



ANÁLISE DOS NÍVEIS DE RADIAÇÃO NÃO IONIZANTE NO BAIRRO UMUARAMA DA CIDADE DE UBERLÂNDIA, EMITIDAS POR FONTES DE SERVIÇOS DE RADIODIFUSÃO

Daniele Oliveira Silva*¹, Gilberto Arantes Carrijo²

¹FEELT – Universidade Federal de Uberlândia

²FEELT – Universidade Federal de Uberlândia

Resumo - O objetivo deste trabalho consiste na análise dos níveis de radiação não ionizante (RNI) no bairro Umuarama da cidade de Uberlândia – MG, emitidas por serviços de radiodifusão. Esta análise é feita por meio de medições do campo elétrico utilizando um medidor de intensidade de campo elétrico de radiofrequência. Os valores coletados serão comparados com os limites de exposição determinados na Resolução n° 700, de 28 de setembro de 2018, aprovada pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL).

Palavras-Chave – ANATEL, ICNIRP, IEEE, Radiação Não Ionizante, Radiodifusão.

ANALYSIS OF NON-IONIZING RADIATION LEVELS IN THE UMUARAMA NEIGHBORHOOD OF THE CITY OF UBERLÂNDIA, EMITTED BY BROADCASTING SERVICE SOURCES

Abstract - The objective of this work is to analyze the levels of non-ionizing radiation (NIR) in the Umuarama neighborhood of the city of Uberlândia - MG, emitted by broadcasting services. This analysis is done by electrical field measurements using a radiofrequency electric field intensity meter. The amounts collected will be compared with the exposure limits set forth in Resolution No. 700 of September 28, 2018, approved by Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL).

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

I. INTRODUÇÃO

A radiodifusão, a qual compreende os serviços de radiodifusão sonora (rádio) e radiodifusão de sons e imagens (televisão) [1], faz uso de antenas fixas, as quais recebem e transmitem informações através de sinais de radiofrequência (RF), chamadas de estações transmissoras de radiocomunicação. A quantidade dessas 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 [2].

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. 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 [3].

A International Agency for Research on Cancer (IARC) da OMS fez um anúncio em 2011, classificando os campos eletromagnéticos por radiofrequência (CEMRF) como possivelmente cancerígenos para humanos [4]. 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 [5]. Dessa forma, esse estudo é motivado pela relevância desse tema que ainda gera muita discussão sobre eventuais riscos a saúde humana em uma sociedade cada vez mais dependente das tecnologias que fazem uso dos emissores de RNI.

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

*daniele19954@gmail.com

II. RADIAÇÃO NÃO IONIZANTE

A radiação é um fenômeno físico definido como energia em movimento [7]. Os serviços de radiodifusão utilizam frequências que fazem parte do grupo de radiações não ionizantes que ocupam uma pequena parte do espectro eletromagnético e que correspondem àquelas que não produzem ionização, ou seja, não possui energia suficiente para “arrancar” elétrons dos átomos do meio pelo qual se propagam [8].

A. Fonte de RNI

No contexto desse trabalho, a antena será tratada como a fonte de RNI, uma vez que a origem da onda eletromagnética será a localização da antena [9]. Dessa forma, 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.

1) Diagrama de Radiação

As antenas podem ser diretivas ou omnidirecionais. As antenas que possuem seu diagrama de radiação direcional tem 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.

2) Densidade de Potência

Uma onda eletromagnética, ao se propagar, transporta energia que é transferida para os 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 [10]:

$$S = E \times H \quad (1)$$

Em que:

- S - Densidade de potência.
- E - Vetor campo elétrico.
- H - Vetor campo magnético.

3) Ganho

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 é o produto da potência entregue a antena pelo ganho em determinada direção.

4) Tilt

O *tilt* da antena é definido como sendo a inclinação da mesma em relação a um eixo e é utilizado para concentrar a energia emitida na direção de interesse [11].

5) Mecanismos de propagação

Os mecanismos de propagação determinam a atenuação de propagação no enlace e, conseqüentemente a potência recebida em um determinado receptor [12]. 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 [13].

B. Limites de Exposição

Os limites de exposição são estabelecidos para proteger a saúde da população [14]. São os países que definem suas próprias normas relativas à exposição aos CEMRF [15]. A maioria das normas nacionais são baseadas em diretrizes estabelecidas por entidades como a ICNIRP e o IEEE. As diretrizes criadas por essas entidades são as mais difundidas e reconhecidas mundialmente, porém a maioria dos países adotam os limites de exposição da ICNIRP.

Os limites definidos pela ICNIRP são divididos em duas classes de exposição: exposição ocupacional e exposição da população em geral [16]. 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, independentes do seu estado de saúde, incluindo indivíduos vulneráveis como crianças, mulheres grávidas e pessoas em tratamentos de saúde. Dessa forma, se faz necessário empregar restrições mais rigorosas.

No Brasil o órgão responsável por regulamentar e fiscalizar se os limites de exposição estão sendo respeitados é a ANATEL. Em 2018 foi aprovada a Resolução nº 700, de 18 de setembro de 2018 que trata sobre a avaliação da exposição humana a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos associados à operação de estações transmissoras de radiocomunicação. De acordo com a Lei nº 11.934, de 05 de maio de 2009, os limites adotados pela ANATEL, são os limites propostos pela ICNIRP.

As Tabelas 1 e 2 mostram os limites de exposição, de acordo com a ANATEL, considerando a exposição ocupacional e exposição da população em geral, referente às frequências usadas nos serviços de radiodifusão.

Tabela 1 – Limites para exposição ocupacional.

Radiofrequências	$E(V/m)$	$H(A/m)$	$S_{eq}(W/m^2)$
10 MHz a 400 MHz	61	0,16	10
400 MHz a 2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0,008f^{1/2}$	$f/40$

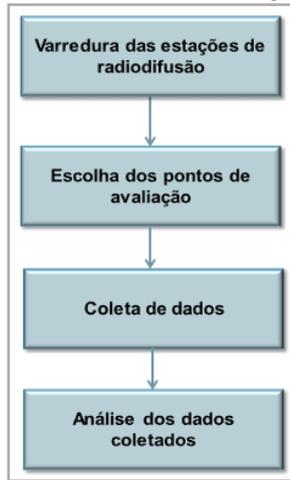
Tabela 2 – Limites para exposição do público em geral.

Radiofrequências	$E(V/m)$	$H(A/m)$	$S_{eq}(W/m^2)$
10 MHz a 400 MHz	28	0,073	2
400 MHz a 2000 MHz	$1,375f^{1/2}$	$0,0037f^{1/2}$	$f/200$

III. METODOLOGIA

A metodologia desse trabalho seguiu os requisitos de avaliação descritos na Resolução nº 700, de 28 de setembro de 2018. Inicialmente, foi realizada uma varredura das 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 estações transmissoras localizadas próximas de áreas de grande circulação de pessoas. Após a varredura, foram escolhidos os pontos de avaliação e realizada a coleta de dados. Por fim, realizou-se a análise dos dados coletados. O fluxograma da Figura 1 ilustra as etapas do desenvolvimento desse trabalho.

Figura 1- Fluxograma ilustrativo da metodologia deste trabalho.



A. Varredura das Estações de Radiodifusão

A varredura das estações foi realizada por meio do site da ANATEL, o qual disponibiliza os planos básicos de cada estação registrada. No bairro Umuarama da cidade de Uberlândia – MG possuem 18 registros, porém, nem todos estão atualizados. Portanto, para a realização deste trabalho, foram avaliadas 15 estações no bairro Umuarama. A Tabela 3 mostra para cada estrutura de suporte (referidas como “TORRE ‘X’”), localizadas no bairro Umuarama, as estações instaladas, que são objetos de análise neste trabalho.

Tabela 3 – Estações de radiodifusão analisadas.

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
	D1	TV	656 – 662
TORRE D	D2	TV	602 – 608
	E1	TV	554 – 560
TORRE E	E2	FM	100.7
	E3	FM	90.9
TORRE F	F1	FM	101.9
	G1	TV	548 – 554
TORRE G	G2	FM	106.5
	G3	FM	95.1
TORRE H	H1	FM	107.5
TORRE I	I1	FM	524 – 530

Na Figura 2 estão representadas as localizações das estruturas de suporte, listadas na Tabela 3, bem como a região do Campus Umuarama (área limitada em azul) e o bairro Umuarama (área limitada em roxo).

Figura 2 – Distribuição das torres de radiodifusão no Umuarama.



B. Pontos de Avaliação

Os pontos de avaliação foram escolhidos nas áreas críticas e de grande circulação de pessoas, nas direções de máxima radiação e nos Domínios de Investigação (DI). Esses critérios foram utilizados de acordo com o que é determinado pela ANATEL.

1) Domínio de Investigação (DI)

Domínio de Investigação (DI) é a região dentro da Fronteira do Domínio de Avaliação (ADB) à qual a população em geral ou um profissional tem acesso. 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. São elas, D e H_b , dadas pelas equações 2 e 3.

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

$$H_b = \max(3,5 ; D \operatorname{tg}(\alpha)) \quad (2)$$

em que:

$EIRP_i$ - EIRP em watts para a frequência i .

$S_{lim,i}$ - Limite de exposição em W/m^2 para a frequência i .

$\max(A, B)$ - Maior valor entre A e B.

α - Maior *tilt* entre todas as antenas transmissoras da estrutura de suporte.

Dessa forma, foram calculadas as regiões ADBs para todas as estruturas de suporte e há somente um ponto de domínio de investigação que corresponde às regiões ADBs de três estações: B1, E2 e E3. Essas três estações possui uma região ADB que alcança do 6º ao 15º andar de um prédio residencial de 15 andares localizado próximo a essas antenas. Portanto, o primeiro ponto de avaliação, como mostrado na Figura 3, é no prédio citado.

Figura 2 – DI referente às estações B1, E2 e E3.



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. Além disso, Campus Umuarama é uma região de grande circulação de pessoas. Portanto os pontos escolhidos para avaliação, levando em consideração esse critério, estão listados na Tabela 4 e suas localizações estão representadas na Figura 4.

Tabela 4 – 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
Biblioteca	Ponto 9
Centro de Convivência	Ponto 10

Figura 4 – Áreas críticas e os pontos de medição.



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:

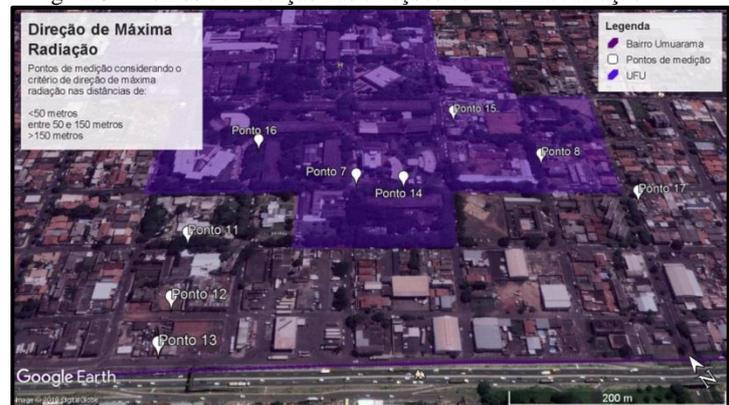
- a uma distância inferior a 50 metros;
- a uma distância entre 50 e 150 metros;
- a uma distância superior a 150 metros.

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. A Tabela 5 lista os pontos de avaliação escolhidos e na Figura 5, estão representadas as localizações dos pontos de medição referente ao critério de máxima direção de radiação.

Tabela 5 – Pontos de medição nas direções de máxima radiação.

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

Figura 5 – Pontos de medição nas direções de máxima radiação.



C. Coleta de Dados

As medições diretas das intensidades de campo elétrico foram realizadas nos 17 pontos mostrados na Figura 6 escolhidos conforme os critérios mostrados anteriormente.

Figura 6 – Todos os pontos de medição direta de campo elétrico.



As medições foram realizadas com o equipamento localizado há uma 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. Além disso, 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.

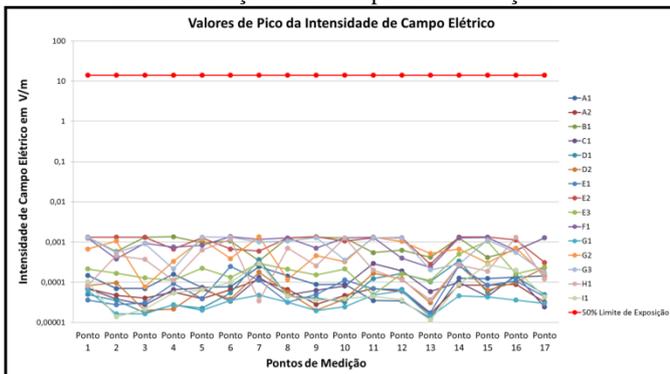
IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise dos valores coletados será realizada levando em consideração tanto a análise individual de cada estação quanto à exposição simultânea a campos de múltiplas radiofrequências, ou seja, a análise da exposição total gerada levando em consideração todas as estações que contribuem com a exposição no ponto de interesse.

A. Análise Detalhada das Estações

O gráfico da Figura 7 mostra o valor de pico de campo elétrico, em V/m , de cada estação em cada ponto analisado. A curva vermelha representa 50% dos valores limites de exposição referente à estação que possui o valor mais restrito do limite de exposição em cada ponto de análise. O valor de 50% foi escolhido, para melhor visualização do gráfico.

Figura 7 – Valores de pico da intensidade de campo elétrico de todas as estações em cada ponto de medição.



O que pode ser observado no gráfico é que os valores de pico são muito menores do que 50% dos limites de exposição definidos pela ANATEL, por meio da Recomendação nº 700, de 28 de setembro de 2018. Os valores limites utilizados no gráfico da Figura 7, foram retirados da Tabela 2.

Portanto, analisando individualmente o nível de campo elétrico gerado por cada estação analisada pode-se concluir que todas elas estão em conformidade com o que é determinado pela ANATEL.

B. Exposição Simultânea a Campos de Múltiplas Radiofrequências

A análise relacionada à exposição simultânea a campos de múltiplas radiofrequências é realizada por meio do cálculo do parâmetro chamado Quociente de Exposição Total (QET) que é um parâmetro que determina a conformidade ou não do local analisado em relação à exposição à CEMRF. A conformidade do ponto analisado é verificada caso respeite a

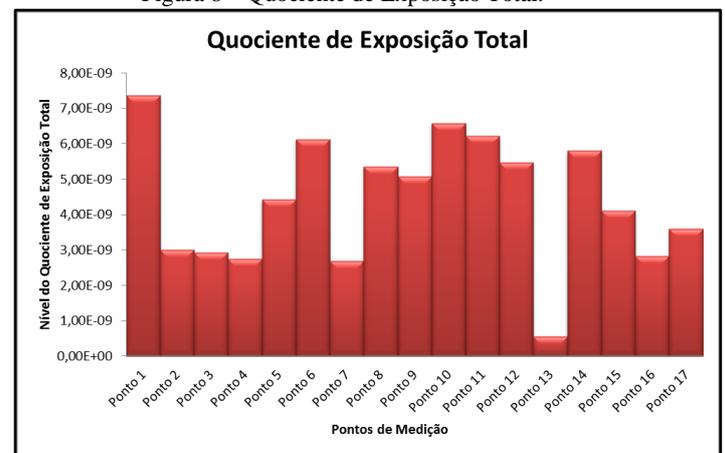
relação dada pela Equação 3. A somatória desta equação resultando no valor do QET.

$$\sum_{i=100 \text{ kHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{lim,i}} \right)^2 \leq 1 \quad (3)$$

Para o critério de exposição simultânea, de acordo com o Item 2.2 do Anexo C do Ato nº 458, caso não haja nenhuma estação que ultrapasse o limiar de até 40 dB abaixo do limite de exposição no ponto de interesse, devem-se identificar as duas emissões que mais contribuem na exposição do ponto considerado.

Dessa forma, para cada ponto de medição foi calculado o valor do QET mostrados no gráfico da Figura 8.

Figura 8 – Quociente de Exposição Total.



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 recomendação nº 700 da ANATEL.

V. CONCLUSÕES

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 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. Portanto,

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.

REFERÊNCIAS

- [1] ANATEL. *Decreto n° 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.
- [2] 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.
- [3] LINHARES, A; TERADA, M. A. B; SOARES, A. J. M. *Estimating the Location of Maximum Exposure to Electromagnetic Fields Associated with a Radiocommunication Statio*. Journal of Microwaves and Optoelectronics, SBMO, v. 12, n. 1, pp. 141-157, 2016.
- [4] 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.
- [5] ANATEL. *Agência Nacional de Telecomunicações*. Disponível em: <<http://sistemas.anatel.gov.br/se/public/view/b/srd.php>> Acesso em: 16 nov. 2018.
- [6] ANATEL. *Resolução n° 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] NRC. *Radiation Basic*. Disponível em: <<https://www.nrc.gov/about-nrc/radiation/health-effects/radiation-basics.html#decay>> Acesso em: 19 out. 2018.
- [8] EUROPEAN COMMISSION. *Health and Electromagnetic Fields*. Disponível em: <https://ec.europa.eu/health/archive/ph.../emf/brochure_en.pdf> Acesso em: 23 out. 2018.
- [9] BALANIS, C. A. *Antenna Theory: Analysis and Design*. 3ª ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2005.
- [10] CARRIJO, G. A. *Apostila de Propagação*. Uberlândia, 159 p.
- [11] 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.
- [12] WENTWORTH, S. M. *Fundamentos de Eletromagnetismo com aplicações em engenharia*. LTC, 2006. 374 p.
- [13] RAPPAPORT, T. S. *Wireless Communications Principles and Practice*. 2. Ed. New Jersey: Prentice Hall, 2002. 641 p.
- [14] WHO. *What are electromagnetic fields?* Disponível em: <<https://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/en/index1.html>> Acesso em: 22 nov. 2018.
- [15] OMS. *Estabelecendo um diálogo sobre os riscos de campos eletromagnéticos*. Genebra, 2002.
- [16] 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.