

Alterações na saúde humana ocasionadas pela exposição a campos eletromagnéticos de frequência de micro-ondas: Uma revisão da literatura

Changes in human health caused by exposure to microwave frequency electromagnetic fields: A literature review

DOI:10.34117/bjdv7n8-660

Recebimento dos originais: 07/07/2021

Aceitação para publicação: 30/08/2021

Pedro Henrique Bersan Menezes

Estudante de Medicina, pelo Centro Universitário de Brasília
Instituição: Centro Universitário de Brasília
Endereço: SEPN 707/907, Asa Norte - Brasília, DF, CEP: 70790-075
E-mail: pedroberson@sempreceub.com

Igor Gifoni Aragão

Estudante de Medicina, pelo Centro Universitário de Brasília
Instituição: Centro Universitário de Brasília
Endereço: SEPN 707/907, Asa Norte - Brasília, DF, CEP: 70790-075
E-mail: igor.aragao@sempreceub.com

Rodrigo de Azevedo Meneses

Estudante de Medicina, pelo Centro Universitário de Brasília
Instituição: Centro Universitário de Brasília
Endereço: SEPN 707/907, Asa Norte - Brasília, DF, CEP: 70790-075
E-mail: rodrigo.meneses@sempreceub.com

Rodrigo Horta de Souza Rosario

Estudante de Medicina, pelo Centro Universitário de Brasília
Instituição: Centro Universitário de Brasília
Endereço: SEPN 707/907, Asa Norte - Brasília, DF, CEP: 70790-075
E-mail: rodrigo.horta@sempreceub.com

Yasmin de Oliveira D'Avila de Araujo

Estudante de Medicina, pelo Centro Universitário de Brasília
Instituição: Centro Universitário de Brasília
Endereço: SEPN 707/907, Asa Norte - Brasília, DF, CEP: 70790-075
E-mail: yasmin.daraujo@sempreceub.com

Felipe Moraes Cortez Gurgel

Estudante de Medicina, pelo Centro Universitário de Brasília
Instituição: Centro Universitário de Brasília
Endereço: SEPN 707/907, Asa Norte - Brasília, DF, CEP: 70790-075
E-mail: felipe.gurgel@sempreceub.com

Victor Fernandes Feitosa Braga

Estudante de Medicina, pelo Centro Universitário de Brasília
Instituição: Centro Universitário de Brasília
Endereço: SEPN 707/907, Asa Norte - Brasília, DF, CEP: 70790-075
E-mail: viictorbraga@sempreceub.com

Lucca Caminha Tokarski

Estudante de Medicina, pelo Centro Universitário de Brasília
Instituição: Centro Universitário de Brasília
Endereço: SEPN 707/907, Asa Norte - Brasília, DF, CEP: 70790-075
E-mail: lucca.tokarski@sempreceub.com

Phaedra Castro Oliveira

Doutora em Gerenciamento em Enfermagem pela Universidade de São Paulo
Instituição: Centro Universitário de Brasília
Endereço: SEPN 707/907, Asa Norte - Brasília, DF, CEP: 70790-075
E-mail: phaedra.oliveria@ceub.edu.br

RESUMO

INTRODUÇÃO: Diante da maior utilização de aparelhos celulares e outras tecnologias como redes Wi-Fi, a exposição a campos eletromagnético se tornou uma problemática importante no que tange a saúde da população sendo que a falta de informações concretas ainda é um empecilho para a saúde humana. **METODOLOGIA:** O presente estudo é uma revisão narrativa de literatura realizada pela busca na base de dados PubMed/MEDLINE e SciELO, com a utilização dos descritores: “Health”, “Mobile Phone”, “Microwave”. **RESULTADOS:** Foram delimitados na metodologia 34 artigos, dentre eles 19 se encaixavam nos critérios de inclusão e exclusão, cujas informações foram cruciais para compor o trabalho. **DISCUSSÃO:** Diversas alterações foram elencadas ao longo das pesquisas e descritas a partir dos estudos selecionados, como as alterações citogenéticas, hormonais, reprodutivas e neurológicas que podem ser causadas no corpo humano advindas da exposição constante a campos eletromagnéticos. **CONCLUSÃO:** Necessita-se de mais estudos que avaliam a exposição dos pacientes a essas ondas, tendo em vista que as alterações tendem a surgir nos pacientes que são expostos a longo prazo a RMO e variam muito, de acordo com os dados apresentados.

Palavras-chave: Citogenética, Micro-ondas, Telefone Celular.

ABSTRACT

INTRODUÇÃO: Against the increased use of cell phones and other technologies such as Wi-Fi networks, exposure to electromagnetic fields has become an important issue with regard to the health of the population and the lack of concrete information is still an obstacle for human health. **METODOLOGIA:** The present study is a narrative literature review performed by searching the PubMed/MEDLINE and SciELO databases, using the descriptors: “Health”, “Mobile Phone”, “Microwave”. **RESULTADOS:** 34 articles were delimited in the methodology, among them 19 fit the inclusion and exclusion criteria, whose information was crucial to compose the work. **DISCUSSÃO:** Several changes were listed throughout the research and described from the selected studies, such as cytogenetic, hormonal, reproductive and neurological changes that can be caused in the

human body resulting from constant exposure to electromagnetic fields. **CONCLUSÃO:** More studies are needed to assess the exposure of patients to these waves, considering that the changes tend to appear in patients who are exposed to BMR in the long term and vary greatly, according to the data presented.

Keywords: Cytogenetics, Microwave, Cell Phone.

1 INTRODUÇÃO

Diante da maior utilização de aparelhos celulares e outras tecnologias como redes Wi-Fi e aparelhos micro-ondas culinários por grande parte da população, a exposição às micro-ondas e aos campos eletromagnéticos se tornou uma problemática relevante de análise no que tange a saúde da população em diversos aspectos, como o citogenético, o hormonal, o reprodutivo e o neurológico, nos quais a exposição à essa atividade eletromagnética aumentada pode potencializar danos sistêmicos.

A radiação de microondas (RMO) é uma parte da radiação eletromagnética, espectro com comprimento de onda que varia de 1mm a 1m, e que corresponde à banda de frequência de 0,3-300 GHz. Considerando as energias associadas desta parte da RMO, ela é considerada não ionizante, pois não carrega energia suficiente para ionização, ou seja, remoção de um elétron de um átomo ou molécula ou para quebrar uma ligação. Esse tipo de radiação só tem energia suficiente para a excitação de um elétron para um maior estado energético vibracional. Em geral, radiações não ionizantes estão associadas com dois grandes riscos potenciais, os elétricos e biológicos. (MANNA D et al., 2016)

Nesse sentido, os efeitos da exposição de campos eletromagnéticos (CEM) de frequência de microondas em diferentes linhagens celulares vêm sendo o foco de muitos estudos nos últimos 20 a 25 anos. Os achados nessas áreas são frequentemente contraditórios; enquanto alguns investigadores demonstraram efeitos de danos nas células, vários outros falharam na detecção de respostas deletérias. Ainda se espera estudos mais específicos que possam esclarecer alguns mecanismos moleculares envolvidos. (MANNA D et al., 2016)

No que tange às funções hormonais, a homeostase endócrina pode ser alterada pelas microondas, implicando em uma série de desregulações hormonais. A fertilidade e o sistema reprodutor também são afetados pelas micro-ondas, principalmente por meio de um processo denominado estresse oxidativo, no qual, por meio da exposição durante a espermatogênese, há diminuição da qualidade do esperma. (SANTINI SJ, et. al., 2018)

Outrossim, há fortes evidências que sustentam que exposição excessiva à radiação emitida por telefones celulares aumenta a probabilidade de ocorrência de cânceres cerebrais, além de outros problemas nos sistemas nervoso central e periférico. (BELPOMME D et. al., 2018)

Diante do exposto, a falta de informações concretas e consolidadas acerca desses danos, por parte dos profissionais da saúde, ainda é um empecilho para a saúde da população. Logo, este estudo tem como objetivo descrever como a constante exposição a esses campos pode promover alterações na saúde do ser humano de forma biológica e quais sistemas sofrem essas alterações, elencando as alterações biológicas provocadas neles, abordando cada um dos sistemas mais falados nos artigos escolhidos como referência.

2 METODOLOGIA

O presente estudo é uma revisão narrativa de literatura cuja pesquisa foi realizada pela busca na base de dados U.S National Library of Medicine (PubMed/MEDLINE) e SciELO em Maio de 2021, com a utilização dos seguintes descritores pesquisados através do Medical Subject Headings (MESH): “Health”, “Mobile Phone”, “Microwave” esses combinados através do operador booleano *AND*.

A partir dos filtros estabelecidos, este estudo baseou-se em artigos científicos publicados na íntegra, entre os anos de 2015 e 2021, que discorriam acerca das modificações na saúde advindas da constante exposição a campos eletromagnéticos de baixa frequência. Não foram aplicados outros filtros ou restrição de qualquer idioma.

Os critérios de exclusão contemplaram publicações científicas repetidas ou cujo tema não contemplavam o objetivo deste estudo. Dessa forma, utilizando esses critérios, as pesquisas concluíram com 34 artigos, sendo que desse total, todas as publicações foram selecionadas para a leitura de título e resumo. Entretanto, após avaliação da temática proposta, a equipe pesquisadora apurou 19 artigos para constituir a bibliografia deste trabalho por estarem consoante ao tema do estudo.

3 RESULTADOS

Foram delimitados na metodologia 34 artigos, sendo que todos tiveram o título e resumo lidos e 19 deles foram lidos na íntegra e selecionados para compor o presente estudo. Dos 19 selecionados, os estudos mais antigos foram publicados em 2015 e os mais

recentes em 2021. Todos os artigos foram separados em título, autoria, ano de publicação e método empregado, conforme a **Tabela 1**.

Tabela 1. Estudos sobre a relação entre as modificações de saúde advindas pela exposição à frequência a micro ondas

Título	Autores	Ano de Publicação	Metodologia
Different methods for evaluating the effects of microwave radiation exposure on the nervous system.	ALTUNKAYNAK, B. et al	2016	Revisão sistemática para discutir os possíveis efeitos colaterais do MWR no sistema nervoso central.
The possible global hazard of cell phone radiation on thyroid cells and hormones: a systematic review of evidences	ASL, Jafar Fatahi; LARIJANI, Bagher; ZAKERKISH, Mehrnoosh; RAHIM, Fakher; SHIRBANDI, Kiarash; AKBARI, Rasoul	2019	Revisão sistemática para investigar os efeitos de possíveis ondas nocivas do uso do celular ou estar na faixa do telefone de 450 a 3800 MHz sobre as células da tireóide e hormônios.
Cellular Phone Irradiation of the Head Affects Heart Rate Variability Depending on Inspiration/Expiration Ratio	BÉRES, S. et.al	2015	Estudo transversal para examinar a influência dos efeitos agudos da irradiação de microondas pulsada de um celular comercial sobre os parâmetros de VFC e HRA durante padrões respiratórios de ritmo duplo.
Repeated exposure to nanosecond high power pulsed microwaves increases cancer incidence in rat	DE SEZE, René et al	2020	Estudo analítico experimental animal em ratos para avaliar os riscos à saúde de microondas de alta potência e ajudar a definir os níveis de limiar de risco de exposições moduladas a radiofrequência
Cognitive impairment and neurogenotoxic effects in rats exposed to low-intensity microwave radiation	DESHMUKH, P. et.al	2015	Estudo analítico experimental animal em ratos para investigar os efeitos da exposição crônica de baixa intensidade a microondas na função cognitiva, proteína de choque térmico 70 e danos ao DNA no cérebro de ratos.
A Prospective Cohort Study of Adolescents' Memory Performance and	FOERSTER, M. et.al	2018	Estudo de coorte prospectivo para comparar, com estudos anteriores, o

Individual Brain Dose of Microwave Radiation from Wireless Communication			potencial impacto dos campos eletromagnéticos de radiofrequência de microondas emitidos por dispositivos de comunicação sem fio nas funções neurocognitivas em adolescentes.
An experimental study of the effects of combined exposure to microwave and heat on gene expression and sperm parameters in mice	GOHARI, Faezeh A.; SARANJAM, Behzad; ASGARI, Mohsen; OMIDI, Leila; EKRAMI, Hamid	2017	Estudo analítico experimental para determinar os efeitos da exposição separada e combinada a 900 MHz MW e calor na expressão gênica e espermograma de camundongos machos.
Morphological and cytophysiological changes in selected lines of normal and cancer human cells under the influence of a radio-frequency electromagnetic field.	GÓRSKI, Romuald et al	2021	Estudo analítico experimental para investigar a influência do campo eletromagnético de radiofrequência na atividade metabólica e morfologia de células humanas normais (fibroblastos) e células cancerosas.
Electromagnetic field and brain development	KAPLAN, S. et.al	2016	Revisão sistemática de literatura para discutir o desenvolvimento do SNC e explicar os impactos potenciais dos campos eletromagnéticos neste sistema.
Radiations and male fertility	KESARI, Kavindra Kumar; AGARWAL, Ashok; HENKEL, Ralf	2018	Revisão sistemática de literatura para analisar a radiação proveniente de telefones celulares, laptops, Wi-Fi e fornos de microondas que podem contribuir para a causa da infertilidade ao explorar o efeito da exposição às radiações de radiofrequência no padrão de fertilidade masculina.
Effect of mobile phone signal radiation on epigenetic modulation in	KUMAR, R. et.al	2021	Estudo analítico experimental animal em ratos para avaliar a modulação epigenética

the hippocampus of Wistar rat			dependente da dose e dependente da frequência (DNA e metilação da histona) no hipocampo de ratos Wistar.
Effect of radiofrequency radiation in cultured mammalian cells: A review.	MANNA, Debashri; GHOSH, Rita.	2016	Revisão sistemática sobre os possíveis efeitos da MWR e outros tipos de frequência proporcionados pelos celulares modernos em relação a danos no organismo.
GSM 900 MHz Microwave Radiation-Induced Alterations of Insulin Level and Histopathological Changes of Liver and Pancreas in Rat.	MORTAZAVI, S. M. J.; OWJI, S. M. SHOJAEI-FARD, et al.	2014	Estudo analítico experimental animal em ratos para analisar como a Radiofrequência produzida por Celulares GSM pode afetar na liberação de insulina nesses animais.
Effects of microwaves (950 MHZ mobile phone) on morphometric and apoptotic changes of rabbit epididymis.	OSKOUYI, E. A; RAJAEI, F.; VARIANI, A. S.; SAROKHANI, M. R.; JAVADI, A.	2014	Estudo analítico experimental animal em coelhos para analisar os efeitos das microondas 950 MHZ e outras frequências emitidas pelos celulares e outros aparelhos, e como afetam no sistema apoptótico e as alterações morfológicas .
Role of Mitochondria in the Oxidative Stress Induced by Electromagnetic Fields: Focus on Reproductive Systems.	SANTINI, Silvano Junior; CORDONE, Valeria; FALONE, Stefano; MIJIT, Mahmut; TATONE, Carla; AMICARELLI, Fernanda; DI EMIDIO, Giovanna.	2018	Revisão sistemática acerca de como as EMF podem estar alterando funções reprodutivas e outras funções do organismo.
Mobile phone induced cognitive and neurochemical consequences.	SHARMA, A. et.al.	2019	Estudo analítico experimental animal em ratos que foram expostos a radiação de Microondas (2100 MHz), 4 horas por dia, 5 dias na semana por 3 meses , com intuito de avaliar como ela altera a função e gera degeneração neurológica.
Biomarkers in volunteers exposed to mobile phone radiation.	SÖDERQVIST, F.; CARLBERG, M.; HARDELL, L.	2015	Estudo analítico experimental com 24 pessoas, sendo 12 homens e 12 mulheres na Suécia, com intuito de analisar se a radiofrequência e as microondas liberadas pelos celulares pode causar

			efeitos clínicos e efeitos a nível celular no organismo.
Evaluation of Inflammation by Cytokine Production Following Combined Exposure to Ultraviolet and Radiofrequency Radiation of Mobile Phones on 3D Reconstructed Human Skin In Vitro.	SZILÁGYI, Zsófia et al.	2020	Estudo experimental analítico com objetivo de analisar como a exposição combinada entre UV e RF liberados de celulares, podem estar desencadeando processos inflamatórios, realizados em uma tecnologia 3D de pele humana in vitro.
Effect of cell phone radiofrequency radiation on body temperature in rodents: Pilot studies of the National Toxicology Program's reverberation chamber exposure system.	WYDE, Michael E. et al.	2018	Estudo analítico experimental animal realizado em ratos e camundongos, onde grupos desses animais foram expostos a radiofrequência GSM e CDMA em concentrações que variam de acordo com peso e espécie, in vivo, por 5 dias, para analisar se havia alteração de temperatura corporal derivado desse tipo de exposição.

Fonte: Próprio autores

4 DISCUSSÃO

A extensão dos efeitos à exposição de RMO depende das características do animal relacionadas à idade, ao tamanho e à espécie, assim como dos parâmetros do sinal de radiofrequência utilizados: modo de irradiação, frequência, intensidade e densidade da força, os quais são bastante diversificados na literatura. Além disso, os pontos de corte escolhidos para as análises dos efeitos também são variados. Como esses pontos de corte nos ensaios causam diferentes respostas nas células, os CEM de baixa frequência podem ou não influenciar os diferentes sistemas de ensaio na mesma extensão. Isso explica, em grande parte, a discordância nos achados de diferentes estudiosos. (WYDE ME, et al., 2018)

4.1 EFEITOS CITOGENÉTICOS GERAIS

Manna D et al. (2016), em uma revisão sistemática, que levou em conta mais de 125 artigos relacionados à radiação de microondas, mostrou que na literatura já é aceito o seu impacto em sistemas biológicos. Os tecidos que contêm consideráveis porcentagens de água manifestam um forte fenômeno de abrandamento e dispersão, o que leva à

conversão de energia de campos eletromagnéticos em energia termal, a qual é capaz de modificar diferentes reações no organismo. (MANNA D, et al., 2016)

A RMO tem efeitos termais que, primariamente, aumentam a temperatura do sistema biológico, de modo que seus bioefeitos podem ser explicados unicamente pela diferença nos perfis de temperatura de microondas e de sistemas naturalmente aquecidos. Não obstante, à parte destes existem ainda as implicações não-térmicas, as quais são ainda mais controversas e são o foco de muitos estudos atualmente. (WYDE ME, et al., 2018)

Os efeitos não termais acontecem quando a intensidade da RMO é suficientemente baixa, de modo que a quantidade de energia envolvida não aumentaria de modo significativo a temperatura da célula, de tecidos ou de um organismo, mas que podem induzir mudanças físicas e bioquímicas. Entre os efeitos termais e não-termais, suspeita-se ainda de uma gama de outros mecanismos, os quais ainda não foram bem esclarecidos. (MANNA D et al., 2016)

Os níveis de radiofrequência propostos pela Comissão Internacional para Proteção contra Radiações Não-Ionizantes desde 1998 até o presente ano são baseados apenas nos efeitos termais, ao passo que um grande número de publicações sugere que efeitos não térmicos, principalmente por meio de radicais livres e estresse oxidativo. Sugere-se, portanto, que esses mecanismos sejam cooperativos, aditivos e sinérgicos. (SZILÁGYI z et al., 2020)

Foi observado, portanto, que a RMO pode afetar a progressão do ciclo celular, a atividade enzimática, a membrana celular, assim como os receptores de membrana (MANNA D, et al., 2016). Os mecanismos envolvidos nesse processo serão esclarecidos nos parágrafos seguintes, assim como suas possíveis causas de divergência na comunidade científica.

Estudos recentes apontaram que essa exposição à CEM de baixa frequência pode regular a expressão genética. Nesses achados, a exposição de células do endotélio humano EA.hy926, quando expostas a 900MHz, exibiram alteração na expressão de 38 proteínas, das quais apenas 4 foram identificadas. A partir da mudança de uma delas, a vimentin, foi sugerido que a radiação do celular teve efeito sobre o citoesqueleto. Já em outra publicação, foi encontrado efeito sobre a expressão de genes relacionados ao citoesqueleto, à via de transdução de sinais, ao metabolismo, etc. em células neurais de ratos expostas à RMO. Contraditoriamente, em diversas outras publicações, nenhum efeito da RMO foi encontrado nos níveis de expressão genética. (MANNA D et al., 2016)

Outra possível interação refere-se à parada do ciclo celular, a qual é mais provável que esteja relacionada ao dano no DNA. Os fusos mitóticos formados a partir das subunidades de tubulina montadas são responsáveis pela separação dos cromossomos filhos durante a mitose. Nesse sentido, a formação de estruturas de fuso aberrantes foi observada em células V79 expostas à RMO de 2,45GHz. (MANNA D et al., 2016)

Além disso, nesse mesmo estudo, a fração da população de células em mitose foi reduzida. Os autores sugeriram que a radiação possivelmente interagiu com componentes dos centrossomas que compõem os pólos do fuso mitótico. A RMO de 900 MHz prejudicou a progressão do ciclo celular através da parada da fase G2-M e do aumento no pico sub-G1 após 24 h de exposição, que é a marca registrada da apoptose. Por outro lado, a exposição à RMO única ou combinada não teve efeito na distribuição do ciclo celular, e também no nível de proteínas reguladoras do ciclo celular, como p53, p21. (MANNA D et al., 2016)

Mudanças significativas de proliferação na célula normal também foram encontradas, em outra publicação. Os autores observaram uma diminuição na proliferação de células epiteliais do âmnio humanas expostas a campos de microondas de 960 MHz. Outro investigador também encontrou uma diminuição na proliferação celular, nesse caso em células mononucleares do sangue periférico humano expostas *in vitro* a 900 MHz (1 h / dia por 3 dias). Não obstante, pesquisadores chineses observaram uma diminuição na proliferação de pulmão de hamsters locais em células expostas a 864 MHz. (GÓRSKI R, et al., 2021)

Quanto ao mecanismo de apoptose, uma publicação apontou que RMO de 2.1 GHz, 1950 MHz e 900 MHz induziram a morte celular por apoptose por meio da via intrínseca/mitocondrial. (MANNA D, et al., 2016). Em contrapartida, outros estudos demonstraram justamente o oposto. Neste, células de leucemia promielocítica humana HL-60 foram expostas a uma onda contínua de 900 MHz, 1h por dia, durante 3 dias consecutivos, e mostraram um aumento significativo na viabilidade e uma diminuição na apoptose. Foi demonstrado que tempos de exposição mais longos (24-48 h) determinaram o silenciamento de sinais pró-apoptóticos e a ativação de genes envolvidos na sinalização pró-sobrevivência intracelular (Bcl-2) e extracelular (Ras). (GÓRSKI R, et al., 2021)

Outra frente de alteração em detrimento da exposição à CEM de baixa frequência são os radicais livres de oxigênio (ROS). As atividades mitocondriais normais geram várias ROS como o superóxido, o peróxido de hidrogênio, os radicais hidroxila, etc. em células aeróbicas. A RMO também atua como um dos estressores ambientais responsáveis

por aumentar a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) no corpo que, por sua vez, é responsável por várias condições patológicas, incluindo distúrbios metabólicos que afetam o crescimento e o desenvolvimento normal de um organismo. (GÓRSKI R, et al., 2021)

Ademais, as repercussões da exposição à RMO no material genético das células são considerados muito importantes, uma vez que nas células somáticas o dano ao DNA pode estar ligado ao desenvolvimento do câncer ou morte celular, enquanto o dano nas células germinativas pode levar a alternâncias genéticas que podem ser propagadas posteriormente gerações. A partir de diferentes experimentos *in vivo* e *in vitro*, diversos autores encontraram evidências de que tal radiação eletromagnética pode afetar o material genético de células expostas. Um estudo de meta-análise concluiu que o RFR era genotóxico apenas em algumas condições, como a exposição intermitente a 1800 MHz GSM. A exposição prolongada causou um aumento no número de aberrações cromossômicas, de modo a sugerir uma relação dose-resposta. (MANNA D et al., 2016)

Mais interessante ainda foram achados de taxa aumentada e precoce de sarcomas e fibrossarcomas, bem como maior mortalidade associada em um estudo com ratos, na França. Os roedores foram expostos aos níveis de campo mais elevados possíveis, sob exposições únicas e agudas ou repetitivas durante oito semanas. As RMO podem aumentar a prevalência de câncer e diminuir o tempo de sobrevivência em ratos, sem efeitos claros no comportamento. Para verificar se este é um fenômeno geral ou um efeito específico de uma espécie, este experimento deve ser repetido com outras cepas de ratos e diferentes espécies animais que são modelos usuais para a toxicologia humana. (DE SEZE R et al., 2020)

4.2 EFEITOS HORMONAIIS

Com relação aos efeitos hormonais, nota-se que os micro-ondas causam alterações na homeostase endócrina. Um estudo realizado em coelhos constatou que a exposição à RMO, na faixa de 950MHz, pode diminuir o nível sérico de testosterona. Com a diminuição desse hormônio, o nível metabólico das células do sistema reprodutor masculino diminui, o que aumenta a possibilidade de apoptose celular. (OSKOUYI EA, et al., 2014)

Outrossim, observa-se que a radiação pelo uso de aparelhos celulares também pode causar alterações nas células tireoidianas. Conforme ASL JF, et al. (2014), a radiação presente nos celulares na faixa de 450-3800 MHz pode acarretar diminuição dos

níveis de TSH, T3 e T4. Além disso, a radiação também diminuiu o diâmetro dos folículos da tireoide.

Como mencionado anteriormente, o efeito da exposição de ondas de radiofrequência afeta diretamente diversos órgãos e glândulas, como a pineal, hipófise, adrenais, hipotálamo, tireoide, pâncreas endócrino, testículos, ovários e fígado. (MORTAZAVI SM, et al., 2016)

O efeito da exposição a longo prazo a aparelhos eletrônicos é associado ao aumento do tamanho das ilhotas pancreáticas e diminuição das concentrações de glicose. Já os efeitos a curto prazo podem ser observados no nível de insulina e na estrutura do pâncreas e fígado, entretanto, esses mecanismos não foram bem elucidados. (MORTAZAVI SM, et al., 2016)

Em um estudo realizado em ratos, mostrou-se que a radiação a que eles foram expostos, provenientes de ondas de radiofrequência de aparelhos celulares, podem induzir a graves alterações inflamatórias nos espaços portais, dependendo da quantidade de radiação a que ele foi exposto. (MORTAZAVI SM, et al., 2016)

4.3 EFEITOS REPRODUTIVOS

A exposição de microondas provenientes de celulares, laptops e Wi-Fi potencializam a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS). Conseqüentemente, o estresse oxidativo causado por essas substâncias produz alterações que podem afetar células do sistema reprodutor e até mesmo diminuir a fertilidade. Isso ocorre devido aos danos causados pelas ROS nos espermatozoides, danos e instabilidade no DNA e alterações nas proteínas quinases, hormônios e enzimas antioxidativas. (KESARI KK, et al., 2018)

Diante do exposto, nota-se que a fertilidade pode ser comprometida diante de um ambiente com alta incidência de microondas. Nesse sentido, observa-se que os espermatozoides podem ser comprometidos porque a radiação afeta a testosterona. A diminuição da secreção desse hormônio influencia no aumento da apoptose nas células do epidídimo e na diminuição do tamanho e volume das células epiteliais do epidídimo. Isto posto, o comprometimento dessa estrutura pode afetar a fertilidade masculina. (OSKOUYI EA, et al., 2014)

Ademais, a exposição à radiação de aparelhos celulares pode diminuir a fertilidade, por meio da diminuição dos túbulos seminíferos e seu epitélio germinativo. Da mesma forma, os espermatozoides também podem ser danificados pela radiação,

devido ao acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ROS), que acarreta estresse oxidativo e, conseqüentemente, prejudica o desenvolvimento, motilidade e morfologia dos espermatozoides. (SANTINI JS, et al., 2018)

Um estudo realizado com ratos também propõe que a emissão de microondas na faixa de 900MHz causou danos ao tecido testicular desses animais, mais especificamente nas células de Leydig. Como efeito, observa-se que lesões nessas células prejudicam a espermatogênese. (GOHARI FA, et al., 2017)

4.4 EFEITOS NEUROLÓGICOS

No que tange aos efeitos neurológicos, vem sendo observado algumas alterações no sistema nervoso central e periférico. O crescente número de aparelhos eletrônicos e de pessoas que são expostas a eles tem um importante fator nas causas destas alterações. Muitas pesquisas demonstraram que o campo eletromagnético, criado por aparelhos que emitem radiofrequência e microondas de radiação podem inibir a formação e diferenciação de células tronco neurais, além de influenciar no desenvolvimento neurológico de pessoas que foram expostas durante o pré-natal a essas ondas, as quais simulam um mecanismo de morte neuronal e impedem a formação de células precursoras em neurônios (KAPLAN S, et al., 2016). Ainda podem causar mudanças na permeabilidade da barreira hematoencefálica (SÖDERQVIST F, et al., 2015). Cerca de 80% da radiação emitida por aparelhos eletrônicos é absorvida pelo cérebro. (SHERMA A, et al., 2019)

A radiação por microondas leva a diversos efeitos no sistema nervoso, e, para poder determinar esses efeitos, vários métodos, como estereologia, imunohistoquímica e microscópios eletrônicos, auxiliam no exame de células expostas a diferentes níveis de radiofrequência. (ALTUNKAYNAK B, et al., 2016)

Foi observado, que manter aparelhos próximos ao corpo, como cabeça e ouvido, tem importante influência nas alterações descritas, além de intensas dores de cabeça, vertigem, enxaquecas, alterações de padrões de sono, alterações da plasticidade sináptica, liberação de neurotransmissores e ciclo de vida de células nervosas (KAPLAN S, et al., 2016). Em adolescentes foram observados efeitos nas funções da memória e de áreas que foram mais expostas ao campo de microondas dos aparelhos eletrônicos; (FOERSTER M, et al., 2018)

O mecanismo dessas alterações pode ser explicado pelo fato de que as ondas de radiofrequência podem causar um estresse oxidativo, dano ao DNA, proliferação anormal

de células, inflamação e alterações mitocondriais (SHERMA A, et al., 2019). Podem ainda afetar a absorção de energia de células saudáveis e, assim, alterar as interações moleculares, celulares e teciduais no organismo. (BERÉS A, et al., 2015)

Em relação ao estresse oxidativo, este causa dano pela produção de espécies altamente reativas que podem, por exemplo, alterar a concentração de cálcio e assim alterar o mecanismo de neurotransmissão. O hipocampo tem implicações importantes nos processos de aprendizado e memória e parece ser um local bastante suscetível ao dano por estresse oxidativo (SHERMA A, et al., 2019); além disso, parece sofrer alterações epigenéticas devido a exposição a microondas, que podem causar a hipermetilação de histonas. (KUMAR R, et al., 2021)

Em um estudo realizado com ratos, foi demonstrado que aqueles ratos expostos à microondas de radiação de 2100 MHz por 4 horas no dia, 5 dias na semana durante 3 meses, desenvolveram alterações marcantes nos níveis da enzima colinesterase, que degradam os neurotransmissores de acetilcolina, alterações de força muscular, habilidade de aprendizado e ansiedade. (SHERMA A, et al., 2019)

Outro estudo que analisou biomarcadores no sangue de voluntários expostos à radiação de telefones celulares foi observado alterações em dois dos três biomarcadores analisados: Proteína beta traço (BTP), secretada pelo plexo coróide, leptomeninges e oligodendrócitos, com o aumento relacionado com doenças neurodegenerativas crônicas, e a proteína transtirretina, sintetizada pelo fígado. (SÖDERQVIST F, et al., 2015)

Em uma pesquisa realizada que investigou o resultado do efeito da exposição crônica de baixa intensidade de microondas de radiofrequência foram observados efeitos sobre a função cognitiva, proteínas HSP70 e DNA do cérebro de ratos. Além disso, foi demonstrado que o impacto da exposição crônica, mesmo que em baixas quantidades, afetam o processo de aprendizagem e memória. O provável mecanismo da disfunção dessas áreas de conhecimento se dá pelo aumento de proteínas HSP70 no hipocampo. Foi exposto que a exposição de até 30 dias já são passíveis de causar danos ao DNA de ratos. (DESHMUKH P, et al., 2015)

Outro sistema que é afetado pelas ondas de radiofrequência são os barorreceptores de pressão intratorácica devido a alterações nos receptores ou no processamento pelo tronco encefálico. Os corpos carotídeos, devido à proximidade anatômica com o uso dos celulares, também se mostram afetados. (BERÉS A, et al., 2015)

5 CONCLUSÃO OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ter ciência das consequências que são oriundas das microondas dos diversos aparelhos eletrônicos, se faz necessário em uma sociedade tecnológica, visto que cada vez mais a população tem contato com esses aparelhos de forma intermitente. Conforme demonstra a literatura, os estudos apontam que as microondas emitidas pelos diversos aparelhos podem levar a uma série de danos ou alterações nos seguintes ramos: citogenéticos, hormonais, reprodutivos e até mesmo neurológicos.

De acordo com a literatura, é consenso que a RMO afeta os sistemas biológicos, sendo que as alterações que essas ondas podem levar dependem da intensidade, tempo de exposição, da frequência da onda e do ser vivo exposto, relacionado inclusive à quantidade de água presente em seu organismo. Para chegarmos a uma conclusão precisa, necessita-se de mais estudos que avaliam a exposição dos pacientes a essas ondas, tendo em vista que as alterações tendem a surgir nos pacientes que são expostos a longo prazo a RMO e variam muito, de acordo com os dados apresentados. Com isso, é fundamental atentar-se aos danos a longo prazo que essa exposição pode acarretar.

REFERÊNCIAS

ALTUNKAYNAK, B. et al. **Different methods for evaluating the effects of microwave radiation exposure on the nervous system.** Journal of Chemical Neuroanatomy, V 75, Part B, p 62-69, Set 2016.

ASL, Jafar Fatahi; LARIJANI, Bagher; ZAKERKISH, Mehrnoosh; RAHIM, Fakher; SHIRBANDI, Kiarash; AKBARI, Rasoul. **The possible global hazard of cell phone radiation on thyroid cells and hormones: a systematic review of evidences.** Environmental Science and Pollution Research, [s. l.], v. 26, ed. 18, p. 18017-18031, 2019.

BELPOMME, Dominique; HARDELL, Lennart; BELYAEV, Igor; BURGIO, Ernesto; CARPENTER, David O. Thermal and non-thermal health effects of low intensity non-ionizing radiation: An international perspective. Environmental pollution, [S. l.], p. 1, 6 jul. 2018.

BÉRES, S. et.al. **Cellular Phone Irradiation of the Head Affects Heart Rate Variability Depending on Inspiration/Expiration Ratio.** In Vivo, V 32, Issue 5, Set-Out 2015.

DE SEZE, René et al. Repeated exposure to nanosecond high power pulsed microwaves increases cancer incidence in rat. **PloS one**, v. 15, n. 4, p. e0226858, 2020.

DESHMUKH, P. et.al. **Cognitive impairment and neurogenotoxic effects in rats exposed to low-intensity microwave radiation.** International Journal of Toxicology, V 34, Issue 3, P 284-290, Mar 2015.

FOERSTER, M. et.al. **A Prospective Cohort Study of Adolescents' Memory Performance and Individual Brain Dose of Microwave Radiation from Wireless Communication.** Environmental Health Perspectives, V 126, n 7, Jul 2018.

GOHARI, Faezeh A.; SARANJAM, Behzad; ASGARI, Mohsen; OMIDI, Leila; EKRAMI, Hamid. **An experimental study of the effects of combined exposure to microwave and heat on gene expression and sperm parameters in mice.** Journal of Human Reproductive Sciences, [s. l.], v. 10, ed. 2, p. 128, 2017.

GÓRSKI, Romuald et al. Morphological and cytophysiological changes in selected lines of normal and cancer human cells under the influence of a radio-frequency electromagnetic field. **Annals of Agricultural and Environmental Medicine**, v. 28, n. 1, p. 163-171, 2021.

KAPLAN, S. et.al. **Electromagnetic field and brain development.** Journal of Chemical Neuroanatomy, V 75, part B., P 52-61, Set 2016.

KESARI, Kavindra Kumar; AGARWAL, Ashok; HENKEL, Ralf. **Radiations and male fertility.** Reproductive Biology and Endocrinology, [s. l.], v. 16, ed. 1, 2018.

KUMAR, R. et.al. **Effect of mobile phone signal radiation on epigenetic modulation in the hippocampus of Wistar rat.** Environmental Research, V 192, Jan 2021.

MANNA, Debashri; GHOSH, Rita. Effect of radiofrequency radiation in cultured mammalian cells: A review. **Electromagnetic Biology and Medicine**, v. 35, n. 3, p. 265-301, 2016.

MORTAZAVI, S. M. J.; OWJI, S. M.; SHOJAEI-FARD, et al. **GSM 900 MHz Microwave Radiation-Induced Alterations of Insulin Level and Histopathological Changes of Liver and Pancreas in Rat**. Journal of Biomedical Physics and Engineering, [s. l.], v. 6, ed. 4, p. 235-242, 2014.

OSKOUYI, E. A; RAJAEI, F.; VARIANI, A. S.; SAROKHANI, M. R.; JAVADI, A. **Effects of microwaves (950 MHZ mobile phone) on morphometric and apoptotic changes of rabbit epididymis**. Andrologia, [s. l.], v. 47, ed. 6, p. 700-705, 2014.

SANTINI, Silvano Junior; CORDONE, Valeria; FALONE, Stefano; MIJIT, Mahmut; TATONE, Carla; AMICARELLI, Fernanda; DI EMIDIO, Giovanna. **Role of Mitochondria in the Oxidative Stress Induced by Electromagnetic Fields: Focus on Reproductive Systems**. Oxidative Medicine and Cellular Longevity, [s. l.], v. 2018, p. 1-18, 2018.

SHARMA, A. et.al. **Mobile phone induced cognitive and neurochemical consequences**. Journal of Chemical Neuroanatomy, V 102, Dez 2019.

SÖDERQVIST, F.; CARLBERG, M.; HARDELL, L. **Biomarkers in volunteers exposed to mobile phone radiation**. Toxicology Letters, V 235, Issue 2, P 140-146, Jun 2015.

SZILÁGYI, Zsófia et al. Evaluation of Inflammation by Cytokine Production Following Combined Exposure to Ultraviolet and Radiofrequency Radiation of Mobile Phones on 3D Reconstructed Human Skin In Vitro. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 12, p. 4401, 2020.

WYDE, Michael E. et al. Effect of cell phone radiofrequency radiation on body temperature in rodents: Pilot studies of the National Toxicology Program's reverberation chamber exposure system. **Bioelectromagnetics**, v. 39, n. 3, p. 190-199, 2018.