

Measurement and Analysis of Non-Ionizing Radiation Levels in Residential Environments Emitted by Wi-Fi Routers

Fernanda E. S. Galdino, Júlia da L. A. Silva, Gutemberg Soares da Silva, Fred Sizenando Rossiter Pinheiro, Marcio E. C. Rodrigues, Vicente A. de Sousa Jr., Halysson B. Mendonça, Ricardo Q. de F. H. Silva, Vitor F. C. de Carvalho, Lucas I. C. Medeiros e João V. L. da Silva

Abstract— Due to the low cost of broadband systems, there is a substantial growth in the indoor deployment of networks based on IEEE 802.11 standards, and their expressive insertion in domestic and labor environments. The proximity of those systems to the general population has been raising questions about the risks of exposure to the so-called non-ionizing radiation (NIR), since network equipment is radiofrequency electromagnetic field emitter. This work aims to measure and evaluate the levels of Non-Ionizing Radiation (NIR) by verifying the intensity of the NIR generated by the wireless network devices in residential environments. The ISM 2.4 GHz and 5 GHz frequencies used in Wi-Fi systems are the focus of this investigation. The measurements were conducted and analyzed according to Act No. 458 (January 2019) of the National Telecommunications Agency (ANATEL) and Law n° 11. 934 (May 2009). Measurements of electric field (EF, in V/m) are compared to the exposure limits for the general public, as established by Brazilian legislation. Thus, the highest measurement for EF peak value was 7.16 V/m, corresponding to a percentage of 11.74% of ANATEL limit.

Index Terms—Non-Ionizing Radiation Measurement, Health, Radiofrequency Electromagnetic Field, Wi-Fi, ISM band.

I. INTRODUÇÃO

Na sociedade atual, a tecnologia tornou-se fator essencial para o desenvolvimento econômico e social. O setor de telecomunicações é visto como estratégico, pois permite a comunicação entre os diversos segmentos da sociedade com fins corporativos ou de lazer. Nessa perspectiva, a necessidade de maior cobertura e mais formas de conectividade vêm levantando questionamentos sobre os riscos da exposição às Radiações Não Ionizantes (RNI) [1-2]. O conceito de radiação está relacionado a um fenômeno físico em que ocorre o transporte de energia por meio da propagação de ondas eletromagnéticas ou partículas.

O autor Halysson Mendonça é da Agência Nacional de Telecomunicações, ANATEL, Brasil (e-mail: halysson@anatel.gov.br). Os demais autores são da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, Brasil (e-mails: {fernanda.galdino.075,julia.andrade.097}@ufrn.edu.br, {gutemberg.soares,fred.rossiter,marcio.rodrigues,vicente.sousa}@ufrn.br, {ricardo.queiroz.105,vitor.fassanaro.089,lucas.medeiros.114,vinicius.lira.116}@ufrn.edu.br). Este trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Brasil (CAPES), Código de Financiamento 001. Os autores gostariam de agradecer a ANATEL pela cooperação técnico-científica, em especial a unidade operacional de Natal, RN, Brasil.

Essa radiação eletromagnética pode ser caracterizada por seu comprimento de onda ou pela frequência, de forma a determinar o tipo de radiação emitida, que pode ser do tipo ionizante e não ionizante, conforme região do espectro eletromagnético [2]. As RNIs envolvem frequências inferiores a $3 \cdot 10^{15}$ Hz e não possuem energia suficiente para ionizar a matéria. Esse tipo de fenômeno pode ocorrer de forma natural, por meio de fontes como radiação solar e descargas elétricas, ou artificiais, no emprego de equipamentos como antenas, geradores e linhas de transmissão [3].

Em virtude da expansão dos sistemas de comunicação e da proximidade dos elementos transmissores aos seres humanos, a população está cada vez mais exposta à RNI de forma contínua, sendo necessários estudos com o objetivo de verificar os possíveis efeitos dessa radiação na saúde humana. A Organização Mundial da Saúde (OMS) e a *Internacional Agency for Research on Cancer* (IARC, Agência Internacional de Pesquisa sobre Câncer) incentivam pesquisas para averiguar os possíveis danos à saúde devido a essa exposição [4]. Outras entidades, como a *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP, Comissão Internacional de Proteção Contra Radiação Não-Ionizante) e agências governamentais como a ANATEL, determinaram um conjunto de diretrizes para limitar a exposição humana a campos eletromagnéticos em frequências até 300 GHz. Os limites determinados por essas agências reguladoras compreendem limites ocupacionais, mais flexíveis, e limites mais restritos para o público em geral. Os riscos devem ser restritos e monitorados de modo permanente, devendo a sociedade se proteger dos mesmos, assim como adotar padrões de precaução e segurança.

O Brasil está incluso entre os primeiros países do mundo a considerar o direito ao meio ambiente como direito fundamental. O princípio da precaução [3] não é previsto explicitamente entre os princípios constitucionais, porém sua aplicabilidade pode ser deduzida diretamente do teor destes. Algumas convenções internacionais firmadas pelo Brasil inseriram o princípio da precaução no direito em relação aos temas por ela abrangidos [5]. Entretanto, o princípio da precaução não configura somente uma regra jurídica, oferece de fato uma garantia de direitos humanos, disciplinando a prática de determinados procedimentos até que se estabeleça uma comprovação de sua segurança. Deste modo, o desenvolvimento da ciência e da tecnologia estarão condicionados a uma conduta segura.

O estudo aqui apresentado visa a análise dos níveis de RNI em ambientes residenciais fruto da emissão de pontos de acesso Wi-Fi por meio de medições do campo elétrico. Este trabalho busca preencher uma lacuna de trabalhos de medição disponíveis na literatura sobre medições de RNI provenientes de pontos de acesso Wi-Fi em condição de operação doméstica, incluindo os procedimentos técnicos determinados no ato nº 458/2019 da ANATEL [6] e as determinações da Lei nº 11.934/2009 [7].

O presente artigo compreende as seguintes partes: a Seção II apresenta uma revisão bibliográfica de trabalhos relacionados à investigação proposta e um referencial teórico, incluindo menções aos principais pontos da legislação brasileira referentes à RNI; a Seção III apresenta uma breve explanação sobre os equipamentos de medição, pontos de acesso e smartphones, bem como o método e o procedimento de medição empregados no estudo; a Seção IV mostra e discute os resultados obtidos nas medições; e a Seção V aborda as principais conclusões do trabalho.

II. REFERENCIAL TEÓRICO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As radiações eletromagnéticas ocorrem naturalmente, mas em intensidades muito baixas quando comparadas às radiações artificiais. A proliferação de dispositivos eletrônicos para uma diversidade de usos (industrial, militar, doméstica ou para aplicações médicas) emitem uma grande variedade de RNI e aumentaram consideravelmente as fontes artificiais de radiações eletromagnéticas.

Frente a este cenário, surge, também, a preocupação com relação aos efeitos biológicos que possam ser causados por tal tipo de radiação. A pesquisa dos efeitos biológicos da RNI tem revelado que tal radiação pode produzir alterações estruturais e funcionais nos organismos irradiados. Tais alterações são devidas não apenas ao aquecimento (efeitos térmicos), mas também a outras formas de interação da radiação com o sistema biológico, os efeitos não térmicos [8, 2].

Os diferentes tecidos biológicos e as dimensões da região do corpo afetado pela RNI influenciam no percentual de absorção e reflexão da onda eletromagnética nos tecidos biológicos. A Taxa de Absorção Específica, do inglês *Specific Absorption Rate* (SAR), é o parâmetro frequentemente utilizado para medir essa absorção [9,10] e é discutida mais detalhadamente a seguir.

A. Taxa de Absorção Específica (SAR)

A SAR é uma medida para absorção de energia por tecidos do corpo. É definida como a quantidade de energia absorvida de uma onda eletromagnética por unidade de massa, geralmente medida em W/kg [9, 11]. Essa taxa norteia os limites máximos de exposição à radiação pelo corpo humano a fim de prevenir os efeitos à saúde. As exposições foram categorizadas em ambientes públicos e ambiente de trabalho [2]. O Ato 458/2019 [6], expedido pela ANATEL, apresenta as restrições básicas para limitação da exposição humana a Campos Elétricos, Magnéticos e Eletromagnéticos na faixa de radiofrequências (CEMRF), para radiofrequências entre 100 kHz e 10 GHz. Os limites referentes à SAR são ilustrados na

Tabela I.

Faixa de Frequência	SAR média corpo inteiro (W / kg)	SAR cabeça e tronco (W / kg)	SAR nos membros (W / kg)
100 kHz a 10 MHz	0,08	2	4
10 MHz a 10 GHz	0,08	2	4

Fonte: Ato nº 458/2019 [6].

B. Legislação Brasileira

A legislação brasileira sobre RNI compreende a Lei Nº 11.934/2009 [7], a Resolução Nº 700/2018 e o Ato Nº 458/2019 [6]. Estes documentos apresentam os limites à exposição humana a campos eletromagnéticos provenientes de estações transmissoras de radiocomunicação, de terminais de usuário e de sistemas de energia elétrica, nas faixas de frequências de 8,3 kHz até 300 GHz. Adicionalmente, o Ato Nº 458 visa nortear os procedimentos de medições de campo elétrico e magnético a fim de auxiliar na obtenção dos parâmetros necessários para avaliação da exposição à RNI. Os limites estabelecidos pela norma brasileira são baseados nos limites de exposição da ICNIRP.

Em todos os textos legais, há o disciplinamento dos limites para a população em geral e ocupacional. Conforme dispõe a Resolução Nº 700/2018, a exposição da população em geral (ou exposição não controlada) é a “situação na qual a população em geral é exposta a CEMRF ou situação na qual pessoas são expostas em consequência de seu trabalho, porém sem estarem cientes da exposição ou sem possibilidade de adotar medidas preventivas, excluindo-se a exposição durante procedimentos médicos”; por outro lado, a exposição ocupacional (ou exposição controlada) denomina a "situação em que pessoas são expostas a CEMRF em consequência de seu trabalho, e estão cientes do potencial de exposição, podendo exercer controle sobre sua permanência no local ou tomar medidas preventivas". A Tabela II apresenta os limites de exposição para a população em geral.

Faixa de Frequência	Intensidade de Campo E (V / m)	Densidade de potência da onda plana equivalente Seq (W / m ²)
8,3 kHz a 150 kHz	83	-
0,150 MHz a 1 MHz	83	-
1 MHz a 10 MHz	87/ f ^{1/2}	-
10 MHz a 400 MHz	28	2
400 MHz a 2000 MHz	1,375 f ^{1/2}	f/200
2 GHz a 300 GHz	61	10

Fonte: Adaptado do Ato nº 458/2019 [6].

As diretrizes técnicas contidas nos referidos documentos guiaram os processos de medição a fim de obter a intensidade do campo elétrico (V/m) para análises da exposição da população em geral. Assim, o estudo seguiu as seguintes

recomendações: (i) garantiu uma média temporal de 6 minutos para cada medição; (ii) identificou um ponto de máxima exposição humana a CEMRF; (iii) estabeleceu uma distância, de pessoas e objetos de no mínimo 2 metros do equipamento durante a medição; e (iv) não utilizou dispositivos portáteis de telecomunicações para não prejudicar a aferição.

C. Trabalhos Relacionados

A revisão bibliográfica desse trabalho adotou procedimentos semelhantes aos apresentados em [12-13] e utilizou as seguintes bases de dados: Scopus, Web of Science (WOS) e o Oasisbr (portal Brasileiro de publicações científicas com acesso aberto). Foram utilizadas as palavras-chave: “Non-ionizing” AND “Radiation”; “Non-ionizing” AND “Radiation” AND “Wi-Fi”. Para o portal Oasisbr foi utilizado o termo “Radiação Não Ionizante”.

Foram considerados os estudos publicados a partir de 2005 até 2022, cujo idioma é Inglês ou Português. A pesquisa relacionada aos termos “Non-ionizing” AND “Radiation” foi realizada no título, a fim de garantir que os estudos estão relacionados à RNI. Os demais agrupamentos foram construídos com base no título, resumo e palavras-chave. Sendo assim, na pesquisa por títulos foram encontrados 227 artigos na base Scopus, 113 artigos na base WOS e 30 trabalhos no portal Oasisbr.

Em relação ao termo “Non-ionizing” AND “Radiation” na base WOS, a pesquisa retornou diversos estudos relacionados a diversas áreas do conhecimento. Dentre elas, destaca-se: engenharia, com 29 artigos; biologia, com 12 artigos e medicina nuclear ou ciência nuclear, com 30 artigos. Em outra análise referente ao termo “Non-ionizing” AND “Radiation” AND “Wi-Fi”, é possível verificar que as publicações relacionadas ao Wi-Fi se iniciaram no ano de 2010 e obtiveram um crescimento no período compreendido entre 2015 e 2019, conforme apresenta a Fig. 1.

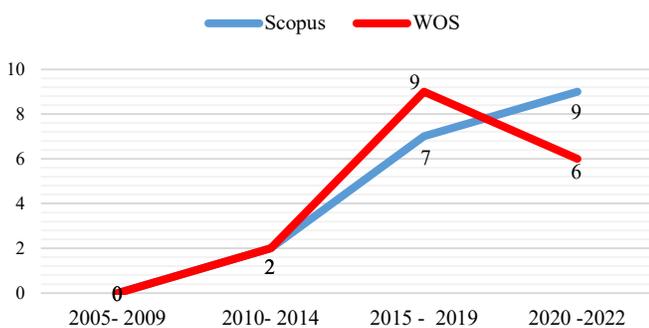


Fig. 1: Quantidade de publicações por período relacionadas a RNI e Wi-Fi.

Nota-se que a análise de exposição à RNI não é objeto de estudo recente. Os resultados originados da primeira busca mostram, em sua maioria, que os estudos focam na análise de campos eletromagnéticos para baixas frequências (50 a 60 Hz), presentes em ambiente residencial e em sistemas elétricos (subestações) [14-15]. Além disso, diversas publicações discutem sobre análise e medições referentes à RNI, sobretudo

em relação às Estações Rádio Base (ERBs) [16-18].

Os resultados da pesquisa com o termo “Non-ionizing” AND “Radiation” AND “Wi-Fi” estão mais alinhados com o objeto de estudo desse trabalho. Entre as publicações fruto da pesquisa, não existem muitos artigos relacionados às medições ou análises de RNI para frequências de operação do Wi-Fi. Um desses estudos buscou validar o uso de terminais Android para realizar medições de campo elétrico gerados por pontos de acesso Wi-Fi em ambientes internos e externos [19]. O trabalho [20] analisa a condição de exposição à RNI de 63 voluntários por um período de 24 horas utilizando equipamentos de medição portáteis e monta mapas da RNI proveniente de pontos de acesso Wi-Fi em ambientes externos e internos. Tais mapas são construídos também em universidades nos trabalhos [21] e [22], com [22] tendo medições em 3 anos diferentes para o mesmo local.

O trabalho aqui apresentado contribui ao apresentar novas medições em ambiente residencial, com metodologia que estabelece pontos de acesso Wi-Fi em condição de operação doméstica com alta carga, funcionando tanto individualmente como simultaneamente em 2,4 GHz e 5 GHz, preenchendo uma lacuna existente no estado da arte, conforme apresentado na Tabela III.

TABELA III
COMPARAÇÃO DOS PRINCIPAIS TRABALHOS RELACIONADOS.

Ref.	Tempo de medição segue o ICNIRP	Ambiente residencial (operação doméstica)	Sistema Wi-Fi com carga alta	Operação simultânea em 2,4 e 5 GHz
[19]	x	x	✓	x
[20]	✓	x	x	✓
[21]	x	x	x	✓
[22]	✓	x	x	✓
Este Trabalho	✓	✓	✓	✓

III. INSTRUMENTOS E PROCEDIMENTOS DE MEDIÇÃO

A metodologia de medição deste trabalho foi definida para analisar os níveis de RNI nas frequências de 2,4 GHz e 5 GHz, em ambientes residenciais na região metropolitana de Natal, estado do Rio Grande do Norte, Brasil. Os procedimentos de medição levaram em consideração as fontes de emissão de radiação (dispositivos Wi-Fi), a frequência de operação e a seleção dos locais a serem avaliados. Após as medições, os dados obtidos foram representados em gráficos e comparados aos limites estabelecidos no Ato N° 458/2019 [6]. A metodologia de medição adotada foi definida de acordo com as normas da ANATEL e os equipamentos adotados são os mesmos utilizados pela agência. A seguir, são caracterizados os equipamentos de medição, pontos de acesso e os terminais Android (*smartphones*), bem como explicitados os procedimentos adotados no trabalho.

A. Instrumentos de Medição

As medições foram feitas usando o Narda NBM-520, conectado à sonda NBM E-Field-Probe EF 0691, que são componentes comercializados pela empresa Narda Safety Test

Solutions (ver Fig. 2). O equipamento Narda armazena o valor médio e valor de pico de intensidade de campo elétrico para um dado período de medição. O equipamento é capaz de medir campo elétrico (V/m), campo magnético (A/m) e densidade de potência (W/m^2) na faixa de frequências de 100 kHz até 100 GHz. A sonda utilizada para as medições capta campo elétrico e opera na faixa de 100 kHz até 6 GHz. O equipamento é calibrado pelo fabricante de acordo com calendário periódico de calibração definido pela ANATEL.



Fig. 2: Narda NBM-520 e sonda NBM E-Field-Probe EF0691 [23].

Neste estudo, foram utilizados dois smartphones com sistema operacional Android: Samsung A03 e Motorola Moto G5 Plus. Ambos os equipamentos possuem capacidade de conexão nas frequências 2,4 GHz e 5 GHz. Foi utilizado o aplicativo Magic iPerf com intuito de estabelecer uma comunicação controlada entre os smartphones, por meio do ponto de acesso Wi-Fi, permitindo uma conexão com máxima taxa de transferência de dados, de maneira que o ponto de acesso opere em carga máxima, utilizando todos os recursos de camada física do canal que está em operação. Os terminais executando o iPerf estão ilustrados na Fig. 3.



Fig. 3: Ilustração dos terminais Android utilizados.

B. Procedimentos de Medição

A metodologia de medição adotada por esse trabalho segue as recomendações brasileiras referentes à exposição à RNI, definidas pela lei N° 11.934/2009 [7], pela Resolução N° 700/2018 e pelo Ato N° 458/2019 [6].

Como mostrado na Tabela II, a ANATEL estabelece o limite de exposição para a população em geral, na faixa de frequências de 2 GHz a 300 GHz, de 61 V/m para intensidade de campo elétrico (valor eficaz não perturbado). As seguintes condições de medição foram adotadas nos experimentos: (i) um ponto de medição no local de máxima exposição humana decorrente da emissão de CEMRF da estação transmissora que está sendo avaliada; e (ii) para radiofrequências entre 100 kHz

e 10 GHz, deve ser garantida que a média temporal ao longo de seis minutos atenda ao limite de exposição.

Além do Narda, da sonda e dos terminais Android, um tripé de madeira foi utilizado para as medições. Para cada ponto de acesso objeto das medições, foi realizada a identificação do fabricante, do modelo, e do ano de fabricação, bem como registrada a ocorrência de algum dano físico na estrutura do equipamento. O *setup* de medição foi composto pelo equipamento Narda acoplado ao tripé e conectado à sonda o ponto de acesso e os 2 terminais Android. O tripé foi posicionado a 50 cm do ponto de acesso e os terminais a 2 metros do equipamento de medição, distância necessária para assegurar que não haja perturbação dos campos eletromagnéticos, como é determinado em [6]. O *setup* é ilustrado na Fig. 4. Como este trabalho propõe realizar medições em condições de uso residencial de pontos de acesso Wi-Fi, que muitas vezes operam bem próximos às pessoas, definiu-se que 50 cm é uma distância de pior caso para pontos de acesso em tais condições.

O processo de medição foi operacionalizado em quatro etapas: (i) ponto de acesso desligado; (ii) ponto de acesso em carga máxima na frequência 2,4 GHz; (iii) ponto de acesso em carga máxima na frequência 5 GHz e (iv) ponto de acesso em carga máxima em ambas as frequências, 2,4 GHz e 5 GHz.

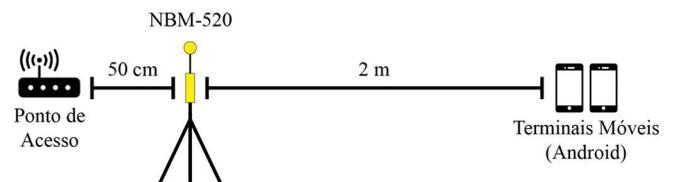


Fig. 4: Ilustração do Setup de Medição.

Os smartphones apresentados na Fig. 3 são conectados no ponto de acesso e inicia-se o processo de medição por 6 minutos, registrando os valores de média e de pico de campo elétrico. No entanto, para o equipamento desligado, foi necessário somente uma medição de 1 minuto a fim de constatar a ocorrência de contribuições de outras fontes no local. A Fig. 5 mostra o setup de medição em dois ambientes residenciais diferentes.



Fig. 5: Setup de medição em diferentes ambientes residenciais.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As medições foram realizadas em 40 residências, horizontais e verticais, na Grande Natal, RN. Na Tabela III, é possível verificar que os valores de pico de intensidade de campo elétrico estão abaixo de 50% do limite estabelecido pela ANATEL, e que o maior valor de campo elétrico está relacionado à frequência 2,4 GHz (banda do Wi-Fi mais congestionada e com menor perda de percurso que a frequência de 5 GHz).

TABELA III
RESULTADOS DAS MEDIÇÕES.

Frequência	Valor de Pico E (V / m)	Valor Mínimo (V/m)	% do Limite (pico)
2,4GHz	7,16	0,42	11,74
5 GHz	6,90	0,64	11,31
2,4 e 5 GHz	6,39	0,51	10,47
Desligado	1,74	0,00	2,85

Ao analisar os dados obtidos nas medições, agrupando-os por valor de pico e por média do campo elétrico para pontos de acesso desligados (ver Fig. 6), verifica-se que os valores estão abaixo do limite estabelecido e não apresentam contribuição significativa referente a outras fontes não investigadas neste trabalho.

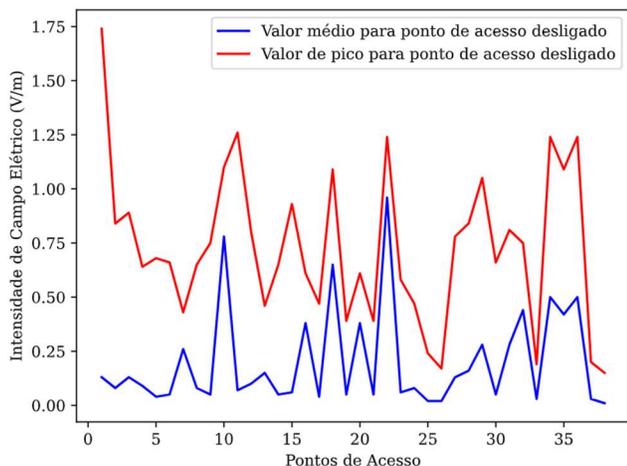


Fig. 6: Valor de pico e médio para pontos de acesso desligados.

Nota-se que a maioria dos pontos de acesso tem fabricação recente, como pode ser verificado na Fig. 7.

Foi possível ainda constatar intensidades médias de campo elétrico abaixo 1 V/m quando o ponto de acesso está desligado. As medições apresentadas neste trabalho são realizadas em ambiente residencial e estão sujeitas a fontes adicionais de radiação além dos pontos de acesso Wi-Fi, como

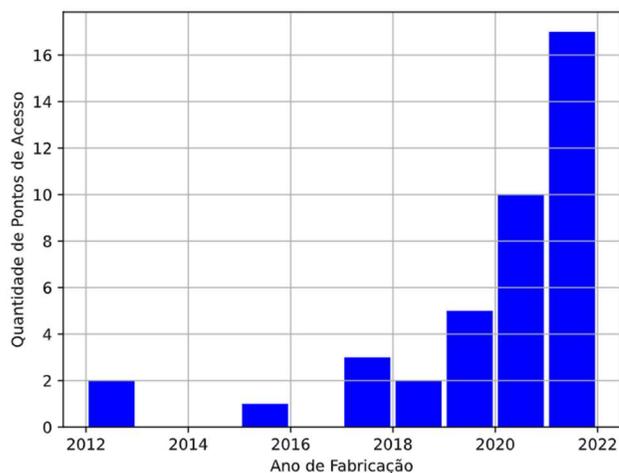


Fig. 7: Quantidade de pontos de acesso em relação ao ano de fabricação.

telefones celulares, aparelhos eletrônicos e redes elétricas. Ao apresentar os resultados com o Wi-Fi desligado, pretendeu-se medir a contribuição de tais fontes para a exposição total à RNI. Quando os pontos de acesso estão ligados, o maior valor de pico foi de 7,16 V/m, enquanto a maior média registrada foi de 4,66 V/m, conforme gráfico apresentado na Fig. 8.

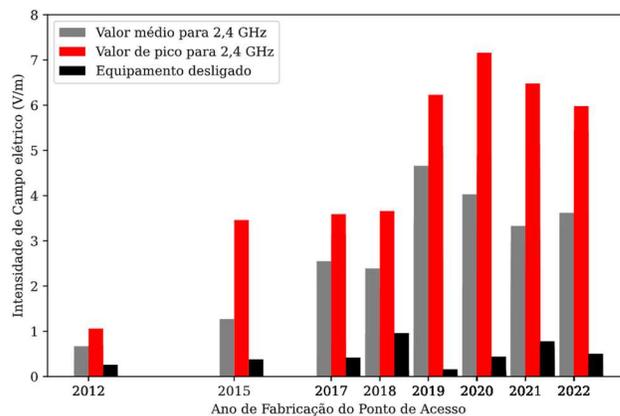


Fig. 8: Valor de pico e médio do campo elétrico para pontos de acesso operando em 2,4 GHz em relação ao ano de fabricação.

Conforme a metodologia adotada, as medições contemplaram as frequências usadas simultaneamente pelos pontos de acesso (2,4 GHz e 5 GHz). Foi verificado que o maior valor de radiação está presente em 2,4 GHz. Observa-se, também, que a média está abaixo do limite de exposição permitido. Para os valores médios, a maior medição foi de 4,66 V/m, evidenciando que todos os dispositivos geram valores de RNI abaixo do estabelecido na legislação nacional, como pode ser verificado na Fig. 9.

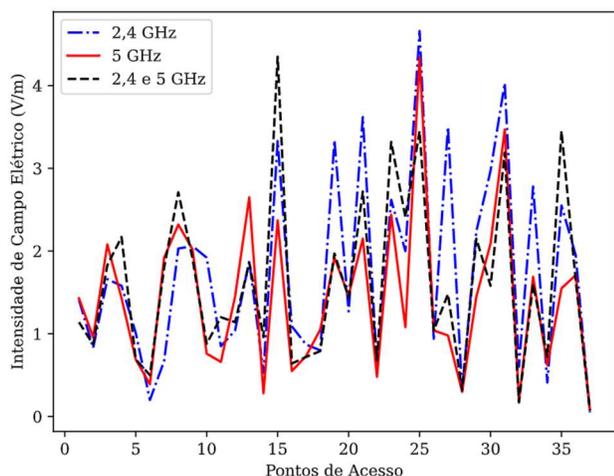


Fig. 9: Média de intensidade de campo elétrico.

Considerando os valores médios quando descontado o valor de referência (ponto de acesso desligado), verifica-se que a diferença atingiu 4,64 V/m (em 2,4 GHz); 4,32 V/m (em 5 GHz) e 3,97 V/m (para operação simultânea em 2,4 e 5 GHz). Esses números evidenciam que a média da intensidade de campo elétrico aumenta em mais de 4 vezes devido a operação de pontos de acesso Wi-Fi, contudo, como já mencionado, ainda muito distante do limite estabelecido pela legislação.

V. CONCLUSÕES

Os avanços tecnológicos da sociedade trouxeram benefícios inestimáveis para o conforto e bem-estar do homem. Entretanto, eles também geram ameaças e riscos ao meio ambiente e à saúde. A RNI abrange praticamente todos os serviços de radiocomunicação de utilização pública e privada e as implementações crescentes dos novos serviços dão origem a novos ambientes de exposição eletromagnética, em decorrência do surgimento de diferentes emissões e níveis de potência, bem como diferentes períodos de tempo e áreas de exposição no corpo humano.

O direito de desfrutar de um ambiente salubre remete à constatação de que a despeito de todos os benefícios proporcionados pelos serviços de telecomunicações provisionados com o uso das tecnologias emissoras de RNI, como qualquer outra atividade econômica, deve atender tanto à saúde dos usuários, quanto ao equilíbrio ambiental. Neste contexto, este trabalho contemplou a análise dos níveis de RNI em ambientes residenciais nas frequências de 2,4 GHz e 5 GHz emitidas por pontos de acesso Wi-Fi. O estudo teve como foco as radiações emitidas pelos pontos de acesso Wi-Fi em ambientes residenciais, cujas medições foram fundamentadas em normas e regulamentos propostos pela ANATEL.

Foi constatado que os campos elétricos medidos nos ambientes selecionados estão abaixo dos limites estabelecidos pela legislação brasileira. Ao analisar o maior índice de pico, referente à frequência de 2,4 GHz, verificou-se que o valor encontrado corresponde 11,74% do limite proposto pela ANATEL. Além disso, o maior índice referente à média foi de 4,66 V/m para intensidade de campo elétrico. Em relação à

frequência de 5 GHz, aferiu-se o valor médio de 4,34 V/m para intensidade de campo elétrico. No uso das frequências combinadas, foi encontrado um valor médio de 4,35 V/m para intensidade de campo elétrico. Portanto, a frequência de 2,4 GHz apresenta os maiores índices de radiação em relação às demais frequências analisadas.

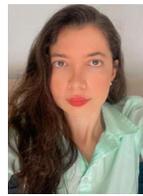
Em todas as análises realizadas foi verificado que os índices de RNI medidos atendem os limites de segurança estabelecidos pela ANATEL.

Alguns dados das medições serão explorados em trabalhos futuros, incluindo marca e características dos pontos de acesso (uso de MIMO, tipo de antena, potência de transmissão, entre outros). Novas medições são pretensões de trabalhos futuros, pois deve ser levado em consideração o fato de que, alterações nas condições dos ambientes em que se realizaram as medidas podem mudar os resultados, seja pelo acréscimo de mais unidades Wi-Fi, novos tipos de dispositivos ou mesmo a utilização de novas tecnologias.

REFERÊNCIAS

- [1] G. A. Carrijo and D. O. Silva, "Análise dos Níveis de Radiação Não Ionizante no Bairro Umarama da Cidade de Uberlândia Emitidas por Fontes de Serviços de Radiodifusão. Uberlândia, MG, Jul. 2019.
- [2] C. H. S. Figueiredo, L. R. Glaucio, P. T. Pereira, M. S. Júnior and C. S. Queiroz. *Comparação de níveis de radiações de radiofrequência emitidas por antenas de estações rádio-base. Telecomunicações*, vol. 13, no. 1, pp. 48-54. May 2011.
- [3] M. L. C. Netto, *Mapa de Emissão de Radiação Não Ionizante para o Cidadão*, Rio de Janeiro, RJ, Aug. 2018.
- [4] A. M. Ammar, A. Y. Ellafi and A. R. Zerek, *Study of 5G Technology Effects on Public Health and Aviation Safety. IEEE 2nd International Maghreb Meeting of the Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (MI-STA)*, pp. 458-464. 2022. DOI: 10.1109/MI-STA54861.2022.9837759.
- [5] E. A. P. C. Boiteaux and F. N. Boiteaux Poluição, *Eletromagnética e Meio Ambiente*, Porto Alegre, RS, Brasil: Sérgio Antônio Fabris Editor, 2008.
- [6] BRASIL. Ato nº 458, de 24 de janeiro de 2019. Atos de Requisitos Técnicos de Gestão do Espectro. Brasil: Agência Nacional de Telecomunicações, [2019]. Disponível em: <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/atos-de-requisitos-tecnicos-de-gestao-do-espectro/2019/1237-ato-458>. Acesso em: 22 nov. 2022.
- [7] BRASIL. Lei nº 11.934, de 05 de maio de 2009. Dispõe sobre limites à exposição humana a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos. Brasília: PR. [2009].
- [8] F. S. R. Pinheiro, T. M. O. Maranhão, M. B. Filho, M. E. C. Rodrigues, SILVA, G. S. Silva, T. P. Sousa, M. A. B. Sanchis, A. L. S. Câmara; J. P. S. Gonçalo and A. A. C. C. Braga, *Assessment of non-ionizing radiation from radio frequency energy emitters in the urban area of Natal City, Brazil. Scientific Research and Essays*, vol. 10, no. 2, pp. 79-85, Jan. 2015, DOI: 10.5897/SRE2014.6025.
- [9] LARA DUCA, A. C. Efeitos biológicos das radiações não-ionizantes e medidas de proteção. *Engenharia* (446): 16-9. 1984
- [10] I. F. Souza and L.V. F. Gamberin, *Análise dos níveis de radiação não ionizante em diferentes ambientes na faixa de 100 kHz até 3 GHz. TCC. UFFE*. 2018.
- [11] ICNIRP Guide Lines, pp 5, disponível em <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPrfgdl2020.pdf>

- [12] M. C. Cunha, K. L. O Barboza, L. S. G. Borges, J. M. S. Martins, E. G. Gonzales and L. P. Andrade, *Brazilian art state about exposition to non-ionizing radiation and the effects in human health. Brazilian Journal of Development*, vol. 07, no. 08, pp. 80876-80893, Aug. 2021, DOI: 10.34117/bjdv7n8-346.
- [13] S. L. Silva, *Avaliação dos Níveis de Radiação Ionizante em Ambientes de Trabalho de uma Universidade Brasileira*. Dissertação de Mestrado. UFPB. 2018.
- [14] A. A. R. Silva; L. B. Silva, R. M. Silva and R. B. B. Dias, *Levels of non-ionizing radiation in vertical residences in João Pessoa (PB). Occupational Safety and Hygiene VI - Selected contributions from the International Symposium Occupational Safety and Hygiene*, in *SHO 2018*, pp. 213-217 2018, DOI: 10.1201/9781351008884-37.
- [15] S. L. Silva, L.B. Silva, M. B. F. V. Melo, SOUZA, E. L. Souza, and T. R. A. L. A. Cunha, *Non-ionizing radiation levels in environments with VDT of UFPB's technology center, Occupational Safety and Hygiene V - Proceedings of the International Symposium on Occupational Safety and Hygiene*, in *SHO 2017*, João Pessoa, PB, Brasil, 2017 pp. 419-422.
- [16] S. N. Hazmin, A. R. S. N. Dianah, R. Umar, A. N. Dagang, M. K. A. Kamarudin and H. Jaafar, *Non-ionizing radiation exposure: electric field strength measurement around selected base stations in Kuala nerus. J. Fundam. Appl. Sci.*, vol. 10, no. 1S, pp. 52-65, Mar. 2018, DOI: 10.4314/jfas.v10i1s.4.
- [17] M. E. C. Rodrigues, F. S. R. Pinheiro, A. C. A. Braga, P. T. Sousa, J. P. S. Gonçalves, M. A. B. Sanchis and A. L. S. Câmara, *Measurements of non-ionizing radiation on urban environment and preliminary assessment of relative contribution among different services. 2013 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave & Optoelectronics Conference (IMOC)*, 2013, pp. 1-4. DOI: 10.1109/IMOC.2013.6646602.
- [18] A. B. F. Diniz, V. Sousa Jr, M. E. C. Rodrigues, H. B. Mendonça, G. S. Silva and F. S. R. Pinheiro, *Non-Ionizing Radiation Analysis in Close Proximity to Antenna Tower: A Case Study in Northeast Brazil. Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications*, vol. 20, no. 1, pp. 126-142, Mar. 2021, DOI: 10.1590/2179-10742021v20i1833.
- [19] M. A. Quiespe, R. Adriano, P. Alvarado and J. Samaniego, *Using Android Terminals for Measuring the Electric Field Strength Generated by Wi-Fi Access Points. IEEE Latin America Transactions*, vol. 15, no. 8, pp. 1407-1412, 2017, DOI:10.1109/TLA.2017.7994786.
- [20] R. Ramirez-Vazquez, J. Gonzales-Rubio, I. Escobar, C. d. P. Suarez Rodriguez and E. Arribas, *Personal Exposure Assessment to Wi-Fi Radiofrequency Electromagnetic Fields in Mexican Microenvironments. Environ. Res. Public Health*, vol. 18, no. 4, pp. 1857, Feb. 2021, DOI: 10.3390/ijerph18041857.
- [21] R. Ramirez-Vazquez, S. Arabasi, H. Al-Taani, S. Sbeih, J. Gonzales-Rubio, I. Escobar and E. Arribas, *Georeferencing of Personal Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields from Wi-Fi in a University Area. Environ. Res. Public Health*, vol. 17, no. 6, pp. 1898, Mar. 2020, DOI: 10.3390/ijerph17061898.
- [22] R. Ramirez-Vazquez, S. Arabasi, H. Al-Taani, S. Sbeih, J. Gonzales-Rubio, I. Escobar and E. Arribas, *Comparison of personal exposure to radiofrequency electromagnetic fields from Wi-Fi in a Spanish university over three years. Science of The Total Environment*, Elsevier, v. 858, p. 160008, 2023.
- [23] NBM-520 - Narda Broadband Field Meter: Operating Manual, Narda Safety Test Solutions, Pfullingen, Germany, 2022, pp. 15.



Fernanda Galdino received a degree in Science and Technology from the Federal University of Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, Brazil, in 2017. She is also currently pursuing a diploma in Telecommunication Engineering at UFRN.



Júlia da L. A. Silva received her B.S. degrees in Science & Technology and in Telecommunications Engineering from UFRN, in 2017 and 2020, respectively. She completed her professional MBA in Systems and Telecommunications Analysis at Escola Superior Aberta do Brasil (ESAB) in 2022. She is a Master's degree student in the Program in Electrical and Computer Engineering (PPgEEC) at UFRN.



Gutemberg Soares da Silva holds a PhD in Electrical and Computer Engineering (2015) from UFRN and a master's degree in Electrical Engineering (1992) from the Federal University of Rio de Janeiro (UFRJ). He is also graduated in Electrical Engineering (1975) and Economics (1983) from UFRN. He also has specialization degree in Telecommunications Engineering (1996) from the Federal University of Campina Grande (UFCG), Brazil. Between 1975 and 2002, he developed activities in planning, design, implementation and operation of telecommunications systems as an executive at TELERN-TELEBRAS, Brazil. Now, Dr. Gutemberg is a professor and a researcher at UFRN, Brazil.



Fred Sizenando Rossiter Pinheiro holds a PhD degree in Health Sciences (2017), a master's and a undergraduation degrees in electrical engineering (2006, 1975) from UFRN. He holds a specialization degree in Telecommunications Engineering (1996) from UFCG. As engineer at TELERN and TELEMAR (OI) (1975 to 2002), He was responsible for the deployment of microwave communication and telephony systems. He was responsible for implementing and managing the communications system that supported Pope John Paul II's visit to Natal, RN, Brazil, 1991. He took a specialization course in Rural Telecommunications Planning at the USTTI (United States Government Telecommunications Training Institute), Washington and Los Angeles, 1993. Nowadays, Dr. Fred is a professor and a researcher at UFRN.



Marcio E. C. Rodrigues has a BSc degree in Telecommunications Engineering from Fluminense Federal University (UFF, Brazil, year 1997) and MSc (year 2000) and PhD (year 2010) degrees in Electrical Engineering (Telecommunications) from Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro (PUC-

Rio, Brazil), including one year of doctoral stay at ONERA (Toulouse/France, year 2008). In the private enterprise, he took part in projects and research in the field of radio propagation and wireless communications, for mobile operators, ANATEL and Petrobrás, among others. Since 2011, he is a professor at UFRN, having as research interest involving radio propagation, wireless channel modeling, besides Engineering teaching methodologies.



Vicente A. de Sousa Jr. received his B.S., M.S and Ph.D. degrees in Electrical Engineer from the Federal University of Ceará (UFC), Fortaleza, CE, Brazil, in 2001, 2002 and 2009, respectively. Between 2001 and 2006, he developed solutions to UMTS/WLAN interworking

for UFC and Ericsson of Brazil. Between 2006 and 2010, he contributed to WIMAX standardization and Nokia's product as a researcher at the Institute of Technological Development (INdT). Dr. Sousa is now a professor and the head of the GppCom Research Group at UFRN. He is contributing to 5G open RAN projects supported by Lenovo and to NIR measurements and evaluation projects supported by ANATEL Agency.



Halysson B. Mendonça received his M.S degree on mobile communications in 2002. Since 2005, He is working as an engineer at the National Telecommunications Agency – ANATEL. He is responsible for the inspection of the technical rules of regulated companies. In 2011, Mr. Mendonça concluded a

specialization course in Telecommunications Regulation at INATEL, a multidisciplinary course, including technical, legal and other regulatory aspects.



Ricardo Q. de F. H Silva received his B.S. degree in Electrical Engineering from UFRN in 2023 and has a technician degree in Electronics at the Federal Institute of Education, Science and Technology of Rio Grande do Norte (2017). He is now pursuing a master's degree and is a research fellow of

GppCom Research Group, where is currently working with conception and analysis of features for Wi-Fi, LTE and NR networks using ns-3 simulator. Silva also was an intern at the ANATEL, where contributed to NIR evaluation projects.



Vitor F. C. de Carvalho received his bachelor's Degree in Electrical Engineering from UFRN in 2021. He is currently contributing to NIR evaluation projects supported by ANATEL Agency.



Lucas I. C. Medeiros received his B.S. degree in Telecommunications Engineering from UFRN in 2021. BSc. Medeiros is now pursuing a master's degree and Researching with GppCom Research Group at UFRN. He is also contributing to 5G open RAN projects supported by Lenovo and to NIR evaluation

projects supported by ANATEL Agency.



João V. L. da Silva is now pursuing a BSc degree in Electrical Engineering at UFRN. He is a research fellow of GppCom Research Group at UFRN, where is currently working on measurements of NIR. He is also an intern at the National Telecommunications Agency.