



Exposição ocupacional aos resíduos anestésicos

Occupational exposure to anesthetic residues

Exposición ocupacional a residuos de anestésicos

Fernanda Amaral de Sá Teixeira¹, Gislaine Melo Silva¹, Talita Sartori², Raquel Machado Cavalca Coutinho³, Fernando Ananias³.

RESUMO

Objetivo: Identificar os danos provocados à saúde dos profissionais do centro cirúrgico expostos ocupacionalmente aos resíduos de gases anestésicos (RGA's) e medidas preventivas a fim de reduzir esses danos. **Métodos:** Trata-se de uma revisão integrativa, na qual foi feita uma busca eletrônica de artigos científicos publicados nas bases de dados da área da saúde (PubMed, LILACS e Medline), e posteriormente foram aplicados critérios de inclusão e exclusão. **Resultados:** Verificou-se que 6 (40%) artigos indicaram degenerações causadas pelos RGA's nos sistemas renal, hepático, hematológico, neurológico, imunológico e reprodutivo; 1 (6,6%) indicou que não houve alterações significativas nos associados ao estresse oxidativo, danos ao DNA ou inflamação sistêmica; 1 (6,6%) não relacionou a exposição aos RGA's com alterações neuro-hormonais; 5 (27%) afirmam que não há ferramentas para mensurar a concentração dos RGA's e a ausência de instalações como exaustores e sistemas de ventiladores foi abordado em 2 (13,3%) dos artigos. **Considerações finais:** Conclui-se que a exposição ocupacional aos RGA's ocasiona alterações hepáticas, renais, hematológicas, imunológicas, genéticas, reprodutivas, neurológicas e inflamatórias nos profissionais de saúde. É essencial o emprego de boas práticas anestésicas e instalações adequadas para eliminação dos RGA's.

Palavras-chave: Risco Ocupacional, Enfermagem, Anestesia, Centro Cirúrgico.

ABSTRACT

Objective: To identify the damage caused to the health of surgical center professionals occupationally exposed to waste anesthetic gases (WAG) and preventive measures in order to reduce these damages. **Methods:** This is an integrative review, in which an electronic search of scientific articles published in health area databases (PubMed, LILACS, and Medline), was carried out, and then inclusion and exclusion criteria were subsequently applied. **Results:** It was found that 6 (40%) articles indicated degeneration caused by WAG in renal, hepatic, hematological, neurological, immunological and reproductive systems; 1 (6.6%) indicated no significant changes in those associated with oxidative stress, DNA damage or systemic inflammation; 1 (6.6%) did not relate exposure to WAG with neurohormonal changes; 5 (27%) stated that there are no tools to measure the concentration of WAG and the absence of facilities such as exhaust fans and fan systems was addressed in 2 (13.3%) of the articles. **Conclusion:** We concluded that occupational exposure to WAG causes hepatic, renal, hematological, immunological, genetic, reproductive, neurological and inflammatory changes in health professionals. It is essential to use good anesthetic practices and adequate facilities to eliminate WAG.

Keywords: Occupational Risk, Nursing, Anesthesia, Surgical Center.

¹ Universidade Paulista (UNIP), Sorocaba - SP.

² Faculdade Metropolitana de Manaus (FAMETRO), Manaus - AM.

³ Universidade Paulista (UNIP), Campinas - SP.

RESUMEN

Objetivo: Identificar los daños causados a la salud de los profesionales de quirófano ocupacionalmente expuestos a gases anestésicos residuales (WAGs) y las medidas preventivas para reducir dichos daños.

Métodos: Se trata de una revisión integradora, en la que se realizó una búsqueda electrónica de artículos científicos publicados en las bases de datos sanitarias (PubMed, LILACS y Medline), y posteriormente se aplicaron criterios de inclusión y exclusión. **Resultados:** Se observó que 6 (40%) artículos indicaban degeneraciones causadas por los WAG en los sistemas renal, hepático, hematológico, neurológico, inmunológico y reproductivo; 1 (6,6%) no indicaba cambios significativos en los asociados al estrés oxidativo, el daño del ADN o la inflamación sistémica; 1 (6,6%) no relacionó la exposición a los RWG con alteraciones neurohormonales; 5 (27%) afirmaron que no existen herramientas para medir la concentración de WAG y la ausencia de instalaciones como extractores y sistemas de ventilación se abordó en 2 (13,3%) de los artículos.

Conclusión: Concluimos que la exposición laboral a WAG provoca alteraciones hepáticas, renales, hematológicas, inmunológicas, genéticas, reproductivas, neurológicas e inflamatorias en los profesionales sanitarios. Es esencial utilizar buenas prácticas anestésicas e instalaciones adecuadas para eliminar los WAG.

Palabras clave: Riesgos laborales, Enfermería, Anestesia, Centro quirúrgico.

INTRODUÇÃO

A anestesia inalatória abriu caminho para o aperfeiçoamento das técnicas cirúrgicas no final do século XVIII, promovendo maior controle do plano anestésico e menor biotransformação hepática uma vez que são eliminados pelos pulmões, com menor efeito cumulativo no organismo. Os anestésicos voláteis atuais, podem ser classificados como gases – óxido nítrico ou líquidos - halotano, sevoflurano, desflurano e isoflurano. Embora tenham um perfil de segurança aprimorado, em comparação com os mais antigos como o éter dietílico, clorofórmio e ciclopropane (associados à riscos de explosão por serem altamente inflamáveis ou tóxicos), os anestésicos inalatórios estão correlacionados à danos na saúde dos profissionais, pelos perigosos resíduos de gases anestésicos (RGA) (TEMPLE E e WILES M, 2019; SHARMA A, et al., 2019).

O manejo anestésico ideal ainda permanece indefinido, já que os anestésicos intravenosos (propofol, alfentanila, cetamina) possuem risco diminuído de toxicidade de órgãos e redução da poluição atmosférica, mas incluem a necessidade de bombas de seringa programáveis e maior possibilidade do paciente despertar durante o procedimento cirúrgico, já que produzem insuficiente relaxamento muscular e indicações específicas como miastenia grave, dificuldade de intubação/extubação, entre outras (SHARMA A, et al., 2019).

Dentre os gases anestésicos utilizados atualmente, o halotano, sevoflurano, desflurano e isoflurano são os mais empregados na prática cirúrgica na indução e manutenção anestésica. O halotano é composto por bromo, cloro e flúor e foi introduzido pela primeira vez na prática clínica no Reino Unido em 1956. O sevoflurano é formado por alguns radicais como flúor, isopropila e metila, sendo sintetizado pela primeira vez em 1968, porém seu uso desacelerou inicialmente devido a efeitos tóxicos. O isoflurano é derivado do cloro, trifluoroetil e difluorometil éter, usado pela primeira vez clinicamente em 1980, e já apresentou preocupações iniciais em relação aos riscos carcinogênicos. Já o desflurano composto por tetrafluoroetil, difluorometil éter foi inserido em prática clínica em 1993 e atualmente é utilizado apenas na manutenção anestésica (TEMPLE E e WILES M, 2019).

Para o procedimento anestésico cirúrgico iniciar é necessário que o anestesista realize a inspeção formal do equipamento anestésico, cheque os medicamentos e o risco anestésico do paciente. Além disso, é essencial o emprego da Lista de Verificação de Cirurgia Segura de acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS) e o Ministério da Saúde (2022), que recomendam antes da indução anestésica revisar a identificação do paciente; confirmar o procedimento, sítio cirúrgico e termo de consentimento livre e esclarecido para a anestesia; confirmar a conexão do monitor multiparâmetro ao paciente; verificar sinais vitais e revisar histórico alérgico; risco de perda sanguínea e a dificuldade nas vias aéreas. Após essa verificação, ocorre à introdução do anestésico seja ele volátil ou intravenoso.

Uma das preocupações durante o processo anestésico é o controle de eventuais escapes dos vapores anestésicos na sala de operação após a indução anestésica. Neste sentido, é importante utilizar uma técnica anestésica segura sem erros de escoamentos do líquido anestésico no momento de preencher o vaporizador ou falhas no desligamento da válvula ou controle do fluxo de gás; sistema de exaustão eficiente e uma estação anestésica onde as válvulas recebam manutenção periódica. Além disso, outras medidas como alarmes para o vazamento de gases, sistemas de filtragem e limpeza do ar, uso de EPI's, máscara facial adaptada principalmente na pediatria, balonetes do tubo orotraqueal inflados devem ser implementadas (LUCIO LMC, et al., 2018; POKHREL LR e GRADY KD, 2021; SMITH A e CASEY I, 2021).

O processo de absorção dos anestésicos inalatórios é através dos pulmões. O halotano é metabolizado por oxidação e desalogenação no fígado, e 95% da dose excretado pelos pulmões e o restante por metabólitos urinários. Já o sevoflurano, tal como o isoflurano e o desflurano, é metabolizado no fígado em pequenas quantidades - cerca de 5% da dose num mecanismo de desfluoração e o restante excretada pelos pulmões e uma pequena quantidade na urina (TEMPLE E e WILES M, 2019). Logo que administrados, os anestésicos exercem seus efeitos sobre o Sistema Nervoso Central (SNC), resultando em hipnose (perda de consciência e sedação), antinocicepção e relaxamento muscular. A extensão da resposta está relacionada com a pressão parcial do anestésico no local do efeito, neste caso o cérebro, que está em equilíbrio com a pressão parcial do agente inalatório no sangue arterial, que por sua vez está em equilíbrio com a pressão parcial do agente no alvéolo pulmonar (TEMPLE E e WILES M, 2019)

Os gases anestésicos têm grande impacto negativo na saúde ocupacional, apresentando sinais clínicos de exposição como fadiga, cefaleia, irritabilidade, aborto espontâneo, anomalias congênitas, alterações no material genético que evoluem em câncer, doenças hepáticas e renais (LUCIO LMC et al., 2018). Dessa forma, anestesiológica, dentista, enfermeiro anestesista, enfermeiro de bloco operatório, técnicos de bloco operatório, enfermeiros da sala de recuperação pós anestésica e cirurgiões estão sob risco ocupacional, visto que compartilham o ambiente contaminado pelos RGA's – salas de operação (SMITH e CASEY I, 2021 e NIOSH 2007) e, portanto, o objetivo deste artigo é apresentar uma revisão integrativa da literatura para identificar os danos provocados à saúde dos profissionais do centro cirúrgico expostos ocupacionalmente aos resíduos de gases anestésicos e medidas preventivas a fim de reduzir os danos.

MÉTODOS

Trata-se de uma revisão integrativa da literatura, com a busca de artigos indexados em bases de dados da área da saúde PubMed, LILACS e Medline para identificar estudos sobre a exposição ocupacional aos resíduos de gases anestésicos (RGA), publicados em inglês, espanhol ou português, entre janeiro de 2017 e dezembro de 2021. Uma pesquisa estratégica foi desenvolvida para encontrar estudos relevantes, utilizando critérios pré-determinados e os seguintes descritores em português e seus equivalentes em inglês e espanhol: 'gás anestésico e dano genético', 'anesthesia surgical center nursing' e 'occupational exposure to anesthetic gas residues'; combinados ao operador booleano AND e OR.

Os títulos e resumos selecionados para esse trabalho seguiram os critérios determinados, conforme descrito no **Quadro 1**. Como critério de inclusão os estudos abordaram a exposição ocupacional dos profissionais da saúde que atuam no centro cirúrgico e / ou como reduzir a exposição aos gases anestésicos.

Quadro 1 - Critérios determinados para seleção dos artigos.

População alvo	Profissionais da área da saúde que atuam em centro cirúrgico
Área de estudo	Exposição ocupacional
Objeto de estudo	<i>Resíduos de gases anestésicos inalados cronicamente</i>
Tipo de estudo	Quantitativo e/ou qualitativo
Idioma e período cronológico	Português, espanhol e inglês; 2016 a 2021

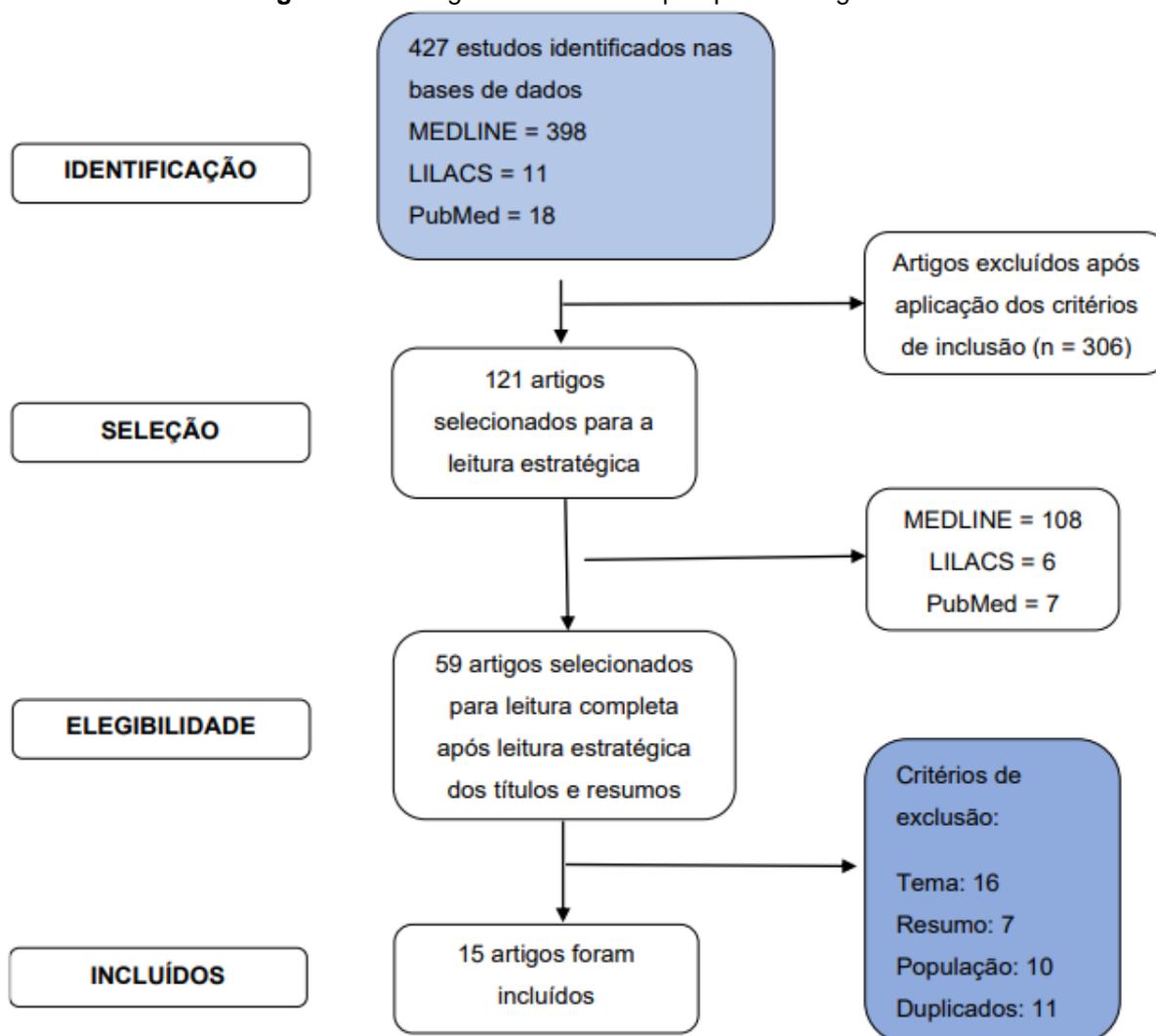
Fonte: Teixeira FAS, et al., 2023.

A extração de dados foi determinada com base nos seguintes detalhes: país da pesquisa, população (equipe de enfermagem), ambiente (centro cirúrgico), tipo de estudo (quantitativo e qualitativo), resultados relevantes (danos à saúde dos profissionais), possíveis estratégias para reduzir os resíduos de gases anestésicos e conclusões.

No total, 427 estudos foram identificados após pesquisa na base de dados PubMed, LILACS e Medline (**Figura 1**). Depois de aplicar os critérios de inclusão, 306 foram excluídos e 121 artigos permaneceram para leitura estratégica dos títulos e resumos. No total, 121 eram artigos de texto completo avaliados para elegibilidade e 59 estudos foram incluídos.

Baseado no título e resumo, neste momento, foi aplicado os critérios de exclusão dos artigos, nos quais 16 não correspondiam ao tema proposto, 7 não forneciam informação presente sobre resíduos de gases anestésicos (RGA), 10 não avaliavam os profissionais de enfermagem e 11 eram duplicados. Ao todo, 15 estudos foram incluídos nesta revisão da literatura.

Figura 1 – Fluxograma referente à pesquisa bibliográfica.



Fonte: Teixeira FAZ, et al., 2023.

RESULTADOS

Dos 15 artigos selecionados para este estudo, um total de 1708 profissionais foram avaliados (Quadro 2). Os outros estudos quantitativos não foram inseridos por não avaliarem profissionais e sim outros parâmetros relacionados aos RGA's.

Quadro 2 – Autores, número de participantes, anestésico e tempo de trabalho.

Autores	N de participantes	Anestésico	Tempo de trabalho
EMARA AM, et al., (2020).	180	Halogenados e sevoflurano	>1 ano
DEGHANI F, et al., (2021).	50	Isoflurano e sevoflurano	NR
FILHO FRAM, et al., (2018).	30	Sevoflurano, isoflurano, halotano, enflurano e óxido nitroso	>15 anos
EMARA AM, et al., (2021).	180	Sevoflurano e isoflurano	>1 ano
SOUZA KM, et al., (2021).	60	Sevoflurano, isoflurano, desflurano e óxido nitroso	3 anos
NEGHAB M, et al., (2020).	104	Óxido nitroso, isoflurano e sevoflurano	1 ano
AUN AG, et al., (2021).	106	Isoflurano, sevoflurano, óxido nitroso e desflurano	3 anos
EFTIMOVA B, et al., (2017).	43	Óxido nitroso	8 horas
HANDAYANI R, et al., (2018).	32	Isoflurano	5 e 9 anos >10 anos
ÇAKMAK G, et al., (2019).	67	Sevoflurano, desflurano e óxido nitroso	8 horas/5 dias
PEREA E, et al., (2018).	859	Halogenados e óxido nitroso	2013-2017
TOTAL	1708		

NR: Não relatado. **Fonte:** Teixeira FAS, et al., 2023.

Os anestésicos mais citados foram o sevoflurano, isoflurano e o óxido nitroso. E o tempo de trabalho mínimo exigido pelos artigos, foi de 1 ano em centro cirúrgico (CC) (**Quadro 2**). Em relação a metodologia, os artigos selecionados utilizaram estudo caso-controle, coorte, transversal, comparativo e observacional (descritivo e prospectivo) e foram utilizadas técnicas de biomonitoramento, formulário e análise de concentração dos RGA's nos ambientes físicos do CC, sala de recuperação pós anestésica (SRPA) e unidade de terapia intensiva (UTI). Ao analisar os resultados (**Quadro 3**) obtidos em cada estudo, é possível observar diferentes alterações em marcadores hepáticos, renais, imunológicos, hematológicos e endócrinos. Em contra partida, os estudos ao avaliarem as concentrações residuais dos gases anestésicos, indicaram que elas estavam dentro do padrão recomendado pela NIOSH - *National Institute for Occupational Safety and Health*, órgão referência em saúde ocupacional e que aborda os gases anestésicos, já que muitos países, como o Brasil não possui nenhuma norma regulamentadora sobre os limites máximos de exposição por ppm dos RGA's.

Quanto ao objetivo, nove artigos avaliavam as degenerações causadas pelos RGA's em sistemas específicos (renal, hepático, hematológico, etc), quatro artigos tinham foco principal em avaliar a concentração dos RGA's em determinados espaços físicos do CC, SRPA e UTI, um artigo tinha como foco principal identificar métodos para reduzir o escape e contaminação ambiente pelos gases anestésicos, e um analisar o conhecimento dos médicos sobre os resíduos anestésicos. Por fim, na conclusão é possível determinar que 6 (40%) artigos indicaram leves e moderadas alterações em marcadores neurológicos, hepáticos, renais, hematológicos, imunes e reprodutivos em profissionais que atuam no centro cirúrgico, com ênfase para anestesiológistas e auxiliares de anestesia.

Entretanto, um (6,6%) artigo indicou que não houve alterações significativas nos profissionais associadas ao estresse oxidativo, danos ao DNA ou inflamação sistêmica. Outro artigo (6,6%), também não relacionou a exposição aos RGA's com alterações neuro-hormonais. Além disso, a maioria dos artigos afirma que não há ferramentas para mensurar a concentração dos RGA's nas salas de operação e que não é um procedimento comum. A ausência de instalações como exaustores e sistemas de ventiladores também é abordado em dois (13,3%) artigos e indica que as concentrações ficam maiores nas salas de operação.

Quadro 3 - Objetivo, métodos, resultados e conclusão.

Autor (ano)	Objetivo	Métodos	Resultados	Conclusão
EMARA AM, et al., (2020).	Identificar alterações hepáticas e hematológicas que ocorrem como resultado da exposição crônica ao RGA.	Estudo caso-controle	Foi-se detectado aumento nos níveis de flúor plasmático em todo grupo exposto, além do crescimento sérico do aspartato aminotransferase, osteopontina, alanina aminotransferase e gama-glutamilttransferase, com redução da proteína albumina. Houve também redução significativa no percentual de hemoglobina, hematócrito, plaquetas e monócitos. Por outro lado, houve aumento de leucócitos e nas porcentagens de linfócitos.	A exposição principalmente ao sevoflurano, provoca alterações hematológicas e nos marcadores hepáticos.
WILLIAMS GW, et al., (2018).	Avaliar o gás anestésico residual na RPA e a utilidade da máscara ISO-Gard.	Estudo observacional prospectivo	A sala de recuperação pós anestésica (SRPA) não é considerada uma área com risco aumentado de exposição aos RGA's, razão pela qual os dispositivos de eliminação não são usados rotineiramente, entretanto foi-se constatado que os pacientes exalam os anestésicos em concentrações maiores do que as recomendadas e que com uso do dispositivo Iso-Gard houve redução da exposição de enfermeiros e pacientes da SRPA.	Os pacientes continuam a expelir RGA em concentrações > 2 ppm na SRPA. A máscara ISO-Gard limita a exposição em até 1 hora.
RAUCHENWALD V, et AL., (2020).	Reduzir o impacto ambiental e buscar tecnologias para limitar a liberação de RGA's na atmosfera.	Estudo de comparação	Com o uso do protótipo, houve melhor eficiência na remoção dos RGA's do sevoflurano e desflurano reduzindo a poluição atmosférica por esses produtos químicos.	Conclui-se que o sistema de destruição fotoquímico é eficiente e econômico.
DEGHANI F, et al., (2021).	Determinar a exposição ocupacional aos gases isoflurano e sevoflurano utilizando o Método de Agência de Proteção Ambiental.	Estudo transversal	As concentrações medidas de isoflurano e sevoflurano estão abaixo do padrão do <i>National Institute for Occupational Safety and Health</i> (NIOSH) (2 ppm) para técnicos e enfermeiros, mas não para anestesiolistas e cirurgiões. Além disso, avaliou-se o risco não cancerígeno por meio do quociente de perigo (>1), considerando a concentração dos resíduos anestésicos. Em quase todos os grupos expostos ele estava <1, com exceção para anestesiolistas, o que compromete a função cognitiva e aumenta o risco para câncer.	A exposição ocupacional aos RGA's estava abaixo do nível recomendando pela NIOSH, com exceção para anestesiolistas e cirurgiões.
FILHO FRAM, et al., (2018).	Analisar a opinião de um grupo composto por 30 médicos anestesistas referentes aos anestésicos inalatórios.	Estudo descritivo	(93,3%) dos médicos anestesistas afirmam ter conhecimento dos riscos envolvendo gases anestésicos e na mesma proporção (93,3) negaram haver monitorização dos gases nos locais de trabalho. Os incidentes mais comuns citados foram cefaleia, sonolência, fadiga, amnésia, hepatopatia, nefropatia, ação teratogênica, etc.	Conclui-se que não há mensuração das concentrações de gases anestésicos no centro cirúrgico nos estabelecimentos de saúde de Teresina-PI.
BRAZ LG, et al., (2017).	Comparar os RGA's do isoflurano e sevoflurano em salas de operações com e sem sistema de exaustão.	Estudo de comparação	O risco ocupacional é maior em salas de operação (SO) sem sistemas de exaustão para eliminação dos RGA's, pois ultrapassa os valores recomendados pela NIOSH (2 ppm). O sevoflurano teve redução significativa nas salas de operação com exaustores.	Conclui-se que o sevoflurano tem desempenho ruim em SO com ou sem exaustores, excedendo o limite recomendado.
EMARA AM, et al., (2021).	Avaliar as consequências para o sistema imunológico da exposição em longo prazo a gases anestésicos.	Estudo de comparação	A concentração de flúor plasmático foi significativamente aumentados em anestesistas e auxiliares de anestesia em comparação com os outros grupos expostos. Todos os grupos expostos demonstraram elevação significativa na contagem de linfócitos, níveis de células TCD4, razões CD4/CD8, bem como níveis de IgE, IgM e IgG em comparação com os controles.	Conclui-se que os profissionais estão sob risco de desenvolver patologias hematológicas, hepáticas, imunes, neurológicas, renais e reprodutivas.
SOUZA KM, et al., (2021)	Avaliar possíveis associações entre exposição a RGA's e efeitos biológicos.	Estudo caso-controle	O estudo apontou que a exposição aos RGA's não afetou marcadores de estresse oxidativo, capacidade antioxidante, purinas oxidadas, comprimento dos telômeros, marcadores de inflamação ou modulação transcricional sistemicamente.	Não houve achados que indicassem estresse oxidativo, danos ao DNA ou processos inflamatórios sistêmicos.
ÇAKMAK G, et al., (2019).	Avaliar o risco de genotoxicidade da exposição aos RGA's.	Estudo de caso-controle	A frequência de micronúcleos nos linfócitos do sangue periférico e nos micronúcleos das células epiteliais bucais foram aumentados no pessoal da saúde. A concentração urinária de sevoflurano pós turno excederam o nível equivalente biológico em 23 funcionários.	A avaliação do efeito genotóxico dos RGA's demonstrou que há risco para ambos grupos, mas que precisam ser esclarecidos.
NEGHAB M, et al., (2020).	Determinar se a exposição aos RGA's na SO está associada a alterações hepatotóxicas ou nefrotóxicas.	Estudo de coorte	Os marcadores hepáticos alanina aminotransferase, aspartato aminotransferase, fosfatase alcalina, gama-glutamilttransferase e glutathion s transferase, bem como os marcadores renais creatinina, molécula de lesão renal 1 e o cálcio apresentaram aumento significativo no grupo exposto.	A exposição ocupacional aos RGA's foi associada a sintomas sutis, alterações subclínicas e pré-patológicas nos parâmetros do fígado e dos rins
AUN AG, et al., (2021).	Avaliar amostras biológicas de enzimas hepáticas, proteína C reativa, hormônio adrenocorticotrófico, cortisol e prolactina.	Estudo caso-controle	Os marcadores hepáticos estavam dentro dos intervalos de referência. Apenas a prolactina e o cortisol apresentaram um leve aumento nos médicos homens avaliados neste estudo.	Não houve alterações significativas, apenas uma elevação nos níveis de prolactina e cortisol nos homens.
PEREA E, et al., (2018).	Verificar se os valores residuais dos gases se encontravam abaixo dos valores limite de exposição ocupacional.	Estudo observacional descritivo	O programa de manutenção periódica garantiu o funcionamento adequado das instalações de eliminação de RGA', pois os profissionais em 88% (115) das situações iniciais avaliadas estiveram expostos a níveis inferiores (2 ppm) para os anestésicos halogenados (sevoflurano/desflurano).	A manutenção periódica dos sistemas de ventilação e exaustão das salas minimizam os fatores de exposição ocupacional.
EFTIMOVA B, et al., (2017).	Mostrar efeitos a saúde associado a exposição aguda e crônica ao óxido nitroso.	Estudo transversal	O óxido nitroso foi relacionado com dores de cabeça, tontura, náuseas, vômitos, taquicardia, euforia, entre outros danos.	A exposição crônica ao óxido nitroso são associados aos efeitos adversos a saúde.
HEIDERICH S, et al., (2018).	Avaliar as concentrações dos anestésicos voláteis em relação ao tamanho da sala, quantidade de pacientes e configuração do sistema de ventilação da RPA.	Estudo observacional prospectivo	Ao avaliar duas unidades de RPA, foi constatado que a RPA 1 teve concentração média foi de 0,34 ppm, e a RPA 2 a concentração média foi de 0,28 ppm. O sevoflurano flutuou amplamente ao longo do tempo.	Os limites atuais de exposição aos RGA's permitidos estão sendo atendidos. Enfermeiros da RPA estão expostos a doses de sevoflurano, em quantidade mais baixas.
HANDAYANI R, et al., (2018).	Mostrar que os efeitos da exposição ao isoflurano podem causar distúrbios na fertilidade.	Estudo de coorte retrospectivo	A expressão gênica do estrogênio nas mulheres enfermeiras apresentou aumento significativo. O tempo de trabalho > 10 anos afeta mais o estrogênio e prejudica a fertilidade.	A exposição ao isoflurano afeta a fertilidade através do hormônio estrogênio.

Fonte: Teixeira FAS, et al., 2023

DISCUSSÃO

Os riscos associados à longa exposição aos RGA's ganharam destaque devido ao aprimoramento dos métodos anestésicos. A ausência de normas regulamentadoras que definam limites máximos precisos de exposição, bem como a inexistência de visitas técnicas para vistoriar as instalações das salas cirúrgicas (SO's) e do biomonitoramento dos profissionais são outros aspectos que merecem destaque.

Para Emara AM, et al. (2021), a exposição crônica aos RGA's provoca alterações imunológicas nos profissionais. Foi observado que a contagem total de linfócitos, de anticorpos do tipo IgG, IgE IgM e de linfócitos TCD4/TCD8 apresentaram aumento no grupo exposto. O IgE teve um aumento sérico maior nos grupos de cirurgiões, enfermeiros e trabalhadores em comparação com as outras profissões. De acordo com os autores a desregulação dessas células é conhecida por ser um fator importante no desenvolvimento de algumas doenças autoimunes, inflamatórias crônicas e na capacidade de combater o câncer.

Conforme o estudo de Eftimova B, et al. (2017), os efeitos da exposição ao óxido nitroso incluem dor de cabeça, tontura, náusea, vômito, depressão, contagem reduzida de glóbulos brancos e vermelhos, ansiedade, tremor, deficiência motora e habilidades audiovisuais, excitação, euforia e pressão intracraniana elevada devido à hipóxia. Todos os sintomas melhoram com a cessação da exposição. Para Krajewski W, et al. (2007), o óxido nitroso pode causar desativação irreversível da metionina sintetase e tornar-se dependente da vitamina B12. No caso de exposição mais curta, predomina o aumento da resistência vascular periférica e aumento da pressão arterial. Por outro lado, a exposição a concentrações mais elevadas por um período mais longo pode induzir o predomínio da ativação beta-adrenérgica o que poderia justificar os efeitos à exposição a este anestésico. Além disso, Pichardo D, et al. (2012), ressaltam que a longo prazo pode levar a efeitos tóxicos no fígado, aumentando moderadamente o tônus do sistema simpático causando vasoconstrição do sistema vascular.

Um dos aspectos importantes a serem levados em consideração seria a participação dos gases anestésicos em alterações genéticas. Nesse sentido, Souza KM, et al (2021), reforçam que a exposição crônica aos gases anestésicos mais modernos não afeta ou causa processos inflamatórios, estresse oxidativo ou alterações no DNA, que segundo os autores, por serem moléculas mais novas, possuem têm baixo metabolismo, o que provoca a geração de pequenas quantidades de espécies reativas de oxigênio (ERO'S), capazes de causar os efeitos oxidantes nas células; no entanto, o estudo sugere que os tecidos/células alvos devem ser avaliados.

Por outro lado, Lucio LMC, et al. (2018), mostram que a exposição ocupacional ao RGA's causa alterações genômicas e leva ao estresse oxidativo. A interação entre os radicais livres derivados do oxigênio ou do nitrogênio com as bases do DNA, resulta em danos que produzem bases oxidadas, sítios abásicos e/ou quebras nas fitas do DNA. O dano oxidativo causado pelas ERO's em membranas ou lipoproteínas, implica no desenvolvimento de muitas doenças, como aterosclerose, câncer e doenças degenerativas e inflamatórias. As células da mucosa oral apresentam micronúcleos e alterações citotóxicas, além da proliferação das células pela mucosa, o que contribui para a instabilidade genética, causado pela exposição aos agentes genotóxicos como os anestésicos inalatórios.

Além disso, Çakmak G, et al. (2019), também reforçam a existência de uma relação genotóxica entre a exposição longa aos RGA's e profissionais das SO e da recuperação pós anestésica (RPA) ao comparar ambos os grupos, encontraram uma frequência de micronúcleos em linfócitos e nas células epiteliais bucais significativamente maior no grupo exposto, o que indica alta instabilidade cromossômica, ou seja, um dos principais fatores para o processo carcinogênico o que corrobora com Lucio LMC, et al. (2018) e Dehghani F, et al. (2021), que ressaltam o risco oncológico para anestesistas.

Ainda de acordo com Çakmak G, et al. (2019), as taxas de exposição biológica ao sevoflurano foram superadas em anesthesiologistas, enfermeiros e funcionários da SRPA, entretanto, ao contrário dos profissionais da SO, essa exposição ocorre pelos pacientes, ao exalar o gás anestésico reforçando o estudo de (NEGHAB M, et al., 2020), onde as concentrações de óxido nitroso, sevoflurano e isoflurano foram superiores as definidas pela NIOSH. Neste estudo o flúor não foi identificado como biomarcador devido à sua

inespecificidade. Portanto, a exposição do pessoal da CC (incluindo a SRPA) ao RGA tem uma relação genotóxica que requer monitoramento contínuo o que também é afirmado no estudo de (YILMAZ S, et al., 2016).

A exposição ocupacional aos RGA's também está associada a alterações renais e hepáticas, já que são órgãos que estão ligados com o processo de metabolização e excreção dos anestésicos (TEMPLE E e WILES M, 2019). Marcadores de função hepática como AST (aspartato aminotransferase), ALT (alanina aminotransferase) e GGT (gama-glutamilttransferase) foram avaliados por Neghab M, et al. (2020), mostrando-se elevados no grupo exposto, resultados estes também encontrados nos estudos de Aun AG, et al. (2021) e Emara AM, et al. (2020). No sentido de melhor avaliar a função hepática, Emara AM, et al. (2020), também avaliaram a FA (fosfatase alcalina), a OPN (osteopontina) e a alfa-gts (alfa glutational S-transferase) verificando que FA e OPN não estavam elevados nos grupos de enfermeiras e trabalhadores, porém, a alfa-gts, um biomarcador mais sensível para monitorar o dano hepático pós anestesia com sevoflurano, mostrou-se elevado no grupo exposto.

Em relação à toxicidade renal e possíveis danos renais, Neghab M, et al. (2020), analisaram a função renal em pessoas expostas aos gases anestésicos utilizando como marcador de função renal e nefrotoxicidade, a creatinina sérica, o KIM1 (molécula de lesão renal-1) e o cálcio e, encontraram elevação em todos os parâmetros, sugerindo possíveis lesões renais o que indica a participação dos RGA's.

Outro aspecto de interesse é quanto a exposição aos RGA's podem provocar mudanças hormonais nos expostos. Segundo Aun AG, et al. (2021), apesar do halotano ser o gás mais associado a lesões hepáticas, necrose e hepatite e muito usado em países subdesenvolvidos, em seu estudo, não houve alterações hormonais significativas, apenas uma elevação da prolactina e no cortisol em médicos homens expostos. Por outro lado, Handayani R, et al. (2018), mostraram que a exposição de enfermeiras ao isoflurano a longo prazo, (>10 anos) provoca alterações na expressão gênica do estrógeno, podendo comprometer a fertilidade e, nesse sentido, Filho FRAM, et al. (2018) e Niosh (2007) relacionam a exposição aos RGA's à gravidez e ação teratogênica, fatos esses que corroboram a premissa que gestantes não devem trabalhar em CC, devido ao alto risco de aborto espontâneo ou malformações congênitas.

Considerando a rápida absorção destes gases via inalatória e seu transporte via corrente sanguínea, Emara AM, et al. (2020), analisaram alterações no hemograma como o número de hemácias, hematócrito, Hemoglobina Corpuscular Média (HCM), Concentração da Hemoglobina Corpuscular Média (CHCM), Volume Corpuscular Médio (VCM) e o número de plaquetas e encontraram queda em todos esses parâmetros, além de enfermeiros, anestesiólogos e trabalhadores sofrerem redução significativa do hematócrito. Nos glóbulos brancos (leucócitos) foi constatado leucocitose por linfocitose e granulocitose, com monocitopenia. Houve a diminuição significativa dos níveis de albumina sérica em anestesistas, auxiliares de anestesia e enfermeiros. Tais efeitos são sugeridos pela presença de flúor plasmático, decorrentes do RGA's, provocando lesões ao sistema hematopoiético. Diante de todos esses riscos que a equipe cirúrgica se expõe é importante o controle da concentração de RGA's no ambiente. De acordo com Filho FRAM, et al. (2018), o conhecimento que os médicos possuem a cerca desses riscos pode ser superficial e, em muitos locais essa fiscalização da concentração de RGA's não passa por qualquer tipo de biomonitoramento.

Williams GW, et al. (2018) e Heiderich S, et al. (2018), analisaram a concentração de RGA's na planta de RPA para verificar se a concentração atendia ao regulamento NIOSH <2 ppm (2007), pois na instalação de RPA não é utilizado equipamentos de eliminação de RGA ou qualquer outro sistema. Além disso, sabe-se que os pacientes expõem gases anestésicos principalmente por via respiratória (TEMPLE E e WILES M, 2019), o que também sugere que a SRPA é um ambiente de alto risco ocupacional para a equipe de enfermagem. Para abordar esta questão, WILLIAMS GW, et al. (2018), avaliaram o uso de máscaras ISO-Gard em pacientes, o que reduziu os níveis de RGA na SRPA e reduziu a exposição de enfermeiros e outros pacientes. A implementação deste dispositivo médico e o risco de exposição na primeira hora ainda são desconhecidos, não há muitos estudos que avaliem os colaboradores da SRPA e nem as concentrações que os pacientes expõem do anestésico. Dessa forma, é essencial definir a RPA como um local de alto risco ocupacional, e definir o uso de instalações adequadas e dispositivos como a máscara ISO-Gard conforme

NIOSH (2007). Para Heiderich S, et al. (2018), a hipótese de que as SRPA quando equipadas com sistema de ventilação com troca de ar são efetivas para reduzir o RGA, deixando quantidades mínimas nos profissionais, foi testada levando-se em consideração o peso corporal dos pacientes, concluindo que pacientes obesos acumulam o anestésico no tecido adiposo, o que contribui para maiores concentrações residuais no ar.

Volquind D, et al. (2013), mencionaram o uso indevido das cânulas traqueais sem balonetes, oclusão do sistema da eliminação do hospital (vácuo), escape no circuito de baixa pressão dos anéis de vedação e das mangueiras como fatores que contribuem para o escape dos RGA's para ambiente. Além disso, segundo Braz LG, et al. (2017), as SO sem sistemas de exaustão acumulam maiores concentrações de sevoflurano e isoflurano em toda área da SO, com predomínio nas estações de anestesia, excedendo o limite estipulado pela NIOSH.

Dentre os profissionais mais expostos, Perea E, et al. (2018), destacam os enfermeiros por realizar a instrumentação e auxiliar no processo anestésico, além de ser um profissional em maior número neste ambiente e os anesthesiologistas pelas características das suas atividades. E para minimizar essa exposição e manter os RGA's no ambiente cirúrgico dentro dos limites estabelecidos pelo NIOSH, medidas como um programa de manutenção regular para máquinas de anestesia, incluindo substituição ou reparo se algum vazamento de gás for detectado; boas práticas nas técnicas anestésicas; sistemas de ventilação e exaustão em salas cirúrgicas e outras medidas devem ser definidas.

O monitoramento da concentração de RGA's no CC sempre foi muito discutido. Segundo WIESNER G, et al. (2001), sistemas de eliminação dos RGA's são utilizados, entretanto, os sistemas de exaustão adequados nas SO são incomuns na maioria dos hospitais em países em desenvolvimento. Mais recentemente, Rauchenwald V, et al. (2020), mostram que um reator fotoquímico é o novo instrumento econômico e eficiente para eliminar os resíduos anestésicos de desflurano, sevoflurano e óxido nitroso. Essa tecnologia utiliza a luz ultravioleta para oxidar as estruturas dos gases halogenados, promovendo a fotólise. Apresenta desvantagens como a necessidade de troca da lâmpada, limpeza do reator e aquecimento. Logo, o controle da exposição ocupacional aos RGA's não depende apenas de uma conduta, mas sim de um conjunto de medidas que englobam a equipe multidisciplinar do CC e infraestrutura adequada do hospital, bem como a vigilância da saúde destes profissionais expostos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considera-se que a exposição ocupacional aos RGA's provoca alterações hepáticas, renais, hematológicas, imunológicas, genéticas, reprodutivas, neurológicas e inflamatórias. A SRPA deve ser definida como ambiente de alto risco, já que não recebe o devido monitoramento, nem possui as instalações adequadas. É essencial que existam condições básicas para o evento anestésico, com boas práticas anestésicas e instalações de eliminação dos resíduos anestésicos, para que se garanta a saúde dos profissionais da saúde, bem como, a segurança do procedimento anestésico-cirúrgico.

REFERÊNCIAS

1. AUN AG, et al. Hepatotoxic and neuroendocrine effects in physicians occupationally exposed to most modern halogenated anesthetics and nitrous oxide. *Environ Toxicol Pharmacol.* 2021; 81:103-515.
2. BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE, ANVISA E FIOCRUZ. Protocolo para cirurgia segura. Anexo 3, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/composicao/saes/dahu/seguranca-do-paciente/protocolo-cirurgia-segura.pdf/view>. Acessado em: 20 abril de 2022.
3. BRAZ LG, et al. Comparação de resíduos de gases anestésicos em salas de operação com ou sem sistema de exaustão em hospital universitário brasileiro. *Revista Brasileira de Anestesiologia* 2017;67(5):516-520.
4. ÇAKMAK G, et al. Genetic damage of operating and recovery room personnel occupationally exposed to waste anaesthetic gases. *Hum Exp Toxicol.* 2019; 38(1): 3-10.

5. DEGHANI F, et al. Avaliação probabilística do risco à saúde da exposição ocupacional a isoflurano e sevoflurano na sala de cirurgia. *Ecotoxicologia e Segurança Ambiental*. 2021; 207 (): 111-270.
6. EFTIMOVA B, et al. Health Effects Associated With Exposure to Anesthetic Gas Nitrous Oxide-N₂O in Clinical Hospital - Shtip Personel. *Open Access Maced J Med Sci*. 2017; 5(6): 800-804.
7. EMARA AM, et al. Efeito de gases anestésicos inalados nas alterações do estado imunológico em profissionais de saúde, *Journal of Immunotoxicology*, 2021; 18(1): 13-22.
8. EMARA AM, et al. Effect of inhaled waste anaesthetic gas on blood and liver parameters among hospital staff. *Human and Experimental Toxicology*, 2020;39(12):1585-1595.
9. FILHO FRAM, et al. Risco ocupacional com anestésico inalatório: uma discussão a partir da opinião da classe médica. *Revinter*, 2018; 11(02): 13-28.
10. HANDAYANI R, et al. Effects of Isoflurane Exposure to Fertility through Estrogen Gene Expression in Operating Room Nurses. *American Journal of Public Health Research*, 2018; 6 (1): 11-17.
11. HEIDERICH S, et al. Low anaesthetic waste gas concentrations in postanesthesia care unit: A prospective observational study. *Eur J Anaesthesiol*. 2018; 35(7): 534-538.
12. KRAJEWSKI W, et al. Estado metabólico prejudicado da vitamina B12 em profissionais de saúde expostos ocupacionalmente ao óxido nítrico. *Jornal Britânico de Anestesiologia*. 2007; 99(8): 12–18.
13. LUCIO LMC, et al. Riscos ocupacionais, danos no material genético e estresse oxidativo frente à exposição aos resíduos de gases anestésicos. *Revista Brasileira de Anestesiologia*, 2018; 68(1): 33-41.
14. NEGHBAB M, et al. Toxic responses of the liver and kidneys following occupational exposure to anesthetic gases. *EXCLI J*. 2020;(19): 418-429.
15. NIOSH - National Institute for Occupational Safety and Health. 2007. Resíduos de gases anestésicos – riscos ocupacionais em hospitais. Disponível em: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2007-151/default.html>. Acessado em: 28 de agosto de 2022.
16. PEREA E, et al. Occupational exposure to anesthetic gases at the centro hospitalar universitario de lisboa central, epe. *Revista Portuguesa de Saúde Ocupacional*, 2018; 6: 1-12.
17. PICHARDO D, et al. Efeito da exposição ao óxido nítrico durante a cirurgia nas concentrações de homocisteína em crianças. *Anestesiologia*. 2012; 117 (1): 15–21.
18. POKHREL LR, et al. Risk assessment of occupational exposure to anesthesia Isoflurane in the hospital and veterinary settings. *Elsevier*, 2021; 783 146-894.
19. RAUCHENWALD V, et al. New Method of Destroying Waste Anesthetic Gases Using Gas-Phase Photochemistry. *Anesth Analg*. 2020; 131(1): 288-297.
20. SHARMA A, et al. Should Total Intravenous Anesthesia Be Used to Prevent the Occupational Waste Anesthetic Gas Exposure of Pregnant Women in Operating Rooms? *Anesth Analg*. 2019; 128(1):188-190.
21. SMITH A, et al. Waste Anesthetic Gases and the Incidence of Miscarriage. *Int J Nurs & Health CarScie*, 2021; 01(07): 482-494.
22. SOUZA KM, et al. Oxidative stress, DNA damage, inflammation and gene expression in occupationally exposed university hospital anesthesia providers. *Environ Mol Mutagen*. 2021; 62(2): 155-164.
23. TEMPLE E, et al. Inhalational anaesthetic agents. *Anaesthesia and intensive care medicine*, 2019; 20(2): 109-117.
24. VOLQUIND D, et al. Riscos e doenças ocupacionais relacionados ao exercício da anestesiologia. *Revista Brasileira de Anestesiologia*. 2013; 63(2): 227-232.
25. WIESNER G, et al. A follow-up study on occupational exposure to inhaled anaesthetics in Eastern European surgeons and circulating nurses. *Int Arch Occup Environ Health*. 2001; 74(1):16-20.
26. WILLIAMS GW, et al. Evaluation and control of waste anesthetic gas in the postanesthesia care unit within patient and caregiver breathing zones. *Proc Bayl Univ Med Cent*. 2018;32(1): 43-49.
27. YILMAZ S, et al. Exposição a gases anestésicos entre o pessoal da sala de cirurgia e risco de genotoxicidade: uma revisão sistemática dos estudos de biomonitoramento humano. *J Clin Anesth*. 2016; 35: 326-31.