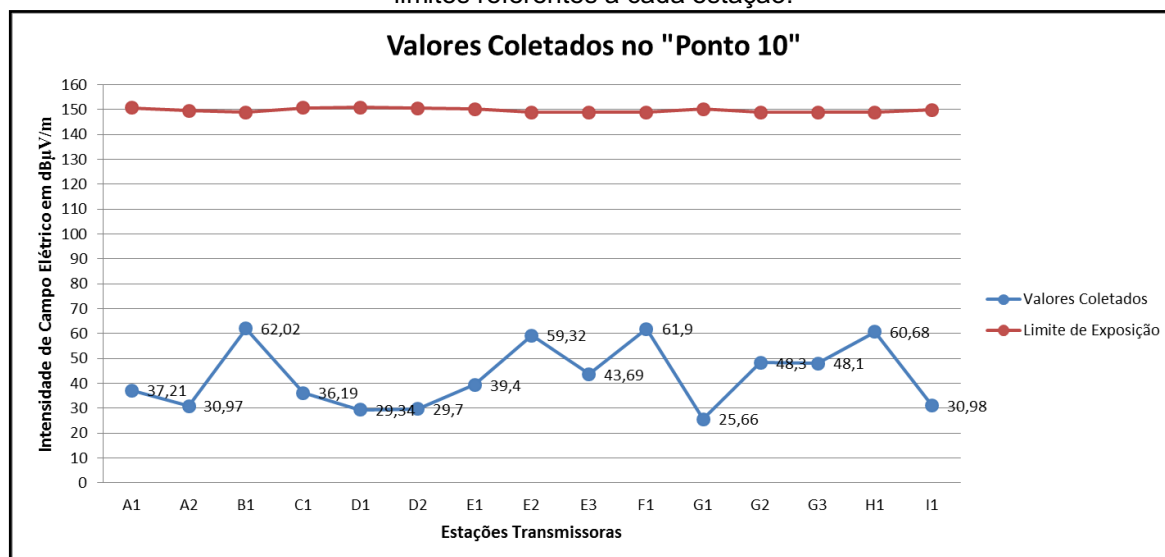
Tabela 44 – Valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 10”.

Estações	M.1	M.2	M.3	M.4	M.5	M.6	M.7	M.8	M.9	M.10	M.11	M.12	Média
A1	39	38	36,27	37,5	37,62	36,81	36,63	36,62	35,9	37	38,33	36,81	37,21
A2	33,45	29,84	31,07	29,61	31,07	29	32,3	31	31	31,92	30,92	30,42	30,97
B1	62,05	62,02	62,02	62,03	62,04	62	62,02	62,01	62	62,01	62,05	62,01	62,02
C1	37	36,18	36,9	37	37,75	36,54	36,27	36,9	26,26	38,11	38	37,37	36,19
D1	29	29,53	29,84	28,46	29,07	29,38	29	29,23	28,92	29,53	30	30,15	29,34
D2	31,64	27,63	27,23	28,84	29,38	31,28	31,64	30,38	31,07	28,92	29,61	28,76	29,70
E1	39	38,44	38,88	38,77	38,55	38,88	38,33	39,25	41,11	40,33	41,11	40,11	39,40
E2	59	59,66	59,33	59	59	60,5	59,33	60,5	60,5	58,5	59	57,5	59,32
E3	41,66	40,42	41,75	46,66	45,16	43,5	44,16	45,16	42,5	45,5	43,5	44,33	43,69
F1	61,33	62,01	62,01	62	62	62	62,03	62,02	61,33	62	62,03	62,02	61,90
G1	26,2	26,66	27,83	26,6	26,66	26,2	25	24,4	26,06	24	24,86	23,42	25,66
G2	49,6	49,2	49,4	47,25	47,5	45,6	50,2	48,2	48	48	49,4	47,25	48,30
G3	44	44,5	40,75	51	51	50	48	49	50,2	49,8	50,4	48,6	48,10
H1	60	60	59	61,66	62	59,33	60,5	61	60,5	60,5	62	61,66	60,68
I1	30,7	31	31,7	31,28	31,42	31,5	31,85	30,5	30,5	31	30,07	30,18	30,98

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 44 compara os valores médios da intensidade de campo elétrico coletados no “Ponto 10”, com os valores limites de exposição do público em geral, de acordo com a Tabela 16.

Figura 44 – Gráfico dos valores de campo elétrico em $dB\mu V/m$ coletados no “Ponto 10”, e os valores limites referentes a cada estação.



Fonte: Elaborada pelo autor.

7.10.1.1 Exposição simultânea a campos de múltiplas frequências

Como pode ser observado no gráfico da Figura 44, existem quatro estações com níveis de emissão muito próximos. A Tabela 45 lista os valores de campo elétrico, tanto os coletados, como os valores limites, das estações que mais contribuem com o nível de exposição do ponto analisado, são elas: B1, E2, F1 e H1.

Tabela 45 – Valores coletados e limites de exposição das estações que mais contribuem com os níveis de exposição no “Ponto 10”.

Estações	Valores Coletados		Limites de exposição	
	E $dB\mu V/m$	E V/m	E $dB\mu V/m$	E V/m
B1	62,02	0,00126	148,94	28
E2	59,32	0,00092	148,94	28
F1	61,9	0,00124	148,94	28
H1	60,68	0,001081	148,94	28

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Tabela 46 lista os parâmetros para o cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 10”.

Tabela 46 – Parâmetros de análise para cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 10”.

Estações	$E [V/m]$	$E_{lim}[V/m]$	E/E_{lim}	$(E/E_{lim})^2$
B1	0,00126	28	4,50653E-05	2,03088E-09
E2	0,00092	28	3,30249E-05	1,09065E-09
F1	0,00124	28	4,4447E-05	1,97553E-09
H1	0,001081	28	3,86226E-05	1,49171E-09
			QET=	6,58876E-09

Fonte: Elaborada pelo autor.

7.11 Análise no “Ponto 11”

7.11.1 Medições diretas

Os valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 11”, por meio de medições diretas, estão listados na Tabela 47.

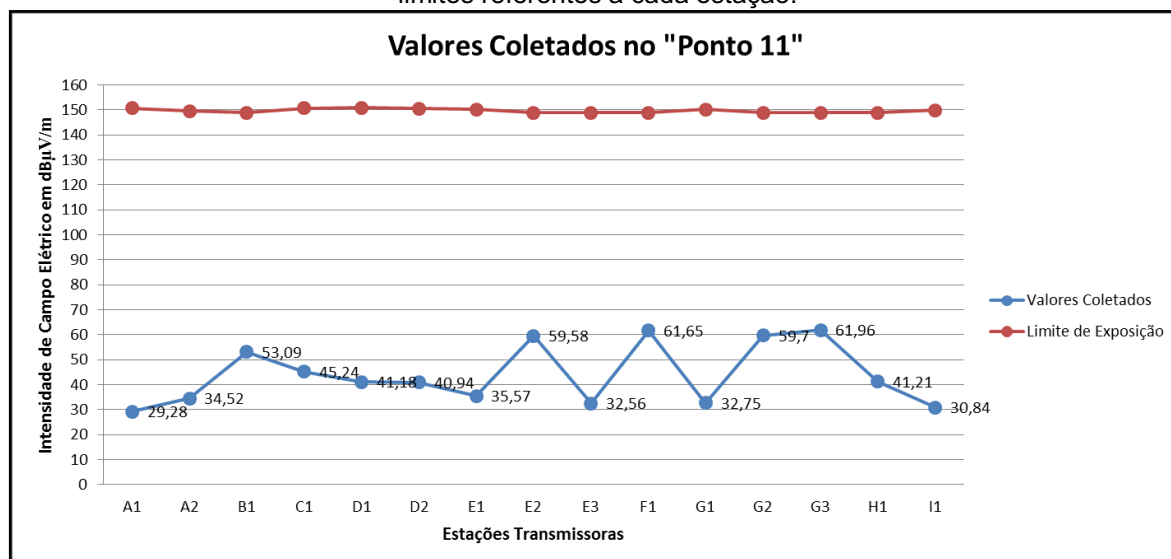
Tabela 47 – Valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 11”.

Estações	M.1	M.2	M.3	M.4	M.5	M.6	M.7	M.8	M.9	M.10	M.11	M.12	Média
A1	30	28,42	27,46	28,85	30,92	30,64	30,42	28,42	28,5	29	29,07	29,61	29,28
A2	34	33,9	33,54	33,9	34,45	36,9	34,81	33,72	34,18	35,63	34,72	34,45	34,52
B1	54	54,75	52,33	54,75	51,6	54,5	53,5	51,4	51,6	54,5	51,8	52,33	53,09
C1	41,66	44	42,42	43,87	43,12	44,71	44,28	49	45	47,16	48,33	49,33	45,24
D1	41,6	41,7	41,8	40,4	40,1	40,7	40,8	41,6	41,3	41	41,5	41,6	41,18
D2	39	38,11	38,44	38,22	39,77	40,22	41,5	42,72	43,37	42,42	43	44,45	40,94
E1	35	35,5	36,81	35,5	34,9	34,45	36,81	36	36,09	34,72	36	35,06	35,57
E2	61	60	58,5	59,33	60	57,5	59,66	59,6	60,5	62	59,33	57,5	59,58
E3	31,25	31,66	32,66	31,5	32,77	33,8	32,66	33,2	32,44	32,88	32,11	33,8	32,56
F1	58	62,02	61,33	62,4	62,2	62,1	61,66	62,02	62	62,03	62	62,03	61,65
G1	33,3	32,8	31,61	31,07	32,4	33	33,1	33,6	33,1	33,4	32,9	32,7	32,75
G2	62,3	60	62	59,33	55	56,25	59	60	61,66	59	60,5	61,33	59,70
G3	62,04	62,06	62,05	61,66	62,1	61,33	62,06	62,05	62,01	62,04	62,04	62,06	61,96
H1	38,42	39,5	40,42	41,37	36,9	42	46	41,37	42,16	41,87	43	41,5	41,21
I1	32,54	30,78	30,42	30,26	28,07	33,09	31,85	31,21	31,28	30,07	29,42	31,07	30,84

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 45, abaixo, compara os valores médios da intensidade de campo elétrico coletados no “Ponto 11”, com os valores limites de exposição do público em geral, de acordo com a Tabela 16.

Figura 45 – Gráfico dos valores de campo elétrico em $dB\mu V/m$ coletados no “Ponto 11”, e os valores limites referentes a cada estação.



Fonte: Elaborada pelo autor.

7.11.1.1 Exposição simultânea a campos de múltiplas frequências

Como pode ser observado no gráfico da Figura 45, existem quatro estações com níveis de emissão muito próximos. A Tabela 48 lista os valores de campo elétrico, tanto os coletados, como os valores limites, das estações que mais contribuem com o nível de exposição do ponto analisado, são elas: E2, F1, G2 e G3.

Tabela 48 – Valores coletados e limites de exposição das estações que mais contribuem com os níveis de exposição no “Ponto 11”.

Estações	Valores Coletados		Limites de exposição	
	E $dB\mu V/m$	E V/m	E $dB\mu V/m$	E V/m
E2	59,58	0,00095	148,94	28
F1	61,65	0,00121	148,94	28
G2	59,7	0,00097	148,94	28
G3	61,96	0,00125	148,94	28

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Tabela 49 lista os parâmetros para o cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 11”.

Tabela 49 – Parâmetros de análise para cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 11”.

Estações	$E [V/m]$	$E_{lim}[V/m]$	E/E_{lim}	$(E/E_{lim})^2$
E2	0,00095	28	3,40284E-05	1,15793E-09
F1	0,00121	28	4,31859E-05	1,86502E-09
G2	0,00097	28	3,45018E-05	1,19038E-09
G3	0,00125	28	4,4755E-05	2,00301E-09
			QET=	6,21635E-09

Fonte: Elaborada pelo autor.

7.12 Análise no “Ponto 12”

7.12.1 Medições diretas

Os valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 12”, por meio de medições diretas, estão listados na Tabela 50.

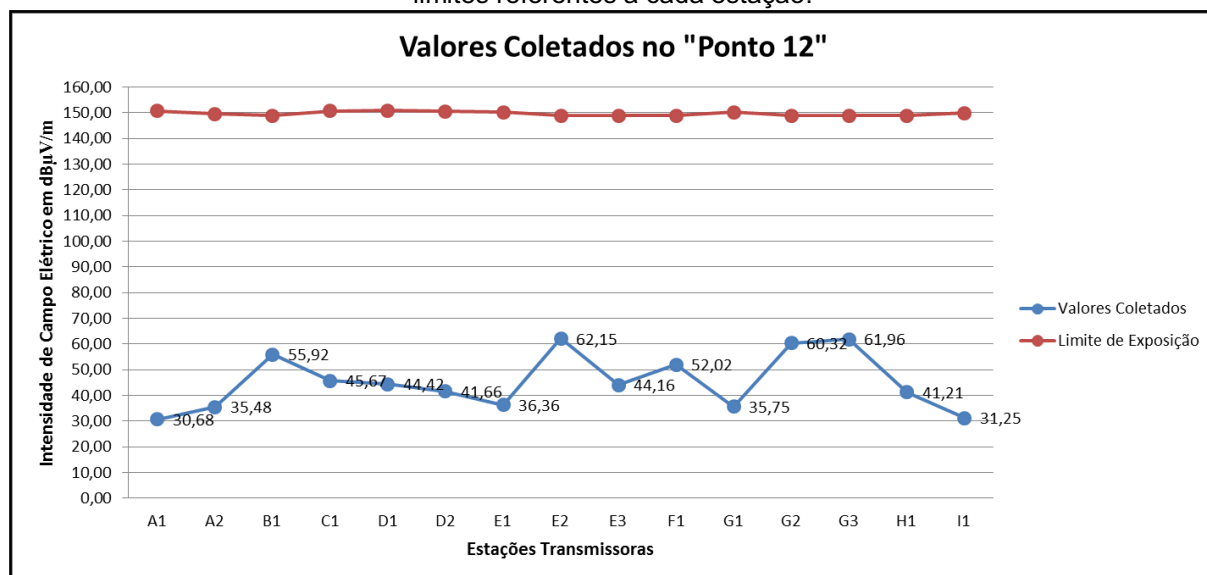
Tabela 50 – Valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 12”.

Estações	M.1	M.2	M.3	M.4	M.5	M.6	M.7	M.8	M.9	M.10	M.11	M.12	Média
A1	31	28,52	27,89	27,85	31,92	31,65	32,42	33,42	32,5	30	31,07	29,91	30,68
A2	35	34,9	34,58	34,91	35,45	36	35,81	35,72	35,58	36,63	36,7	34,45	35,48
B1	57	57,5	56,32	57,74	55,7	56,6	56,6	55,3	55,6	55,5	54,8	52,33	55,92
C1	43,66	45,8	44	45,87	45,12	46,71	44,28	47	44	45,76	48,33	47,53	45,67
D1	44,6	44,7	44,6	44,4	44,1	44,7	43,5	44,6	44,3	44,5	44,4	44,6	44,42
D2	41	41,21	41,44	41,22	39,41	41,22	41,54	42	42,7	42,72	43	42,45	41,66
E1	35	36,5	36,71	35,85	35,79	35,85	35,91	37,45	37	35,92	37,32	37,07	36,36
E2	62,3	62,4	62,3	62,3	62,4	62	62,2	62,3	61,66	62,3	61,33	62,3	62,15
E3	41,25	45,16	42,66	47	46,16	46	45,83	42,16	42	44,5	41,5	45,66	44,16
F1	51,8	53,25	48,4	54	51,4	51,4	53,5	54,75	50	52	51,4	52,33	52,02
G1	34,3	35,8	35,61	35,07	35,4	35	36,1	36,6	36,1	36,4	35,9	36,7	35,75
G2	62,3	61,33	61	59,33	59	56,25	60,66	61	61,66	60	60	61,33	60,32
G3	62,04	62,06	62,05	61,66	62,1	61,33	62,06	62,05	62,01	62,04	62,04	62,06	61,96
H1	38,42	39,5	40,42	41,37	36,9	42	46	41,37	42,16	41,87	43	41,5	41,21
I1	28	30,64	29,64	29,92	28,7	27,85	36,35	31	30,57	36,35	29,78	36,21	31,25

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 46 compara os valores médios da intensidade de campo elétrico coletados no “Ponto 12”, com os valores limites de exposição do público em geral, de acordo com a Tabela 16.

Figura 46 – Gráfico dos valores de campo elétrico em $dB\mu V/m$ coletados no “Ponto 12”, e os valores limites referentes a cada estação.



Fonte: Elaborada pelo autor.

7.12.1.1 Exposição simultânea a campos de múltiplas frequências

Como pode ser observado no gráfico da Figura 46, existem três estações com níveis de emissão muito próximos. A Tabela 51 lista os valores de campo elétrico, tanto os coletados, como os valores limites, das estações que mais contribuem com o nível de exposição do ponto analisado, são elas: E2, G2 e G3.

Tabela 51 – Valores coletados e limites de exposição das estações que mais contribuem com os níveis de exposição no “Ponto 12”.

Estações	Valores Coletados		Limites de exposição	
	E $dB\mu V/m$	E V/m	E $dB\mu V/m$	E V/m
E2	62,15	0,00128	148,94	28
G2	60,32	0,00104	148,94	28
G3	61,96	0,00125	148,94	28

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Tabela 52 lista os parâmetros para o cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 12”.

Tabela 52 – Parâmetros de análise para cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 12”.

Estações	$E [V/m]$	$E_{lim}[V/m]$	E/E_{lim}	$(E/E_{lim})^2$
E2	0,00128	28	4,57448E-05	2,09259E-09
G2	0,00104	28	3,70546E-05	1,37304E-09
G3	0,00125	28	4,4755E-05	2,00301E-09
			QET=	5,46865E-09

Fonte: Elaborada pelo autor.

7.13 Análise no “Ponto 13”

7.13.1 Medições diretas

Os valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 13”, por meio de medições diretas, estão listados na Tabela 53.

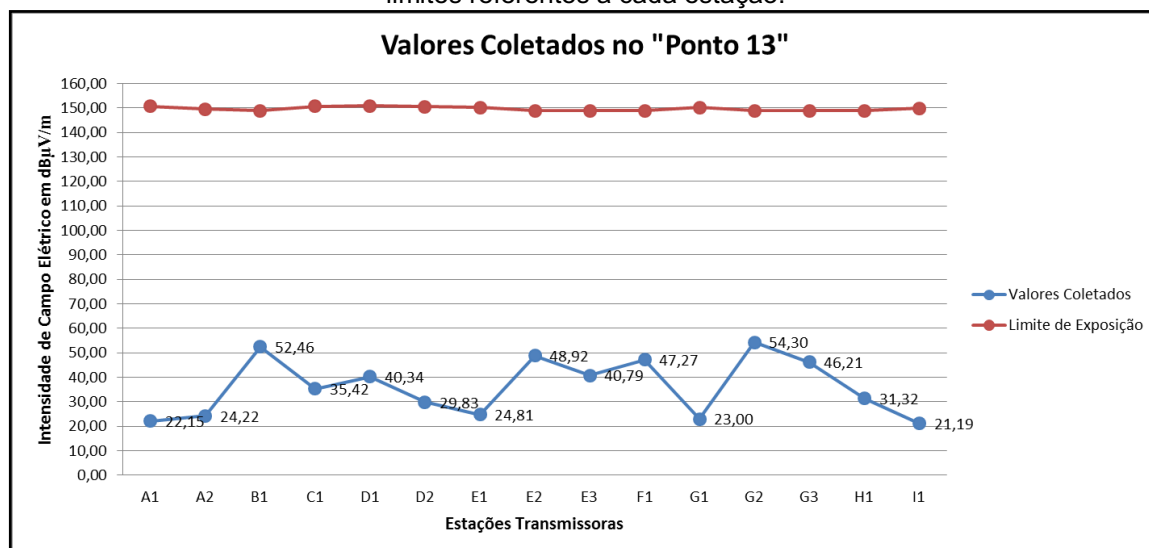
Tabela 53 – Valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 13”.

Estações	M.1	M.2	M.3	M.4	M.5	M.6	M.7	M.8	M.9	M.10	M.11	M.12	Média
A1	23,18	23	22,45	22,9	22,45	21,5	21,07	21,64	22,09	21,57	21,71	22,27	22,15
A2	23,4	23,9	23,54	23,7	24,4	26,91	24,14	22,72	24,18	25,63	23,72	24,45	24,22
B1	51,6	54	52	52,33	52,66	51,2	51,4	53,5	53	53,5	52	52,33	52,46
C1	35	35,09	34,9	34,8	35,3	35,7	34,87	34,9	35	35,2	35	39,33	35,42
D1	31,6	41,7	41,8	40,4	40,1	40,7	40,8	41,6	41,3	41	41,5	41,6	40,34
D2	29	28,12	28,4	28,21	29,47	30,22	31,5	32,7	33,47	29,42	33	24,45	29,83
E1	25,13	24,85	25,26	24,64	24,5	24,5	24,92	24,57	24,92	24,71	24,64	25,06	24,81
E2	50,8	50	51	49,2	46,33	50,6	48,2	49,4	47	49,8	47,25	47,5	48,92
E3	43,16	42,16	41,12	41,87	41,75	40,42	41,12	41,5	39,75	42,5	40,28	33,8	40,79
F1	46,83	47,5	46,83	48,2	46,83	47,25	47	46,86	47,25	48,2	47,5	47,03	47,27
G1	23,3	22,8	21,61	21,17	22,41	23,76	23,13	23,61	23,61	23	22,9	24,7	23,00
G2	55	53,25	54,75	53	56,25	54,75	53,25	56	53,25	54,5	56,25	51,33	54,30
G3	47	45,33	47,25	47	46,16	47	46,33	47	45	47,75	46,6	42,06	46,21
H1	30,91	32,55	30,16	30,91	32,33	30,75	30,33	31,16	32	31,16	31,58	32	31,32
I1	22,5	20,78	20,2	20,36	18,07	23,19	21,5	21,21	22,28	20,7	22,42	21,07	21,19

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 47 compara os valores médios da intensidade de campo elétrico coletados no “Ponto 13”, com os valores limites de exposição do público em geral, de acordo com a Tabela 16.

Figura 47 – Gráfico dos valores de campo elétrico em $dB\mu V/m$ coletados no “Ponto 13”, e os valores limites referentes a cada estação.



Fonte: Elaborada pelo autor.

7.13.1.1 Exposição simultânea a campos de múltiplas frequências

Como pode ser observado no gráfico da Figura 47, existem duas estações com níveis de emissão muito próximos. A Tabela 54 lista os valores de campo elétrico, tanto os coletados, como os valores limites, das estações que mais contribuem com o nível de exposição do ponto analisado, são elas: B1 e G2.

Tabela 54 – Valores coletados e limites de exposição das estações que mais contribuem com os níveis de exposição no “Ponto 13”.

Estações	Valores Coletados		Limites de exposição	
	E $dB\mu V/m$	E V/m	E $dB\mu V/m$	E V/m
B1	52,46	0,00042	148,94	28
G2	54,30	0,00052	148,94	28

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Tabela 55 lista os parâmetros para o cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 13”.

Tabela 55 – Parâmetros de análise para cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 13”.

Estações	E [V/m]	E_{lim} [V/m]	E/E_{lim}	$(E/E_{lim})^2$
B1	0,00042	28	1,49914E-05	2,24742E-10
G2	0,00052	28	1,85286E-05	3,43308E-10
			QET=	5,6805E-10

Fonte: Elaborada pelo autor.

7.14 Análise no “Ponto 14”

7.14.1 Medições diretas

Os valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 14”, por meio de medições diretas, estão listados na Tabela 56.

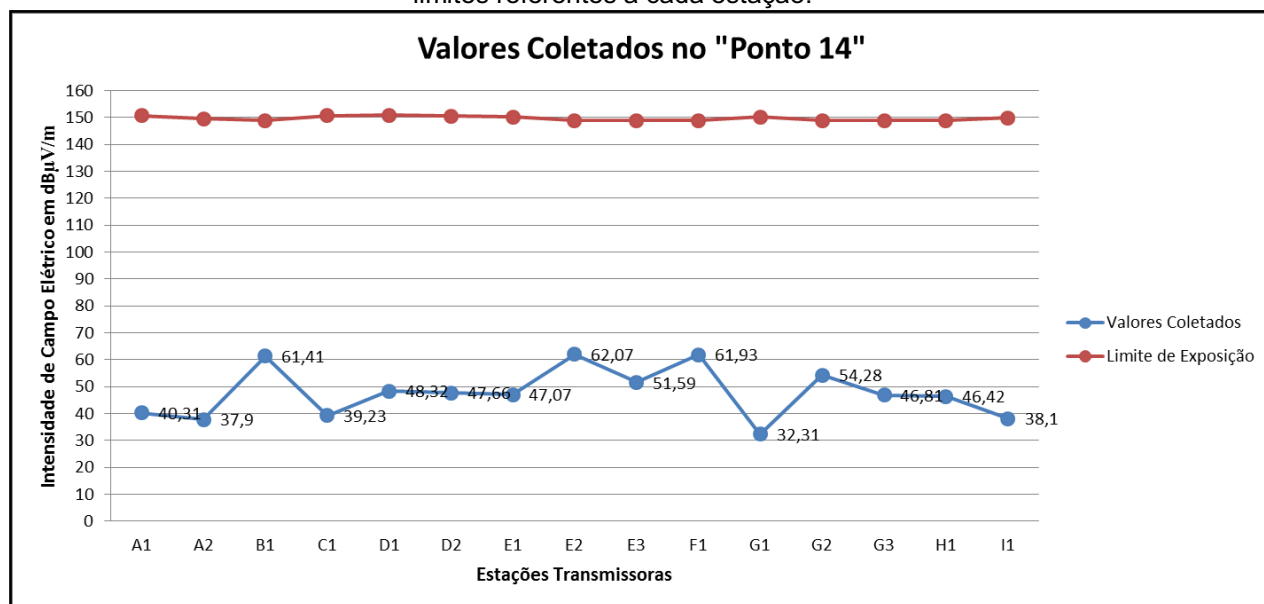
Tabela 56 – Valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 14”.

Estações	M.1	M.2	M.3	M.4	M.5	M.6	M.7	M.8	M.9	M.10	M.11	M.12	Média
A1	39,88	39,77	40	39,77	39,66	39	40,44	41,88	42	41,33	39,88	40,13	40,31
A2	37,63	38,33	38,55	36,36	38,22	37,66	37,83	38,04	38,03	38,33	37,87	37,95	37,90
B1	61,66	59	61,33	61,66	60,5	61	62	62	62	62,1	62	61,66	61,41
C1	39,33	38,88	39,44	39,22	39,33	40	39,22	38,44	38,33	39	40	39,55	39,23
D1	48	48,28	49	49,85	49,42	50,57	48,14	48	42,83	50	48,14	47,66	48,32
D2	48,16	47,83	48,5	48,33	48,33	46,87	47,5	46,87	47,83	46,87	47,16	47,66	47,66
E1	46,5	46,62	47	46,75	46,37	48,16	47,66	47,16	47,83	46,87	47,16	46,75	47,07
E2	62,5	62,05	62,03	62,02	62,04	62,05	62,06	62,05	62,02	62,02	62,01	62,02	62,07
E3	51,8	53,75	54	49,8	50,4	52	51	53	48,08	50,6	53,25	51,4	51,59
F1	62,03	62	62,01	62,03	62,02	62,02	62,02	62,04	61,33	62,03	62	61,66	61,93
G1	32,7	32,8	31,4	32,7	33,2	32,8	31,33	31,65	32,7	32,8	32,33	31,33	32,31
G2	54	55	52,66	53,75	54,25	55,5	52,66	55,25	51,8	54,5	55,5	56,5	54,28
G3	49	44,5	46,66	45,16	45,5	46,66	49	48,6	46,16	45,5	47	48	46,81
H1	46	45,66	46,28	46	47,5	48,6	45,66	44,83	45,66	47,75	46,28	46,85	46,42
I1	38,22	38,33	38	37,88	39	38,11	37,66	38	37,55	37,66	38,44	38,33	38,10

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 48 compara os valores médios da intensidade de campo elétrico coletados no “Ponto 14”, com os valores limites de exposição do público em geral, de acordo com a Tabela 16.

Figura 48 – Gráfico dos valores de campo elétrico em $dB\mu V/m$ coletados no “Ponto 14”, e os valores limites referentes a cada estação.



Fonte: Elaborada pelo autor.

7.14.1.1 Exposição simultânea a campos de múltiplas frequências

Como pode ser observado no gráfico da Figura 48, existem três estações com níveis de emissão muito próximos. A Tabela 57 lista os valores de campo elétrico, tanto os coletados, como os valores limites, das estações que mais contribuem com o nível de exposição nos pontos analisados, são elas: B1, E2, F1.

Tabela 57 – Valores coletados e limites de exposição das estações que mais contribuem com os níveis de exposição no “Ponto 14”.

Estações	Valores Coletados		Limites de exposição	
	E $dB\mu V/m$	E V/m	E $dB\mu V/m$	E V/m
B1	61,41	0,00118	148,94	28
E2	62,07	0,00127	148,94	28
F1	61,93	0,00125	148,94	28

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Tabela 58 lista os parâmetros para o cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 14”.

Tabela 58 – Parâmetros de análise para cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 14”.

Estações	$E [V/m]$	$E_{lim}[V/m]$	E/E_{lim}	$(E/E_{lim})^2$
B1	0,00118	28	4,2009E-05	1,76475E-09
E2	0,00127	28	4,53254E-05	2,05439E-09
F1	0,00125	28	4,46007E-05	1,98923E-09
			QET=	5,80837E-09

Fonte: Elaborada pelo autor.

7.15 Análise no “Ponto 15”

7.15.1 Medições diretas

Os valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 15”, por meio de medições diretas, estão listados na Tabela 59.

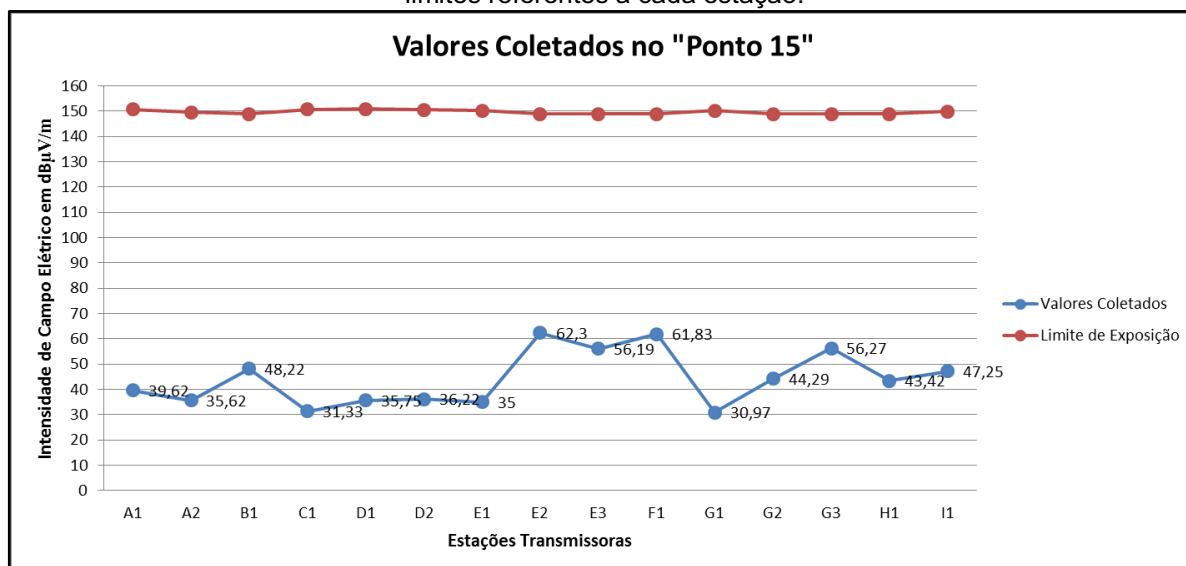
Tabela 59 – Valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 15”.

Estações	M.1	M.2	M.3	M.4	M.5	M.6	M.7	M.8	M.9	M.10	M.11	M.12	Média
A1	40	37,75	40,22	38,77	41,23	39,14	40,6	36,9	38,5	40,62	41,9	39,85	39,62
A2	38,55	37	36,72	33,9	33,63	34,45	34,81	36	37,25	35,9	34,45	34,81	35,62
B1	52,33	48,6	51,2	48,2	46,7	50,2	49,5	48,8	42,16	44,16	48	48,8	48,22
C1	30,08	31,4	32,87	31,8	29,65	31,6	30,34	32,67	31,9	30,98	31,45	31,23	31,33
D1	35	35,78	35,23	35,34	35,34	35,55	36,67	36,54	36,94	35,9	35,7	35	35,75
D2	36	36	36,76	35,99	35	35,76	35,98	35,98	36,98	36,76	36,65	36,76	36,22
E1	35	36,45	36,36	34,5	27,16	30	35	38,55	36,54	37	36,9	36,54	35,00
E2	62,3	62,3	62	62,4	62,3	62,3	62,4	62,5	62,3	62	62,5	62,3	62,30
E3	56,5	56,25	60,5	51,8	58	56,25	55	51,8	54	57,5	57	59,65	56,19
F1	62	62,1	62,1	62,2	62,2	61,33	61,33	62	61,33	62	62	61,33	61,83
G1	31,23	32,18	30,5	28,7	29,75	31,64	31,24	30,24	31,76	31	32,7	30,7	30,97
G2	46,57	49,5	41,75	41,87	42,61	45,5	44,83	42,5	42,83	42,83	45,39	45,33	44,29
G3	59,66	58	61	55,5	58,5	59	53,75	57	51,2	53,25	51,6	56,75	56,27
H1	45,5	43	41,87	44,33	44,32	45,5	42,66	42	42,33	41	43,5	45	43,42
I1	46,62	48,16	48,5	47,6	46,7	48,79	46,81	48,71	48,53	46	45,4	45,21	47,25

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 49 compara os valores médios da intensidade de campo elétrico coletados no “Ponto 15”, com os valores limites de exposição do público em geral, de acordo com a Tabela 16.

Figura 49 – Gráfico dos valores de campo elétrico em $dB\mu V/m$ coletados no “Ponto 15”, e os valores limites referentes a cada estação.



Fonte: Elaborada pelo autor.

7.15.1.1 Exposição simultânea a campos de múltiplas frequências

Como pode ser observado no gráfico da Figura 49, existem duas estações com níveis de emissão muito próximos. A Tabela 60 lista os valores de campo elétrico, tanto os coletados, como os valores limites, das estações que mais contribuem com o nível de exposição no ponto analisado, são elas: E2 e F1.

Tabela 60 – Valores coletados e limites de exposição das estações que mais contribuem com os níveis de exposição no “Ponto 15”.

Estações	Valores Coletados		Limites de exposição	
	E $dB\mu V/m$	E V/m	E $dB\mu V/m$	E V/m
E2	62,3	0,00130	148,94	28
F1	61,83	0,00123	148,94	28

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Tabela 61 lista os parâmetros para o cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 15”.

Tabela 61 – Parâmetros de análise para cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 15”.

Estações	E [V/m]	E_{lim} [V/m]	E/E_{lim}	$(E/E_{lim})^2$
E2	0,00130	28	4,65417E-05	2,16613E-09
F1	0,00123	28	4,40902E-05	1,94394E-09
			QET=	4,11007E-09

Fonte: Elaborada pelo autor.

7.16 Análise no “Ponto 16”

7.16.1 Medições diretas

Os valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 16”, por meio de medições diretas, estão listados na Tabela 62.

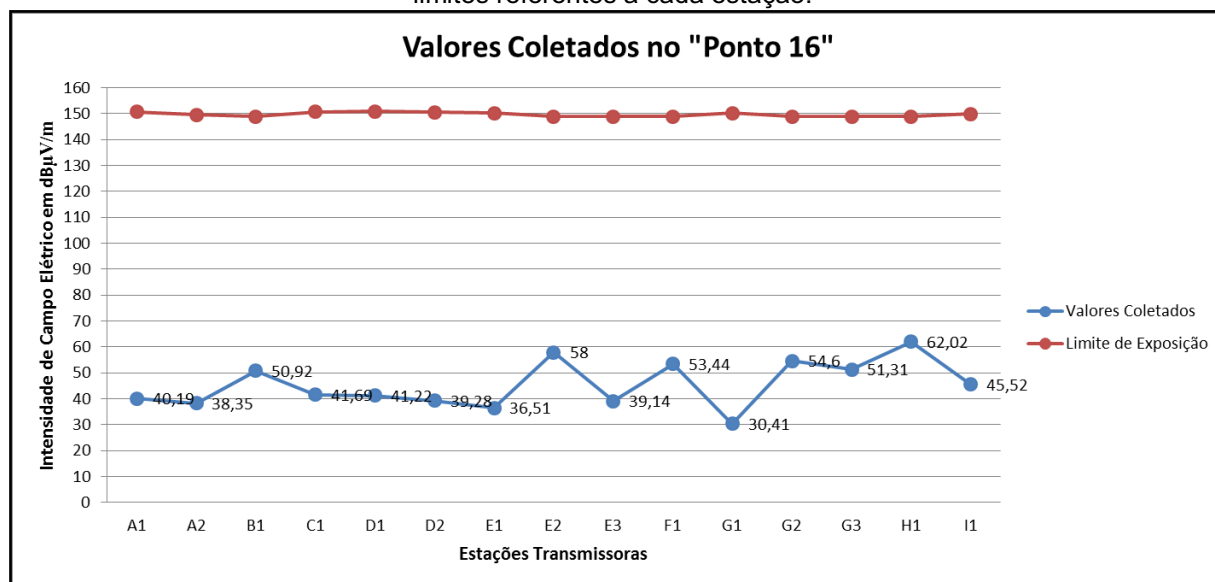
Tabela 62 – Valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 16”.

Estações	M.1	M.2	M.3	M.4	M.5	M.6	M.7	M.8	M.9	M.10	M.11	M.12	Média
A1	42,57	42	40	39,77	39,22	39,66	39,88	39,77	40,88	40,44	36,66	41,44	40,19
A2	37,37	39	39	38,55	38,44	38,76	38,44	38	38,11	38,77	37,37	38,44	38,35
B1	54	47,35	56	53,25	54	51,2	54	41,92	46,67	51,8	50,4	50,4	50,92
C1	41,33	41,28	40,44	41,55	41	42	40,88	41,77	43,28	40,88	43,57	42,28	41,69
D1	42,5	42,75	41,8	41,6	41,4	41,4	41,1	40,5	40	40,1	40,8	40,7	41,22
D2	39,11	37,77	39,33	38,88	39,33	38,77	39,77	39,44	40	39,77	39,55	39,66	39,28
E1	40,66	36	36,36	37,25	36,54	37,12	36,71	37,37	35,8	36,73	37,62	30	36,51
E2	59,66	59	58,5	55,55	58	55,25	60,5	59,5	58	57	54	61	58,00
E3	44,16	39,37	39,37	38,28	36,7	38,28	39,75	39,62	38,71	37,42	39,25	38,71	39,14
F1	51	53	53,75	50,8	54	54,75	53,25	55,5	55,75	51,8	55	52,66	53,44
G1	30,25	30,41	30,25	31,15	30,83	30,33	30,41	30,66	30,16	30,33	29,76	30,33	30,41
G2	54,5	57	55,5	54	53,25	54,25	55,5	52	55	55	53,75	55,5	54,60
G3	45,5	51,4	53,5	51	54,85	51	54,25	48,2	53	51	50,8	51,2	51,31
H1	62,3	62,09	62,1	61,09	62,1	62,09	62,1	62,09	62,11	62,1	62,01	62,1	62,02
I1	46	45,71	45,57	45,85	46	45,85	45,28	45,85	45,42	45,14	45,14	44,42	45,52

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 50 compara os valores médios da intensidade de campo elétrico coletados no “Ponto 16”, com os valores limites de exposição do público em geral, de acordo com a Tabela 16.

Figura 50 – Gráfico dos valores de campo elétrico em $dB\mu V/m$ coletados no “Ponto 16”, e os valores limites referentes a cada estação.



Fonte: Elaborada pelo autor.

7.16.1.1 Exposição simultânea a campos de múltiplas frequências

Como pode ser observado no gráfico da Figura 50, existem duas estações com níveis de emissão muito próximos. A Tabela 63 lista os valores de campo elétrico, tanto os coletados, como os valores limites, das estações que mais contribuem com o nível de exposição do ponto analisado, são elas: E2 e H1.

Tabela 63 – Valores coletados e limites de exposição das estações que mais contribuem com os níveis de exposição no “Ponto 16”.

Estações	Valores Coletados		Limites de exposição	
	E $dB\mu V/m$	E V/m	E $dB\mu V/m$	E V/m
E2	58	0,00079	148,94	28
H1	62,02	0,00126	148,94	28

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Tabela 64 lista os parâmetros para o cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 16”.

Tabela 64 – Parâmetros de análise para cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 16”.

Estações	E [V/m]	E_{lim} [V/m]	E/E_{lim}	$(E/E_{lim})^2$
E2	0,00079	28	2,83689E-05	8,04793E-10
H1	0,00126	28	4,50653E-05	2,03088E-09
			QET=	2,83567E-09

Fonte: Elaborada pelo autor.

7.17 Análise no “Ponto 17”

7.17.1 Medições diretas

Os valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 17”, por meio de medições diretas, estão listados na Tabela 65.

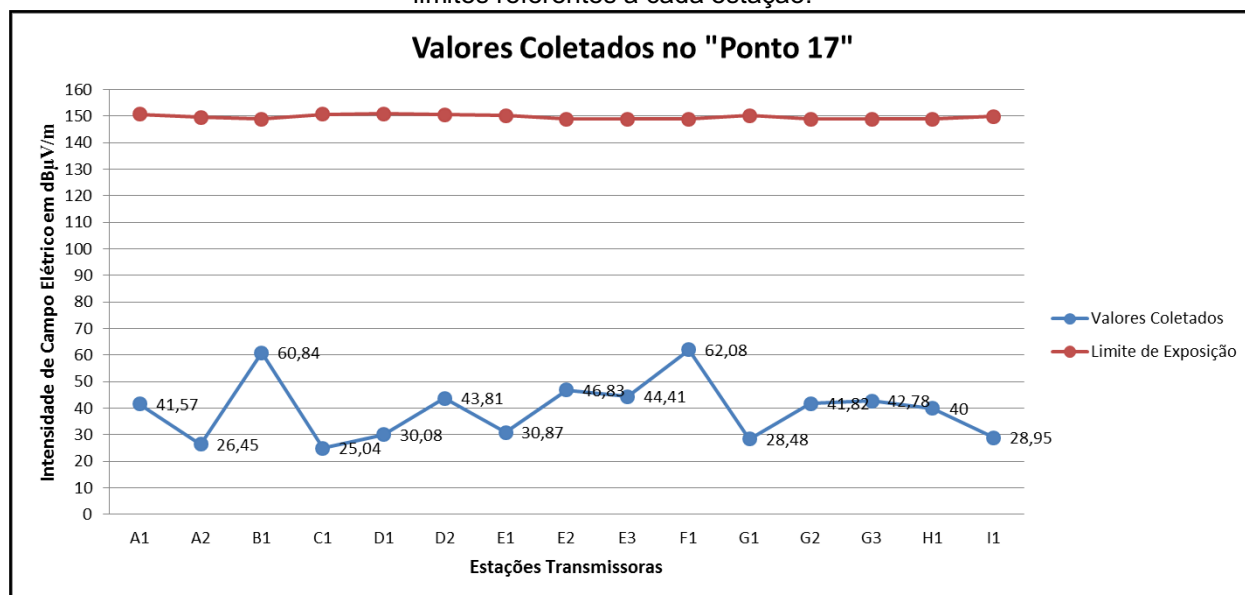
Tabela 65– Valores de intensidade de campo elétrico, em $dB\mu V/m$, coletados no “Ponto 17”.

Estações	M.1	M.2	M.3	M.4	M.5	M.6	M.7	M.8	M.9	M.10	M.11	M.12	Média
A1	41,55	43	42	41,33	41,46	40,33	40,77	41,41	41,55	40,44	43,11	41,88	41,57
A2	30,14	28,28	27,1	28,14	27,7	25,5	21,35	23,76	22	27,77	27,3	28,31	26,45
B1	60	61	62	62,13	62	62	60,5	58	60,5	62	60	60	60,84
C1	24	27,75	27,75	27	25,2	24,28	24,5	23,46	25	23,8	24	23,73	25,04
D1	33,9	30,84	31,42	30,92	30,38	29,61	28,84	29,15	29,23	29,61	28,38	28,69	30,08
D2	45,87	45,5	47,33	26,5	44,5	41,3	45,75	44,75	46,12	46,37	46,35	45,37	43,81
E1	31,46	30,75	31,84	31,92	31,36	32,7	32	30,8	29,75	30,66	28	29,16	30,87
E2	47	49,2	46,16	49,8	42,2	47,25	47	48	45,32	48,2	45,5	46,33	46,83
E3	43,66	43,16	45,33	45,16	47,25	45,5	41,87	43,5	44,12	47,5	42,83	43	44,41
F1	62,08	62,05	62,09	62,09	62,09	62,09	62,08	62,09	62,07	62,09	62,09	62,07	62,08
G1	29,53	29	28,75	28	28,5	28,75	28,16	28,58	28	27,83	28,8	27,83	28,48
G2	32,44	43	42,66	42,66	41,5	42,66	41,87	43,33	42,66	42	43,5	43,6	41,82
G3	43,83	42,33	40,37	44,83	43	42,5	43,66	44	41,37	43,66	41,75	42	42,78
H1	40,85	41,25	41,62	39,87	40,42	37,42	40,14	37,71	39,25	40,42	40,71	40,28	40,00
I1	26,11	26,66	25,23	26,33	28,57	28,57	29	29,95	32	32,9	31,64	30,42	28,95

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 51 compara os valores médios da intensidade de campo elétrico coletados no “Ponto 17”, com os valores limites de exposição do público em geral, de acordo com a Tabela 16.

Figura 51 – Gráfico dos valores de campo elétrico em $dB\mu V/m$ coletados no “Ponto 17”, e os valores limites referentes a cada estação.



Fonte: Elaborada pelo autor.

7.17.1.1 Exposição simultânea a campos de múltiplas frequências

Como pode ser observado no gráfico da Figura 51, existem duas estações com níveis de emissão muito próximos. A Tabela 66 lista os valores de campo elétrico, tanto os coletados, como os valores limites, das estações B1 e F1.

Tabela 66 – Valores coletados e limites de exposição das estações que mais contribuem com os níveis de exposição no “Ponto 17”.

Estações	Valores Coletados		Limites de exposição	
	E $dB\mu V/m$	E V/m	E $dB\mu V/m$	E V/m
B1	60,84	0,00110	148,94	28
F1	62,08	0,00127	148,94	28

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Tabela 67 lista os parâmetros para o cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 17”.

Tabela 67 – Parâmetros de análise para cálculo do QET, em relação às medições diretas, no “Ponto 17”.

Estações	E [V/m]	E_{lim} [V/m]	E/E_{lim}	$(E/E_{lim})^2$
B1	0,00110	28	3,93407E-05	1,54769E-09
F1	0,00127	28	4,53776E-05	2,05913E-09
			QET=	3,60682E-09

Fonte: Elaborada pelo autor.

7.18. Considerações Finais

O propósito deste capítulo foi apresentar os valores coletados de cada estação nos 17 pontos de medições e com eles fazer a comparação com os limites de exposição regulamentados pela ANATEL.

Além disso, como citado anteriormente, as estações analisadas possuem suas antenas transmissoras instaladas muito próximas umas as outras e, portanto, foi realizado o cálculo do QET, para a análise de conformidade considerando a exposição simultânea a campos de múltiplas radiofrequências. Para o cálculo do QET foram utilizadas as estações que mais contribuem com a exposição no ponto de interesse. Essa análise foi realizada separadamente para cada um dos pontos de interesse.

8 DISCUSSÃO

Para determinar a conformidade ou não de uma estação de acordo com a Resolução nº 700, de 28 de setembro de 2018, aprovada pela ANATEL, pode ser feita a análise teórica e a análise por medições diretas.

Neste trabalho, foram feitas ambas as análises, pois para escolher os pontos de medições de acordo com a recomendação citada, foi necessário definir as regiões ADB referente a cada estrutura de suporte. Depois de definido cada ponto de medição foram feitas as medições diretas em cada ponto definido.

8.1 Quanto as Regiões ADB

Quanto a análise teórica padrão a estação pode ser considerada conforme caso não exista nenhum DI. Se há DI, deve ser realizada, portanto, as medições diretas.

Dessa forma, foram verificadas apenas três estações que não podem ser consideradas em conformidade, com o que é regulamentado pela ANATEL, somente pelo método teórico, são elas: B1, E2 e E3. As três estações, citadas, são estações de rádio. As estações E2 e E3 em conjunto e a estação B1 geram uma região ADB que alcança um prédio residencial construído próximo às torres as quais estão instaladas suas antenas transmissoras.

Quanto às outras estações analisadas, essas geraram uma região ADB à qual não alcança nenhum lugar onde pessoas possam ter acesso, pois, apesar dessas estações estarem instaladas em uma região crítica, onde há uma grande circulação de pessoas, os limites inferiores das ADBs estão bem acima das construções nessa região, cuja altura é no máximo de 25 metros. Essas construções correspondem aos blocos do Campus Umuarama da Universidade Federal de Uberlândia e alguns edifícios de no máximo 5 pisos. Portanto, pelo método teórico padrão as estações A1, A2, C1, D1, D2, E1, F1, G1, G2, G3, H1 e I1, estão conformes.

8.2 Quanto as Medições Diretas

8.2.1 Contribuição das estações aos níveis de exposição

O objetivo deste trabalho é verificar a conformidade ou não das estações de radiodifusão no bairro Umuarama e registrar os níveis de exposição nessa região.

Como pode ser observado nos resultados expostos no Capítulo 7, em todos os pontos analisados as estações que mais contribuem com o nível de exposição naquele local são as estações de rádio. Isso pode ser justificado pelas potências de operação das estações analisadas, mostradas na Tabela 68.

Tabela 68 – Potência de transmissão de cada estação analisada.

Estação	Tipo de Serviço de Radiodifusão	Frequência (MHz)	Potência de Operação (kW)
A1	TV	488 – 494	0.2
A2	TV	470 – 476	0,46
B1	FM	98.7	20
C1	TV	566 – 572	2,5
D1	TV	656 – 662	1,2
D2	TV	602 – 608	1,2
E1	TV	554 – 560	1,1
E2	FM	100.7	10
E3	FM	90.9	0,4
F1	FM	101.9	5
G1	TV	548 – 554	0,05
G2	FM	106.5	5
G3	FM	95.1	9
H1	FM	107.5	0,9
I1	FM	524 – 530	1,2

Fonte: Elaborada pelo autor.

Pela Tabela 68, é possível perceber que a potência de transmissão das estações de rádio são, geralmente, maiores do que as estações de TV, com exceção das estações E3 e H1.

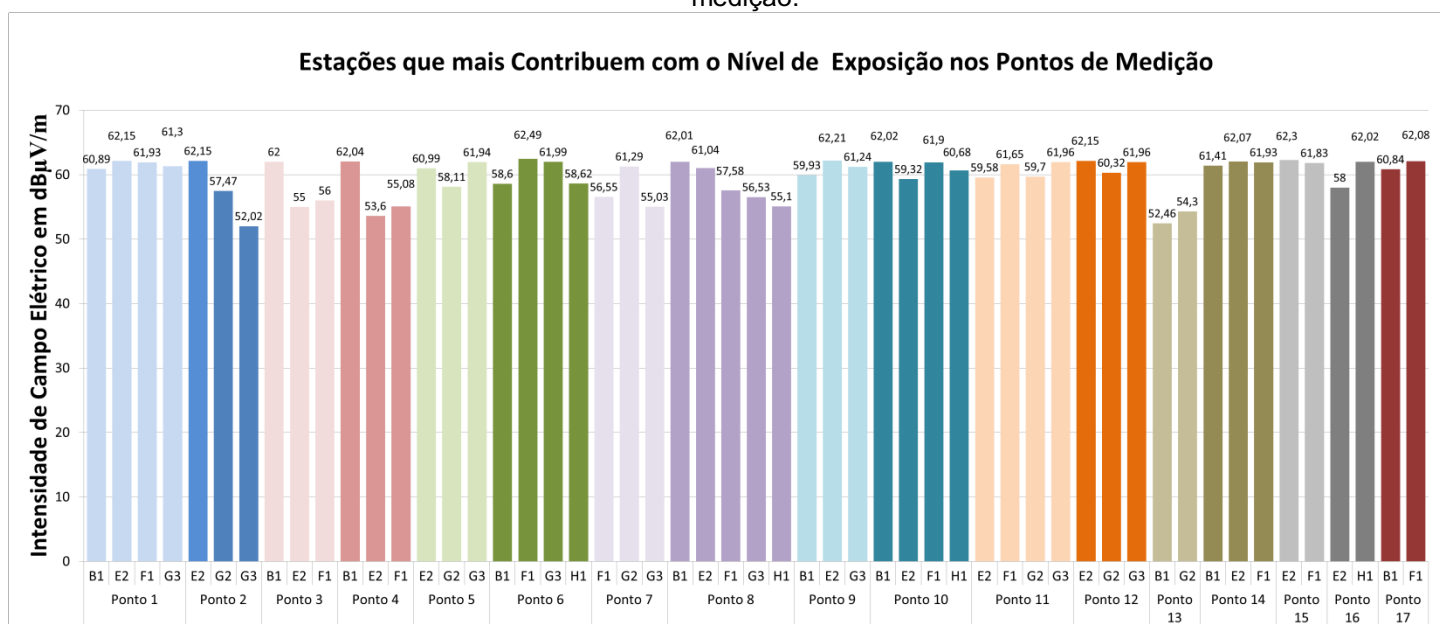
Outro motivo que contribui para as estações de TVs possuírem sinais de campo bem menores que as estações de rádio devem-se ao fato de que sinais de frequências maiores sofrem maiores perdas por difração e embora os pontos de medições tenha sido escolhido em pontos com menor obstrução possível, ainda sim,

é uma região muito arborizada prejudicando a intensidade do sinal, principalmente sinais de maiores frequências.

Além disso, o diagrama vertical de radiação das antenas das estações que apresentaram uma intensidade de campo menor pode ser mais aberto, apresentando um menor ganho nas regiões mais próximas de onde foram realizadas as medidas e ganhos maiores em regiões mais distantes. Isso justificaria o porquê de mesmo nos pontos de medição localizados embaixo das antenas transmissoras das estações de TV analisadas os sinais são baixos em relação às estações de rádios. Este é o caso, por exemplo, das medidas no “Ponto 11”, pois mesmo esse ponto sendo bem próximo da estação C1, o nível de sinal da estação H1 é bem próximo ao da estação C1, porém, está mais distante e possui uma potência de operação menor.

O gráfico da Figura 52 mostra as estações que mais contribuem com o nível de exposição em cada ponto de medição.

Figura 52 – Gráfico das estações que mais contribuem com o nível de exposição em cada ponto de medição.



Fonte: Elaborada pelo autor.

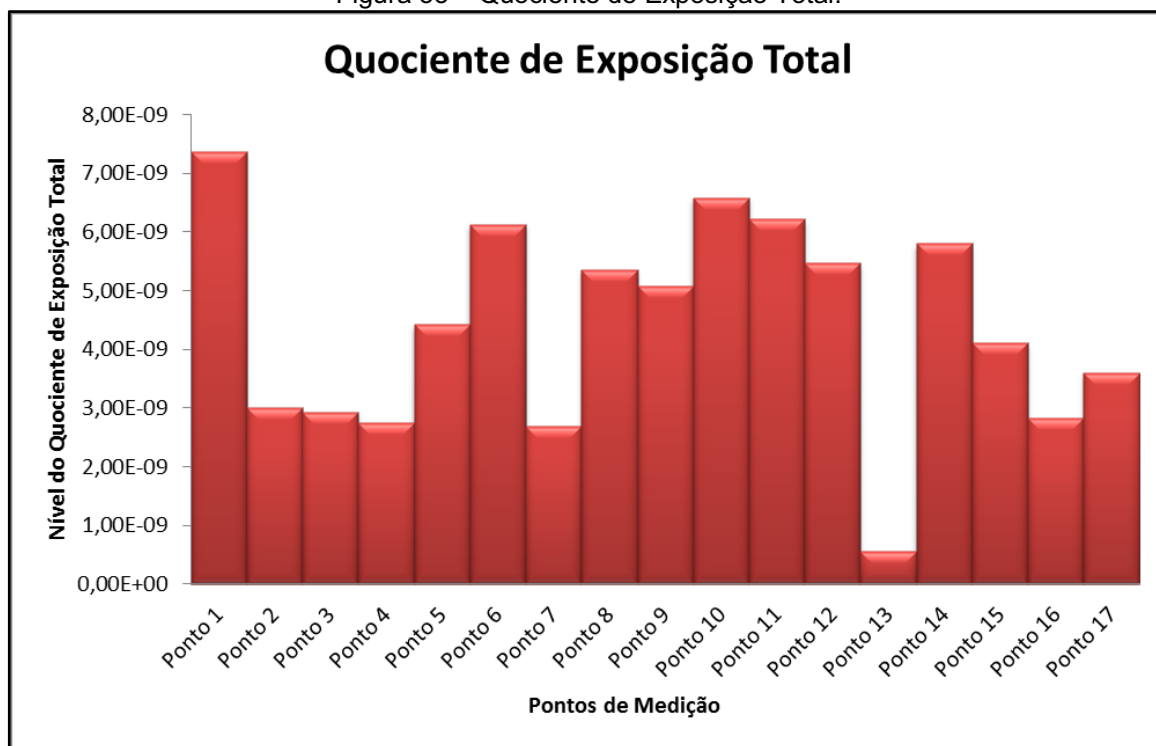
Pelo gráfico, acima, observa-se que as estações com potências de operação mais altas como a estação B1, E2, F1 e G3, são as principais contribuintes no nível de exposição na maioria dos pontos analisados, mesmo em pontos que não estão tão próximos as respectivas torres de transmissão.

8.2.2 Quociente de Exposição Total (QET)

A análise de conformidade no caso de exposição a múltiplas fontes é feita por meio do QET, como citado na Seção 5.3.3. No Capítulo 7, para cada ponto medido foi calculado o QET e o resultado obtido foi muito menor do que “1” em todos os pontos de análise, o que representa a conformidade de todas as estações analisadas com a resolução nº 700 da ANATEL.

O gráfico da Figura 53 mostra os níveis de QET calculados para cada ponto de medição, sendo que para o cálculo desse parâmetro foi utilizada as estações que mais contribuem com o nível de exposição no ponto avaliado, de acordo com o que foi mostrado na Figura 52.

Figura 53 – Quociente de Exposição Total.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Como pode ser observado no gráfico acima os quocientes de exposição total deram na ordem de 10^{-9} , ou seja, valor muito menor que “1”, e portando, de acordo com o método de medições diretas, pelo critério de exposição a múltiplas fontes, todas as estações analisadas estão em conformidade com a resolução nº 700 da ANATEL.

9 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram analisados os riscos da exposição humana as radiações não ionizantes emitidas pelos serviços de radiodifusão (TV e FM), no bairro Umuarama da cidade de Uberlândia – MG. Neste bairro tem-se uma grande concentração de torres de transmissão de serviços de radiodifusão localizadas perto do Campus Umuarama da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Ou seja, é uma área onde há uma grande circulação de pessoas além de áreas críticas como hospitais e clínicas vinculadas a UFU.

Por meio de medições diretas, realizadas com o equipamento modelo 2640 da *BK Precision*, foram coletados os valores da intensidade de campo elétrico nos dezessete pontos de medição, escolhidos em regiões de áreas críticas, nos arredores do Campus Umuarama e bem próximos às estruturas de suporte.

Os valores coletados foram comparados com os valores limites de exposição regulamentados por meio da Resolução nº 700, de 28 de setembro de 2018, da ANATEL. Como já mencionado, tanto os valores medidos individualmente para cada estação de transmissão analisada, tanto esses valores analisados em conjunto, em cada ponto de medição, por meio do cálculo do quociente de exposição total (QET), resultaram em níveis de exposição muito abaixo do que é permitido pelo órgão regulador nacional. Dessa forma, todas as estações analisadas estão em conformidade.

Neste trabalho, ainda, foi esclarecido os principais pontos considerados pelos órgãos de controle e pesquisa para desenvolver as recomendações e definir os limites de exposição, a partir do qual a exposição deixa de ser prejudicial à saúde humana. Uma grande parte dos estudos tiveram como resultado algum efeito nocivo à saúde humana, mas, que foram refutados por outros estudos que sob as mesmas condições não conseguiram replicar os mesmos resultados. Já outros estudos que também tiveram resultados demonstrando riscos à saúde foram considerados irrelevantes devido à metodologia utilizada. Há também trabalhos que não conseguiram chegar a nenhum resultado provando os efeitos nocivos, mas, que não descartam os riscos a exposição às radiações não ionizantes.

Em relação às normas e as políticas de proteção contra a RNI é importante ressaltar o momento atual de mudanças e adaptações das principais diretrizes

internacionais de acordo com os estudos mais recentes mostrando, portanto, a relevância desse tema que ainda gera muitas discussões e prevalece uma grande incerteza entre os órgãos de pesquisa e regulamentação. Além disso, é relevante citar que os países que antes adotavam limites mais restritos, por meio do princípio da precaução, passaram a adotar recentemente os padrões recomendados pelo IEEE e ICNIRP, dando assim, mais força e credibilidade a essas instituições.

Por fim, deve-se reconhecer que todo avanço tecnológico traz consigo as consequências, tanto positivas quanto negativas a população, ao meio ambiente e a relação entre ambos. Portanto, para tornar o lado positivo maior que o negativo é importante que os órgãos responsáveis fiscalizem regularmente as emissoras, e que as emissoras se atentem ao que é determinado pelas normas vigentes. Além disso, é importante que as instituições de pesquisas mantenham a sociedade ciente dos riscos da exposição à RNI e ciente também dos métodos preventivos.

10 REFERÊNCIAS

- [1] PADUELI, M. P. *As Estações Rádio Base na Cidade de São Paulo: uma abordagem sobre os riscos e uma contribuição para os sistemas de gerenciamento*. 2012. Tese (Doutorado) – Curso de Ciências Ambientais, USP – SP, São Paulo, 2012.
- [2] ANATEL. *Decreto nº 52.795, de 31 de outubro de 1963: Regulamento dos Serviços de Radiodifusão*. Disponível em: <http://www.anatel.gov.br/legislacao/decretos/130-decreto-52795> Acesso em: 12 set. 2018.
- [3] ICNIRP. *International Commission On Non-Ionizing Radiation Protection*. Disponível em: <https://www.icnirp.org/en/home/home-read-more.html> Acesso em: 10 nov. 2018.
- [4] LINHARES, A; TERADA, M. A. B; SOARES, A. J. M. *Estimating the Location of Maximum Exposure to Electromagnetic Fields Associated with a Radiocommunication Station*. Journal of Microwaves and Optoelectronics, SBMO, v. 12, n. 1, pp. 141-157, 2016.
- [5] ANATEL. *Diretrizes para limitação da exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos variáveis no tempo (até 300 GHz)*. Brasília, 1999. Disponível em: www.anatel.gov.br/Portal/exibirPortalRedireciona.do?codigoDocumento=12999 Acesso em: 15 nov. 2018.
- [6] ANATEL. *Resolução nº 700, de 28 de setembro de 2018: Regulamento sobre a Avaliação da Exposição Humana a Campos Elétricos, Magnéticos e Eletromagnéticos Associados à Operação de Estações Transmissoras de Radiocomunicação*. Disponível em: <http://www.anatel.gov.br/legislacao/es/resolucoes/2018/1161-resolucao-700> Acesso em: 18 fev. 2019.
- [7] WHO. *IARC Classifies Radiofrequency Electromagnetic Fields As Possibly Carcinogenic To Humans*. IARC: Lyon, 2011. Disponível em: https://www.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/07/pr208_E.pdf Acesso em: 05 nov. 2018.
- [8] ANATEL. *Agência Nacional de Telecomunicações*. Disponível em:

- <<http://sistemas.anatel.gov.br/se/public/view/b/srd.php>> Acesso em: 16 nov. 2018.
- [9] NRC. *Radiation Basic*. Disponível em: <<https://www.nrc.gov/about-nrc/radiation/health-effects/radiation-basics.html#decay>> Acesso em: 19 out. 2018.
- [10] EUROPEAN COMMISSION. *Health and Electromagnetic Fields*. Disponível em: <https://ec.europa.eu/health/archive/ph.../emf/brochure_en.pdf> Acesso em: 23 out. 2018.
- [11] RAPPAPORT, T. S. *Wireless Communications Principles and Practice*. 2. Ed. New Jersey: Prentice Hall, 2002. 641 p.
- [12] MUSEY, J. A. *The Spectrum Handbook 2013*. New York: Summit Ridge Group, 2013. 182 p.
- [13] EUROPEAN COMMISSION. *Health and Electromagnetic Fields*. Disponível em: <https://ec.europa.eu/health/archive/ph.../emf/brochure_en.pdf> Acesso em: 23 out. 2018.
- [14] LELAMBIENTAL. *Você sabe o que é Radiação Não Ionizante? Saiba quais são seus riscos*. LEL Ambiental, 2017. Disponível em: <<https://lelambiental.com.br/artigos-tecnicos/radiacao-nao-ionizante/>> Acesso em: 05 mar. 2019.
- [15] VECCHIA, P; MATTHES, R; ZIEGELBERGER, G; LIN, J; SAUNDERS, R; SWERDLOW, A. *Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100 kHz-300 GHz)*. ICNIRP, 2009. Disponível em: <http://publicsde.regie-energie.qc.ca/projets/34/DocPrj/R-3770-2011-B-0136-AUDI-PIECE-2012_05_18.pdf> Acesso em: 13 nov. 2018.
- [16] BALANIS, C. A. *Antenna Theory: Analysis and Design*. 3ª ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2005.
- [17] ITU. *Recommendation ITU-T K.61: Guidance on measurement and numerical prediction of electromagnetic fields for compliance with human exposure limits for telecommunication installations*. 2018.
- [18] ANATEL. *Ato nº 458, de 24 de janeiro de 2019*. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/legislacao/atos-de-requisitos-tecnicos-de-gestao-do-espectro/2019/1237-ato-458>> Acesso em: 20 fev. 2019.
- [19] CARRIJO, G. A. *Apostila de Propagação*. Uberlândia, 159 p.

- [20] ASSIS, R. F. *Introdução a Engenharia de Radiofrequência*. 2008. Disponível em: <http://ewh.ieee.org/sb/bahia/fct/Introducao_engenharia_rf.pdf> Acesso em: 11 mar. 2019.
- [21] WENTWORTH, S. M. *Fundamentos de Eletromagnetismo com aplicações em engenharia*. LTC, 2006. 374 p.
- [22] ICNIRP. *Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz to 100 kHz)*. 2010. Disponível em: <<https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPLFgdl.pdf>> Acesso em: 12 mar. 2019.
- [23] IRPA. *Environmental Health Criteria 137: Electromagnetic Fields (300 HZ to 300 GHZ)*. Geneva: World Health Organization, 1993. Disponível em: <<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc137.htm>> Acesso em: 06 mar. 2019.
- [24] IEEE. *PC95.1/D3.5 1: Draft Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields, 0 Hz to 300 GHz*. New York, 2018.
- [25] ICNIRP. *Draft ICNIRP Guidelines: Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz)*. 2018. Disponível em: <https://www.icnirp.org/cms/upload/consultation_upload/ICNIRP_RF_Guidelines_PCD_2018_07_11.pdf> Acesso em: 11 out. 2018.
- [26] ICNIRP. *Appendix A: Review of Studies on Dosimetry*. Draft ICNIRP Guidelines: Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz). 2018. Disponível em: <https://www.icnirp.org/cms/upload/consultation_upload/ICNIRP_RF_Guidelines_PCD_Appendix_A_2018_07_11.pdf> Acesso em: 11 out. 2018.
- [27] IARC WORKING GROUP ON THE EVALUATION OF CARCINOGENIC RISKS TO HUMANS. *Non-Ionizing radiation, Part 2: Radiofrequency electromagnetic fields*. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, v. 102, 2013, p. 481.
- [28] DIMBYLOW, P. J; HIRATA, A; NAGAOKA, T. *Intercomparison of whole-body averaged SAR in European and Japanese voxel phantoms*. Physics in

- Medicine and Biology, v. 53, n. 20, 2008, p. 5883.
- [29] MANN, S. *Assessing personal exposures to environmental radiofrequency electromagnetic fields*. Comptes Rendus Physique, v. 11, n. 9-10, 2010, p. 541-555.
- [30] WHO. *What are electromagnetic fields?* Disponível em: <<https://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/en/index1.html>> Acesso em: 22 nov. 2018.
- [31] ICNIRP. *Guidelines for Limiting Exposure in Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)*. Health Physics, 1998. Disponível em: <<https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdl.pdf>> Acesso em: 10 out. 2018.
- [32] FISCHETTI, M. *The cellular phone scare*. IEEE, v. 30, n. 6, p. 43-47, 1993.
- [33] RIBEIRO, E. L; PESSOA, M. B. *Os efeitos da radiação eletromagnética na vida do ser humano: uma análise do paradigma ambiental*. Revista Tecnologia e Sociedade, v. 3, n. 5, 2007.
- [34] SALLES, A. A; FERNÁNDEZ, C. R. D. *O impacto das radiações não ionizantes da telefonia móvel e o Princípio da Precaução*. In: *Poluição eletromagnética – Saúde pública, meio ambiente, consumidor e cidadania: impactos das radiações das antenas e dos aparelhos celulares*. Caderno Jurídico, São Paulo: Escola Superior do Ministério Público de São Paulo, v. 6, n. 2, p. 15-46, 2004. Disponível em: <http://www.mpsp.mp.br/portal/page/portal/Escola_Superior/Biblioteca/Cadernos_Tematicos/poluicao_eletromagnetica.pdf> Acesso em: 14 nov. 2018.
- [35] WHO. *Publications and information resources*. Radiation, Non-ionizing. Disponível em: <<https://www.who.int/peh-emf/publications/en/>> Acesso em: 15 nov. 2018.
- [36] ACS. *Microwaves, Radio Waves, and Other Types of Radiofrequency Radiation*. 2018. Disponível em: <https://www.cancer.org/cancer/cancer-causes/radiation-exposure/radiofrequency-radiation.html#written_by> Acesso em: 05 fev. 2019.
- [37] NTP. *Cell Phone Radio Frequency Radiation Studies*. 2018. Disponível em: <www.niehs.nih.gov/health/materials/cell_phone_radiofrequency_radiation_studies_508.pdf> Acesso em: 05 fev. 2019.

- [38] TILLMANN, T; ERNST, H; STRECKERT, J; ZHOU, Y; TAUGNER, F. HANSEN, V; DASENBROCK, C. *Indication of cocarcinogenic potential of chronic UMTS-modulated radiofrequency exposure in an ethylnitrosourea mouse model*. International Journal of Radiation Biology, v. 86, n. 7, p. 529-541, 2010.
- [39] REPACHOLI, M. H; CARDIS, E. *Criteria for EMF health risk assessment*. Radiation Protection Dosimetry, v. 72, n. 34, p. 305-312, 1997.
- [40] ICNIRP. *Appendix B: Health Risk Assessment Literature*. Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (100 KHz to 300 GHz). 2018. Disponível em: <https://www.icnirp.org/cms/upload/consultation_upload/ICNIRP_RF_Guidelines_PCD_Appendix_B_2018_07_11.pdf> Acesso em: 06 out. 2018.
- [41] RAMOS, R. J. R. *Is the current treatment of idiopathic environmental intolerance negligent?* Medicina de Familia. SEMERGEN, v. 44, n. 4, p. 223-226, 2018.
- [42] LERCHL, A. et al. *Tumor promotion by exposure to radiofrequency electromagnetic fields below exposure limits for humans*. Biochemical and biophysical communications, v. 459, n. 4, p. 585-590, 2015.
- [43] MERZENICH, H; SCHMIEDEL, S; BENNACK, S; BRUGGEMEYER, H; PHILIPP, J; BLETTER, M; SCHUZ, J. *Childhood leukemia in relation to radio frequency electromagnetic fields in the vicinity of TV and radio broadcast transmitters*. American journal of epidemiology, v. 168, n. 10, p. 1169-1178, 2008.
- [44] HAURI, D. et al. *Exposure to radio-frequency electromagnetic fields from broadcast transmitters and risk of childhood cancer: a census-based cohort study*. American journal of epidemiology, v. 179, n. 7, p. 843-851, 2014.
- [45] OMS. *Estabelecendo um diálogo sobre os riscos de campos eletromagnéticos*. Genebra, 2002.
- [46] IRPA. *The History of IRPA*. Disponível em: <<http://www.irpa.net/page.asp?id=10>> Acesso em: 04 mar. 2019.
- [47] MANSON. P.A; MURPHY, M. R; PETERSEN, R. C. *IEEE EMF Health & Safety Standards*. Proc Asian Ocean Reg EMF Sci Meet, pp. 1-6, 2001.
- [48] BARNES, F. S; GREENEBAUM, B. *Bioengineering and Biophysical Aspects of*

- Electromagnetic Fields*. 4^a ed. CRC Press, 2018. 536 p.
- [49] HPS. *About the Health Physics Society*. Disponível em: <<http://hps.org/aboutthesociety/>> Acesso em: 04 mar. 2019.
- [50] ICNIRP. *Aim, Status & History*. Disponível em: <<https://www.icnirp.org/en/about-icnirp/aim-status-history/index.html>> Acesso em: 04 mar. 2019.
- [51] WHO. *Environmental Health Criteria*. Disponível em: <<https://www.who.int/ipcs/publications/ehc/en/>> Acesso em: 05 mar. 2019.
- [52] Instituto Edumed. *Padrões e Políticas de Proteção da Radiação Não Ionizante*. Revisão Científica sobre Radiação Eletromagnética no Espectro de Radiofrequência e seus Efeitos na Saúde Humana. 2010. Disponível em: <http://www.wireless-health.org.br/?A_Revis%26atilde%3Bo_Cient%26iacute%3Bfica> Acesso em: 05 abr. 2019.
- [53] WHO. *What is the International EMF Project?* Disponível em: <https://www.who.int/peh-emf/project/EMF_Project/en/index2.html> Acesso em: 07 abr. 2019.
- [54] ICNIRP. *Publications*. Disponível em: <<https://www.icnirp.org/en/publications/index.html>> Acesso em: 07 abr. 2019.
- [55] ICNIRP. *Public Consultation*. Disponível em: <<https://www.icnirp.org/en/activities/public-consultation/index.html>> Acesso em: 06 out. 2018.
- [56] IEEE. *PC95.1/D3.5, Oct 2018 – IEEE Draft Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields, 0 Hz to 300 GHz*. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=8526561>> Acesso em: 06 mar. 2019.
- [57] IEEE. *IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz*. New York, 2005.
- [58] Ministério do Meio Ambiente. *Princípio da Precaução*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/protecao-da-camada-de-ozonio/item/7512>> Acesso em: 22 mai. 2019.
- [59] Governo Suíço. *814.710: Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender*

- Strahlung*, 2016. Disponível em: <<https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19996141/index.html>> Acesso em: 23 abr. 2019.
- [60] Città di Orbassano. *Inquinamento elettromagnetico*. Disponível em: <http://www.comune.orbassano.to.it/include/content/index.php?pagina=uffici_comunali/inquinamento_elettromagnetico> Acesso em: 24 abr. 2019.
- [61] ANATEL. *Lei nº 9.472, de 16 de julho de 1997*. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/legislacao/leis/2-lei-9472>> Acesso em: 25 abr. 2019.
- [62] ANATEL. *Resolução nº 303, de 2 de julho de 2002: Regulamento sobre Limitação da Exposição a Campos Elétricos, Magnéticos e Eletromagnéticos na Faixa de Radiofrequências entre 9 kHz e 300 GHz*. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/17-2002/128-resolucao-303>> Acesso em: 25 abr. 2019.
- [63] ANATEL. *Lei nº 11.934, de 5 de maio de 2009*. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/legislacao/leis/426-lei-11934>> Acesso em: 26 abr. 2019.
- [64] BK Precision. *User's Manual: 2640 2.0 GHz RF Field Strength Analyzer*. Disponível em: <<https://www.bkprecision.com/products/discontinued/2640-2-0-ghz-rf-field-strength-meter.html>> Acesso em: 10 set. 2018.