

## ARTIGO ORIGINAL

### AS VIBRAÇÕES DE CORPO INTEIRO NO TRANSPORTE AEROMÉDICO DE PACIENTES NEONATOS PELO CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MINAS GERAIS

**Nelson Santana Camargos<sup>1</sup>, Maria Lúcia Machado Duarte<sup>2</sup>, Lázaro Valentim Donadon<sup>2</sup>**

1. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais

2. Universidade Federal de Minas Gerais

#### RESUMO

*Objetivos: este estudo foi dirigido para a definição do tipo de aeronave que apresenta a menor vibração de corpo inteiro (VCI) no transporte aeromédico de pacientes neonatos no âmbito do Suporte Aéreo Avançado de Vida (SAAV), operado pelo Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (CBMMG). Métodos: foi utilizado um acelerômetro triaxial para medições no interior da cabeça do corpo de prova, preenchida com gelatina de mesma densidade de um cérebro humano neonato. Foram mensuradas fases de voo para cada tipo de aeronave. Também foram mensuradas as VCI no transporte terrestre. Os dados coletados foram analisados conforme equações previstas na Norma de Higiene Ocupacional nº 9 (NHO 09) e ISO 2631:1997, sendo extraídas as acelerações ponderadas pela frequência ( $am_r$ ) e valores de dose de vibração (VDV). Resultados: o avião modelo C208 (Grand Caravan EX) apresentou maiores vibrações totais,  $3,09 \text{ m/s}^2$ , em relação ao helicóptero monomotor (H350),  $2,11 \text{ m/s}^2$  e helicóptero bimotor (BK117C2),  $1,18 \text{ m/s}^2$ . Para o VDV, o avião C208 demonstrou maior valor entre as aeronaves testadas, com  $20,54 \text{ m/s}^{1.75}$ , o H350,  $11,53 \text{ m/s}^{1.75}$ , e o BK117C2,  $5,85 \text{ m/s}^{1.75}$ . No transporte terrestre foram encontrados valores maiores do que no transporte aéreo: vibração total -  $am_r = 3,17 \text{ m/s}^2$  - e  $VDV = 25,82 \text{ m/s}^{1.75}$ . Considerações: pode-se afirmar que o helicóptero bimotor possui a menor VCI em comparação aos demais meios - helicóptero monomotor, avião monomotor e transporte terrestre no âmbito do SAAV.*

**Palavras-chave:** transporte aeromédico; neonatos; vibração de corpo inteiro.

### WHOLE-BODY VIBRATIONS IN NEONATAL PATIENT AEROMEDICAL TRANSPORT BY THE MILITARY FIRE DEPARTMENT OF MINAS GERAIS

#### ABSTRACT

*Objectives: This study was directed to the definition of the type of aircraft that presents the lowest whole-body vibration (WBV) in the aeromedical transport of newborn patients in the scope of Advanced Air Life Support (SAAV), operated by the Military Fire Brigade of Minas Gerais. (CBMMG). Methods: a triaxial accelerometer was used for measurements inside the head of the specimen, filled with gelatin made of the same density of the brain of newborns. Flight phases were measured for each aircraft type. The WBV was also measured in land transport. The collected data were analyzed according to equations provided for in the Occupational Hygiene Standard nº 9 (NHO 09) and ISO 2631:1997, extracting the weighted accelerations by frequency ( $am_r$ ) and vibration dose values (VDV). Results: The airplane model C208 (Grand Caravan EX) presented higher total vibrations -  $3.09 \text{ m/s}^2$ , compared to the single-engine helicopter (H350) -  $2.11 \text{ m/s}^2$  and twin-engine helicopter (BK117C2) -  $1.18 \text{ m/s}^2$ . For the VDV, the C208 plane showed the highest value among the tested aircraft, with  $20.54 \text{ m/s}^{1.75}$ . The H350 -  $11.53 \text{ m/s}^{1.75}$  and the BK117C2 -  $5.85 \text{ m/s}^{1.75}$ . Higher values were found in land transport than in air transport: total vibration -  $am_r = 3.17 \text{ m/s}^2$  - and  $VDV = 25.82 \text{ m/s}^{1.75}$ . Conclusion: it can be said that the twin-engine helicopter has the lowest whole-body vibration, compared to other means - single-engine helicopter, single-engine plane, land transport within the scope of SAAV.*

**Keywords:** aeromedical transport; neonates; whole body vibration.

**Recebido em:** 02/12/2022

**Aprovado em:** 13/06/2023

**E-mail:** nelson.camargos@bombeiros.mg.gov.br, mlmduarte@ufmg.br, lazaro@demec.ufmg.br

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Considerações clínicas

O transporte de neonatos é uma necessidade há muitas décadas, quando se tornou clinicamente evidente que nem todos os hospitais poderiam fornecer o nível de atendimento exigido por um recém-nascido prematuro ou gravemente doente, conforme aponta Diehl (2018).

O transporte aeromédico desses pacientes, com idade de 0 a 28 dias, deve ser realizado em aeronaves de asas rotativas (helicópteros) ou fixas (avião), com infraestrutura de unidade de suporte avançado (CFM, 2003). Esse paciente, quando elegível para o transporte pela gravidade de sua condição clínica, apresenta particularidades que devem ser observadas.

O Ministério da Saúde define que a melhor incubadora existente é o útero materno, contudo, por diversos motivos, nem sempre é possível o transporte da gestante em tempo hábil (BRASIL, 2014). Na composição dos equipamentos das aeronaves utilizadas no transporte de neonatos, inclui-se, obrigatoriamente, a incubadora (CFM, 2003). É por meio desse dispositivo que o paciente neonato recebe todo o suporte da equipe médica, bem como é nesse dispositivo que as reações físicas oriundas do transporte e do manejo são recebidas pelo paciente.

O Ministério da Saúde assevera ainda, em sua publicação sobre a atenção à saúde do recém-nascido, que a seleção do veículo para o transporte do recém-nascido depende de diversos fatores, incluindo o estado clínico do paciente, a distância a ser percorrida, as condições do tempo, o número e o tipo de profissionais necessários, o equipamento exigido para a estabilização do neonato e a disponibilidade do veículo no momento do transporte (BRASIL, 2014).

Dado o contexto (tipo de paciente, local onde será transportado e meio de transporte), torna-se necessário abordar cada ente desse processo de transporte. Explana-se, na sequência, o tipo de paciente.

Em seu estudo sobre tendências e práticas atuais, Diehl (2018) esclarece que pacientes neonatais têm necessidades especiais que existem como consequência de prematuridade (insuficiência respiratória, infecção aguda, condições genéticas e anomalias congênitas de anatomia e fisiologia) ou, ainda, podem advir como resultado de eventos perinatais inesperados.

Ao se levantar as principais entidades mórbidas relacionadas aos neonatos prematuros, são citados por Silveira e Procianoy (2005): doença de membrana hialina (DMH), displasia broncopulmonar, sepse, enterocolite necrosante, persistência do canal arterial, retinopatia da prematuridade, hemorragia peri-intraventricular (HPIV) e leucomalácia periventricular (LPV).

Dentre essas várias morbidades, destaca-se a HPIV. Silveira e Procianoy (2005) discorrem que, dentre as lesões cerebrais no recém-nascido pré-termo (nascido antes de 34 semanas), a HPIV permanece a lesão mais descrita e conhecida. Reporta-se que a lesão da matriz germinativa é muito severa, podendo evoluir, nos casos mais graves, para sangramento para dentro do sistema ventricular adjacente ou para a substância branca periventricular.

Quanto aos efeitos do transporte sobre o neonato prematuro, Goswami *et al.* (2020) indicam que há estudos que demonstram o aumento da taxa de mortalidade e morbidade após o transporte desses pacientes. Os autores destacaram cinco estudos, sendo o mais abrangente em escala de tempo e quantidade amostral aquele feito por Mohamed e Aly (2010).

Esses últimos autores revelaram que o transporte inter-hospitalar de recém-nascidos com muito baixo peso está correlacionado com o aumento da incidência e gravidade da hemorragia intraventricular. O estudo citado utilizou um espectro de 67.596 indivíduos desse tipo, no intervalo de 1997 a 2004, nos Estados Unidos.

Goswami, *et al.* (2020) levantam uma questão sobre os riscos potenciais de exposições ambientais, incluindo vibração, forças de inércia translacional e momentos de inércia rotacional presentes no transporte neonatal e sua devida associação à potencial lesão cerebral do neonato pré-termo. A próxima subseção aborda as questões relativas às vibrações.

## 1.2 Considerações sobre vibrações

Conforme Brasil (2022), entende-se por limite de tolerância a concentração ou intensidade máxima ou mínima, relacionada com a natureza e o tempo de exposição ao agente, que não causará danos à saúde humana, durante a sua vida laboral.

Os tipos de condicionantes ambientais elencados na Norma Regulamentadora nº 15, atividades e operações insalubres, constantes em Brasil (2022), são as ondas sonoras, calor, umidade, poeira minerais, agentes químicos e biológicos, radiação não ionizante, pressão e vibração.

Desse conjunto, foi destacada a vibração, pois é o elemento ambiental que difere em maior escala entre os tipos de aeronaves utilizadas para o transporte aeromédico. Os demais condicionantes possuem variações insignificantes, uma vez que o ambiente nos quais os veículos aéreos de interesse deste estudo operam são os mesmos.

As condições ambientais que o meio de transporte estabelece sobre o paciente são alvo de normas que definem o limite de tolerância para definição da insalubridade em uma pessoa adulta (ISO 2631-1:1997). É demandado, portanto, realizar medidas da vibração recebida pelo paciente aerotransportado.

O voo por avião ou helicóptero proporciona aos seus ocupantes um ambiente de contínua vibração. Essas aeronaves possuem em seus conjuntos dinâmicos, em sentido macro, grupos motopropulsores ligados a um rotor (helicóptero) e hélices (avião). Dessas estruturas aerodinâmicas, incluindo as asas fixas no caso do avião, é que são geradas vibrações que serão transmitidas aos ocupantes das aeronaves.

Somado a isso, tem-se as reações aerodinâmicas de todo o conjunto, submetido às interações com o fluido em volta. Dessa forma, tudo que a cabine contiver, incluídos seus ocupantes, passará a receber parte dessa vibração. Sob esse aspecto, são destacadas as vibrações de corpo inteiro (VCI), que ocorrem quando um corpo suportado por uma superfície vibra por completo, não apenas em uma determinada área ou região (GRIFFIN, 1996).

Dado o ambiente a ser estudado (paciente transportado em uma incubadora, dentro de uma aeronave), pode-se inferir que haverá a exposição daquele paciente a uma condicionante ambiental (vibração) que deve ser mensurada para posterior qualificação em estudo específico sobre suas consequências nos pacientes, consideradas as variáveis envolvidas nesses estudos futuros.

Segundo Goswami *et al.* (2020), durante o transporte, uma incubadora sofre choque mecânico e vibração. Os autores definem que o choque se refere a perfis singulares de aceleração *versus* tempo que são tipicamente de curta duração e amplitude potencialmente alta. A vibração refere-se à aceleração rítmica sustentada (harmônica) *versus* perfis de tempo que podem ocorrer em uma única frequência, várias frequências distintas ou em uma ampla faixa de frequências. O último caso é geralmente referido como vibração aleatória.

No presente estudo, buscou-se a mensuração da vibração em sua porção mais crítica no paciente neonato. Dada a morbidade de maior recorrência, a HPIV, conforme apontou Silveira e Procionoy (2005), prescreve-se que a mensuração das vibrações deve ser feita no interior da cabeça do neonato. É nesse ponto que as VCI constituem a grandeza que pode ser aplicada com intenção de parametrizar os dados, sob procedimentos e cálculos sedimentados em norma relativa à insalubridade.

O que diferencia uma situação da outra, além do local, são fatores como frequência, amplitude, intermitência e tempo de exposição das vibrações; local de aplicação, postura e transmissibilidade da superfície de contato (GRIFFIN, 1996; MISAEL, 2001).

Um fenômeno físico associado às vibrações é a ressonância. Deve-se entender que quando há sua ocorrência no meio físico, danos severos podem acontecer. Para seu entendimento inicial é necessário definir a vibração natural de um corpo. Quando um objeto é perturbado, vibrará com seu próprio conjunto de frequências particulares, que juntas formam seu modo próprio de vibração. Essa é, então, a frequência natural de um objeto, a qual depende, essencialmente, de sua rigidez e sua massa (RAO, 2008).

Rao (2008) define que o corpo humano constitui um sistema com vários graus de liberdade. Esses graus de liberdade são definidos como “o número mínimo de coordenadas independentes requeridas para determinar completamente as posições de todas as partes de um sistema a qualquer instante” (RAO, 2008, p. 6). Portanto, a depender também do número de graus de liberdade, o corpo humano poderá ter várias frequências naturais.

Quando a frequência da vibração forçada (externa) a um objeto se iguala à frequência natural dele, ocorre um drástico aumento da amplitude. Esse fenômeno é denominado ressonância (RAO, 2008). Como exemplo, a coluna vertebral humana tem estimada uma frequência natural em seu eixo longitudinal (dos pés para a cabeça) na faixa entre 4 e 8 Hz ou entre 240 e 480 rotações por minuto (ISO 2631-1:1997). Essa faixa de frequência é a mesma da rotação do rotor principal da maioria das aeronaves de asa rotativa, o que predisporia a coluna vertebral responder de maneira aguda à vibração, intensificando uma força que comprime as estruturas da coluna, particularmente os discos intervertebrais, dado o fenômeno da ressonância presente no local.

No caso do neonato, há a necessidade de definir qual a frequência natural do cérebro do paciente. Essa mensuração não constitui objeto deste estudo, a fim de que se possa posicionar tal estrutura quanto à potencialidade de ocorrência do fenômeno da ressonância. Todavia, tratando-se de um fenômeno físico de elevada importância, devido às suas consequências conhecidas, torna-se relevante o dimensionamento das vibrações externas que atuam sobre aquele corpo em estudo.

Nessa conjuntura, as principais demandas recaem sobre o transporte inter-hospitalar realizado pelo Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (CBMMG), operador do serviço de Suporte Aéreo Avançado de Vida (SAAV), uma parceria entre a corporação e a Secretaria de Estado de Saúde (SES MG). Desse tipo de serviço, evidencia-se o transporte de pacientes neonatos, o qual corresponde a 16,5% do total de atendimentos em saúde (MINAS GERAIS, 2022a).

É importante ressaltar que o estudo foi limitado a modelos específicos de avião e helicóptero. Isso porque as vibrações dependem da fonte e a transmissibilidade das vibrações do meio (RAO, 2008). Logo, não é devida a generalização da mensuração a todas as aeronaves. Para esta pesquisa, foram mensurados e avaliados os modelos operados pelo CBMMG: avião Grand Caravan EX, da fabricante Textron, helicóptero H350 (AS350B2) e helicóptero BK 117C2, ambos da fabricante Airbus.

Além das condições clínicas já existentes, que motivaram o transporte aéreo, pode ser que haja prejuízos à saúde do paciente, derivados desse tipo de locomoção (MOHAMED e ALY, 2010). Esse potencial dano é devido às vibrações transmitidas ao corpo do paciente, que geram reações físicas nocivas àqueles em estado grave, com maiores efeitos nos neonatos, cuja fragilidade é acentuada.

Para que se possa estabelecer possíveis relações de causa e efeito entre o transporte aeromédico, suas VCI associadas e o estado de saúde do paciente transportado, é necessário, como primeira medida, mensurar essas vibrações em cada tipo de aeronave. A fim de escalonar os potenciais efeitos deletérios desse estressor físico durante o transporte, seria benéfico conhecer a carga de exposição, mecanismos de lesão e soluções de engenharia para a logística do transporte.

Nesse sentido, Goswami, *et al.* (2020) em seu estudo de revisão sistemática sobre VCI em transporte de neonatos, trouxe um quadro resumo dos principais estudos até a publicação daquele trabalho. O Quadro 1 faz uma adaptação do material disponível no citado estudo:

**Quadro 1** – Resumo dos estudos que mediram a magnitude das vibrações de corpo inteiro durante o transporte (adaptado)

(continua)

Autor, ano	Ambulância	Incubadora	Modelo experimental	Ferramenta de medida	Níveis de vibração de corpo inteiro
Shenai <i>et al.</i> 1981	Van marca Chevrolet, modelo <i>Step</i> , 1974	Mistogen T1-700, Oakland, CA	Pacientes reais em transportes terrestres	Acelerômetro piezoelético (Bruel and Kjar tipo 4332)	Amplitude de aceleração de pico variou de 5 a 13 m/s <sup>2</sup> Vibração média variou de 2 a 6 m/s <sup>2</sup>
Campbell <i>et al.</i> , 1984	Não informada	Não informada	Pacientes reais em transportes terrestres	Acelerômetro triaxial	Varia de 0,04 m/s <sup>2</sup> em voo de cruzeiro em asa fixa até valor indeterminado.
Sherwood <i>et al.</i> 1994	GMAC Diesel com motor V-8, Cranning Model RD 1500	Incubadora de transporte aeromédico, modelo TI 100	Ambiente simulado de transporte terrestre	Bruel and Kjaer type 2516, com medidor de vibração integrado	Aceleração não indicada em m/s <sup>2</sup>
Macnab <i>et al.</i> 1995	Não informada	Não informada	Transportes terrestres e aéreos	Não informada	Intervalo de amplitude máxima de 0,86–2,35 m/s <sup>2</sup> , e os intervalos médios de 0,33–1,46 m/s <sup>2</sup>
Gajendra gadkar <i>et al.</i> 2000	Ford F350XLT Lariat - ambulância, modelo ano 1990	Incubadora transporte aeromédico, modelo TI5000; Hatboro, PA	Ambiente simulado de transporte terrestre: diferentes rotas	Acelerômetro triaxial	Valores absolutos não disponíveis. Razões RMS foram reportadas, ou seja, a transmissibilidade (Tr). Tr > 1, indicando amplificação da vibração independentemente da combinação de colchões e rota da ambulância (cidade versus rodovia)
Browning <i>et al.</i> 2008	Ambiente simulado	20H Sistema de Suporte de Vida Aerotransportado da International Biomedical, Austin, TX.	A incubadora vazia do ambiente simulado foi empurrada por uma rota selecionada dentro do hospital	Larson Davis HVM100 Medidor de vibração	Aceleração média (±DP) no eixo vertical 2,6 (±0.21) m/s <sup>2</sup> com aceleração de pico acima de 15,9 m/s <sup>2</sup>
Karlsson <i>et al.</i> 2012	Avião modelo Beechcraft King Air 200	Incubadora marca Drager, modelo 5400	Pacientes reais: transportes terrestres e aéreos	Acelerômetro triaxial	Vibração média de 0,19 m/s <sup>2</sup> , durante taxiamento na pista, antes da decolagem: (0,37 m/s <sup>2</sup> ), durante a partida do motor: (0,08 m/s <sup>2</sup> ), colocando a incubadora dentro da ambulância (3,9 m/s <sup>2</sup> )

**Quadro 1:** Resumo dos estudos que mediram a magnitude das vibrações de corpo inteiro durante o transporte (adaptado)

(conclusão)

Autor, ano	Ambulância	Incubadora	Modelo experimental	Ferramenta de medida	Níveis de vibração de corpo inteiro
Bouchut et al. 2011	Van Renault Master (2004 Model) Helicóptero biturbina leve, quadripá, modelo EC135. Fabricante Eurocopter.	Incubadora TI 500 (Hill-Rom Air Shields, Hatboro, PA)	Pacientes reais: transportes terrestres e aéreos	Acelerômetro triaxial	O helicóptero produz um nível de exposição mais alto do que uma ambulância (VCI médio de 0,9 m/s <sup>2</sup> versus 0,35 m/s <sup>2</sup> ). A ambulância terrestre tem muitos efeitos dinâmicos em termos de frenagem, choque do que um helicóptero (1 evento impulsivo por 2 min vs. 1 por 11 minutos).
Kaloutsakis et al. 2013	Não informada	Não informada	Pacientes reais: transportes terrestres e aéreos	Unidade multisensores, incluindo acelerômetro triaxial.	Transporte aéreo: VCI médio 0.35 (±0.19) m/s <sup>2</sup> e VCI máximo de 1.09 m/s <sup>2</sup> . Transporte terrestre: VCI médio de 0.58(±0.26) m/s <sup>2</sup> VCI máximo de 2.8 m/s <sup>2</sup>
Prehn et al. 2015	Caminhão internacional 4300 diesel.	Incubadora da International Biomedical modelo: Voyager	Ambiente simulado: pista de aeroporto	Sistema dinâmico por sensor sem fio, acelerômetro triaxial remoto, gravador de dados usando bluetooth	Nível médio de vibração de 2.42 (±0.15) m/s <sup>2</sup> . Picos de aceleração: 8.41(±1.34) m/s <sup>2</sup>
Blaxter et al. 2017	Volkswagen LT-35 (3 L diesel)	Draeger. Modelo Air Shields TI500	Ambiente simulado e pacientes reais	MEMS acelerômetro (LSM330; STMicroelectronics, Genebra, Suíça)	Vibração vertical média na cabeça: 0.5 m/s <sup>2</sup> e no torso 0.6 m/s <sup>2</sup>

Fonte: adaptado de GOSWAMI *et al.*(2020).

Em suas discussões, Goswami *et al.* (2020) trouxeram que os estudos que quantificam a exposição à vibração são heterogêneos e carecem de padronização no desenho experimental e generalização. Dessa forma, ficou evidenciada a lacuna em conhecer o nível de vibrações que as aeronaves do SAAV, operadas pelo CBMMG, trazem aos pacientes

transportados. Em complemento, há que ressaltar a inexistência de norma de insalubridade específica para o paciente neonato.

Em síntese bibliográfica feita por Goswami *et al.* (2020), a maioria dos estudos confirma que as VCI no transporte excedem as diretrizes da ISO 2631-1:1997 para níveis de vibração que seriam percebidos como “confortáveis” por um adulto. Considerando estudos comparativos entre os transportes aéreos e terrestres, bem como a logística total envolvida no transporte do paciente (envolvendo aeronaves e viaturas terrestres), tornou-se compulsório a quantificação das VCI no transporte em cada modo de transporte.

Os achados de Karlsson *et al.* (2012) e de Bouchut *et al.* (2011) se aproximaram mais desta pesquisa, quando compararam os níveis de vibração entre os meios terrestres e aéreos. Ambos os estudos indicaram haver níveis de vibração consideráveis frente à norma ISO 2631-1:1997. Entretanto, há influência dos modelos de cada tipo de transporte.

### 1.3 Problema a ser estudado

A partir disso, foi levantado o seguinte problema: qual tipo de aeronave (asa fixa ou rotativa) apresenta menor VCI aos pacientes neonatos nos transportes aeromédicos realizados pelo CBMMG?

A hipótese levantada foi de que os transportes aeromédicos realizados pelo CBMMG em aeronaves de asa fixa resultam em menor vibração de corpo inteiro aos pacientes neonatos.

### 1.4 Objetivos

Para consecução deste estudo, foi traçado, como objetivo geral, definir o tipo de aeronave utilizada no CBMMG que traz menor VCI aos pacientes neonatos nos transportes aeromédicos.

Como objetivos específicos foram prescritos: mensurar as VCI em um corpo de prova sintético, nos três modelos de aeronaves utilizadas pelo CBMMG; mensurar as VCI em um corpo de prova sintético em uma ambulância terrestre, tipo furgão, utilizada pelo CBMMG; e comparar os resultados obtidos.

### 1.5 Estrutura do trabalho

Para compreensão desse tema, este trabalho foi dividido em cinco seções: a primeira seção é a introdução, indicativa do conteúdo e abordagem teórica; a segunda seção

apresenta a metodologia do estudo; a terceira seção traz dados da pesquisa; a quarta seção discorre sobre os achados frente à literatura e normativa aplicada; e a quinta seção tece as considerações finais.

## 2 MÉTODO

Foi elaborada uma pesquisa exploratória, de natureza experimental e quantitativa. Para tanto, prestou-se à mensuração direta dos parâmetros de vibração no interior da cabeça de um paciente neonato simulado, com parâmetros estabelecidos na norma ISO 2631-1:1997 e Fundacentro (2013), em sua Norma de Higiene Ocupacional nº 9 (NHO 09).

O objeto de estudo foi o encéfalo do paciente neonato, com o dimensionamento das VCI nesse órgão. Dada a impossibilidade de mensuração em um paciente real, foi desenvolvido um corpo de prova sintético, com características similares ao objeto de estudo.

O modelo de paciente neonato foi transportado em incubadora, modelo IT 158-TS da marca Fanem®, com os equipamentos típicos do atendimento (monitor cardíaco, respirador, bomba de infusão).

Os voos foram realizados nas seguintes aeronaves: helicóptero monomotor, modelo H350 (Esquilo B2 - matrícula PP-BBM), helicóptero bimotor modelo BK117C2 ou EC145 (matrícula PR UEA), ambos da fabricante Airbus, e avião monomotor modelo C208 (Grand Caravan EX - matrícula PS-SES) da fabricante Textron.

A descrição da construção do corpo de prova representativo do paciente neonato é detalhada na próxima subseção.

### 2.1 Do corpo de prova do estudo

O peso médio dos neonatos transportados pelo CBMMG, de 2017 a 2021, foi de 1,64kg  $\pm$  0,27kg e o perfil etário foi estabelecido com a média de 31  $\pm$  2 semanas de idade gestacional (IG) (MINAS GERAIS, 2022b). Os dados sobre os tamanhos dos pacientes não foram disponibilizados.

No recém-nascido a termo (37 semanas ou mais), o peso do cérebro representa 10% a 12% do peso do corpo, que duplica ao ano de idade. O peso do cérebro adulto é dado em 1.508 gramas com densidade média de 1,005 g/cm<sup>3</sup>, dados disponibilizados por Lent *et al.* (2012).

Considerando essas informações, estimou-se que o peso médio dos cérebros dos neonatos transportados pelo CBMMG foi de 180,4 gramas, com o volume médio de 179,44 cm<sup>3</sup>. Uma vez obtidos os dados de referência, foram definidas a densidade e quantidades de

cada elemento que constituía a gelatina à base de glicerina, material utilizado para simular o cérebro em estudo.

Foram utilizados 70 cm<sup>3</sup> de glicerina bidestilada, que possui densidade de 1,26 g/cm<sup>3</sup>; 400 cm<sup>3</sup> de água bidestilada e 24 gramas de gelatina sem sabor. Os ingredientes foram misturados e aquecidos, mantendo contínua movimentação com espátula, buscando atingir a homogeneização da mistura, até que a solução entrasse em ebulição.

Após o resfriamento de 10 minutos ao ar livre, 180 cm<sup>3</sup> dessa solução foram inseridos no modelo de vinil e levados ao refrigerador, com temperatura média de 6° C, durante 8 horas. Após esse tempo, a gelatina atingiu sua consistência desejada, pesando 181 gramas e com densidade de 1,005 g/cm<sup>3</sup>.

Os órgãos internos foram representados por gelatina à base de glicerina, com densidade final calibrada para 1,27 g/cm<sup>3</sup>. Para tanto, foi misturada à glicerina uma solução salina (água e cloreto de sódio) de densidade de 1,26 g/cm<sup>3</sup>. Porções dessa gelatina foram envolvidas por filme plástico do tipo polivinilacrílico (PVC).

O peso total do modelo foi estabelecido em 1.640 gramas, sendo que 181 gramas foram do preenchimento da cabeça (simulação do cérebro). O restante do peso, 1.459 gramas, foi distribuído para o corpo em vinil da boneca: uma estrutura em formato toroidal em polivinil rígido, que une a cabeça ao corpo e preenchimentos em gelatina à base de glicerina com densidade de 1,27 g/cm<sup>3</sup>, envolvida em plástico polietileno de baixa densidade.

## 2.2 Montagem do corpo de prova

Para a medição da vibração, foi inserido um acelerômetro de triaxial, x, y e z, no interior da cabeça do modelo, o qual ficou contido pela própria gelatina, restringindo seus graus de liberdade. Outro acelerômetro foi colocado na base da incubadora. Eles foram conectados a uma placa de aquisição de dados LDS Photon II. O equipamento possui quatro entradas e foi utilizado para medição dos sinais de vibração em aceleração no domínio do tempo na cabeça do modelo.

Com a montagem de quatro canais, é possível calcular a transmissibilidade entre o acelerômetro triaxial e o monoaxial. Devido à posição de entrada do acelerômetro no modelo, foi necessária a correção dos eixos *a posteriori* para poderem atender às especificações da norma ISO 2631-1:1997. A Figura 1 traz a montagem realizada e o modelo construído:

**Figura 1** – Montagem do modelo de teste: colocação do acelerômetro triaxial no interior da cabeça e finalização da forma de transporte padronizada no Batalhão de Operações Aéreas (BOA) do CBMMG.



Fonte: arquivo dos autores.

### 2.3 Equações aplicadas

De acordo com Griffin (1996), a forma mais comum de se quantificar a vibração é por meio da aceleração. Sendo assim, as normas adotadas utilizam a aceleração *root mean square - rms* para caracterizar as vibrações.

Devido ao fato da medição da vibração ser realizada seguindo um sistema de coordenadas triaxial, foi obtido, para cada um dos eixos x, y e z, um valor de aceleração *rms* ponderada pela frequência, representados por  $aw_x$ ,  $aw_y$  e  $aw_z$ , dados em  $m/s^2$ .

No objeto de estudo, cabeça do paciente, não se aplica os fatores de ponderação  $k_i$ , previstos na ISO 2631-1:1997 e NHO 09, uma vez que, para medição citadas nessas normas, os fatores são correções para as posturas do corpo inteiro, diferindo do objeto deste estudo.

Na aplicação das normativas e grandezas a considerar, tem-se a norma NHO 09, da Fundacentro, que considera as mesmas variáveis de interesse da norma ISO 2631-1:1997: aceleração *rms*, Valor da Dose de Vibração (VDV).

A NHO 09 traz as correlações das grandezas previstas na ISO 2631:1997:

#### 4.2 Principais correlações entre as terminologias e os símbolos em português e em inglês relativos à norma ISO 2631-1:1997

Aceleração instantânea  $[a_j(t)]$ : *Instantaneous frequency-weighted acceleration*  $[aw(t)]$ .

Aceleração média ( $am_j$ ): *Root-mean-square single-axis acceleration value* ( $aw$ ), expressa como:  $aw_x$ ,  $aw_y$  ou  $aw_z$

Aceleração média resultante ( $am_r$ ): *Vibration total value* ( $av$ ).

Valor da dose de vibração (VDV<sub>j</sub>): *Vibration dose value* (VDV), expresso nas direções “x”, “y” ou “z”. (FUNDACENTRO, 2013, p. 18)

A partir dessa correlação, foram destacadas para o presente estudo as seguintes variáveis de interesse: aceleração média ( $am_j$ ) e valor da dose de vibração (VDV<sub>j</sub>). Segundo a Fundacentro (2013), são essas as definições de cada grandeza:

*Aceleração média* ( $am_j$ ): raiz média quadrática dos diversos valores da *aceleração instantânea* ocorridos em um período de medição, expressa em  $m/s^2$ , na direção “j”, definida pela expressão que segue:

$$am_j = \left\{ \frac{1}{t_2 - t_1} * \int_{t_1}^{t_2} a_j^2(t) dt \right\}^{\frac{1}{2}} \quad [m/s^2] \quad (1)$$

Sendo que  $a_j(t)$  corresponde aos valores  $a_x(t)$ ,  $a_y(t)$  ou  $a_z(t)$ , em  $m/s^2$ , segundo os eixos ortogonais x, y e z, respectivamente, e  $t_2 - t_1$  ao intervalo de medição. (FUNDACENTRO, 2013, p. 13)

Com esses valores, a partir da soma dos quadrados da aceleração de cada componente, obtém-se a vibração total  $a_v$  (ISO 2631:1997) ou  $am_r$  (NHO 09), em  $m/s^2$ , conforme equação a seguir:

$$am_r = \sqrt{am_x^2 + am_y^2 + am_z^2} \quad [m/s^2] \quad (2)$$

Segundo descreve Carvalho (2019), de uso exclusivo para VCI, o VDV é determinado na direção “j”, correspondente aos eixos ortogonais “x”, “y” ou “z”. Possui a mesma sigla e significância na ISO 2361-1 (*value dose value - VDV*). A NHO 09 assim a define:

Valor da dose de vibração (VDV<sub>j</sub>): corresponde ao valor obtido a partir do método de dose de vibração à quarta potência determinado na direção “j”, sendo que “corresponde aos eixos ortogonais “x”, “y” ou “z”, expresso em  $m/s^{1,75}$ , definido pela expressão que segue:

$$VDV_j = \sqrt[4]{\int_0^t [a_j(t)]^4 dt} \quad [m/s^{1,75}] \quad (3)$$

Sendo:

$a_j(t)$  = aceleração instantânea ponderada em frequência;

t = tempo de duração da medição. (Fundacentro, 2013, p. 16)

Para a mensuração de eventos nos quais se constate a ocorrência de choques ou solavancos significativos na exposição, o VDV adquire maior importância (FUNDACENTRO, 2013). Os eixos de referência para todos os cálculos são os prescritos na ISO 2631-1:1997, para a posição deitada, conforme a Figura 2:

**Figura 2** – Eixos de direção adotados para medição



Fonte: adaptada de ISO 2631-1:1997.

Após mensuração, os dados foram tratados por meio do software MatLab®, versão 2022. Foi feito o levantamento de curvas de frequência por aceleração sofrida, definição dos valores de aceleração *rms* ponderada pela frequência e VDV, em cada eixo, para os três tipos de aeronave e viatura terrestre.

Foram coletados dados do sensor instalado na base da incubadora, para estudos futuros. Foram estabelecidas etapas de voo como parametrização para o presente trabalho, sendo descritas na próxima subseção.

## 2.4 Descrição das medições e classificação das etapas de interesse

Considerando as diferentes fases do voo pelas quais há variação do tipo da dinâmica do movimento aplicada sobre o modelo, a mensuração foi dividida em etapas, a fim de que possa ser repetido e reavaliado, para validação ou não dos dados.

As etapas dos voos foram iguais para os dois tipos de helicóptero e apresentaram diferenciação para o avião, considerando as peculiaridades de cada tipo de aeronave. Para os helicópteros, foram mensuradas 4 etapas, com 150 segundos para cada: voo pairado dentro do efeito solo; voo em subida a 500 pés por minuto (2,54 m/s); voo nivelado; e voo em descida a 500 pés por minuto (2,54 m/s) até o pouso.

Para o avião, a divisão foi feita em 3 etapas, com 150 segundos para cada: decolagem e subida (conforme condições de voo); voo reto/nivelado; e descida e pouso.

Para o transporte terrestre, foram mensuradas as acelerações sob os mesmos parâmetros da norma ( $a_{m,r}$  e VDV), com percurso de 10,7 quilômetros, do aeroporto Carlos Drummond de Andrade (SBBH) até a porta de entrada do Hospital João XXIII. Esse trajeto

representa um atendimento típico do CBMMG, pois esse hospital representa o principal destino de pacientes neonatos para a corporação, conforme apontado em MINAS GERAIS (2022b).

A próxima seção apresenta os dados apurados das medições feitas, por meio das equações e ferramentas de cálculo citadas.

### **3 RESULTADOS**

Os resultados são apresentados de forma condensada na Tabela 1, com as medidas das acelerações ponderadas em frequência (am) e VDV em cada eixo, por aeronave e viatura terrestre.

**Tabela 1** – Medidas da aceleração média e valor de dose de vibração nas aeronaves do SAAV e viatura de transporte terrestre, de agosto a setembro de 2022

<b>Helicóptero monomotor modelo H350/AS 350 B2 (Esquilo)</b>								
Etapa do voo	acelerações por eixo (x, y,z) <sup>(1)</sup>				Valor de dose de vibração por eixo (x,y,z) <sup>(2)</sup>			
	am <sub>x</sub>	am <sub>y</sub>	am <sub>z</sub>	am <sub>r</sub>	VDV <sub>x</sub>	VDV <sub>y</sub>	VDV <sub>z</sub>	VDV <sub>xyz</sub>
voo pairado	0,82	0,41	0,88	1,27	3,78	1,85	4,17	6,68
voo em subida	1,02	0,39	1,21	1,63	4,58	1,65	5,50	8,53
voo nivelado	1,28	0,45	1,61	2,11	6,01	2,05	7,56	11,53
voo em descida e pouso	1,38	0,45	1,52	2,10	6,59	2,09	6,97	11,50
<b>Helicóptero bimotor, modelo BK 117C2 (EC145)</b>								
Etapa do voo	acelerações por eixo (x, y,z) <sup>(1)</sup>				Valor de dose de vibração por eixo (x,y,z) <sup>(2)</sup>			
	am <sub>x</sub>	am <sub>y</sub>	am <sub>z</sub>	am <sub>r</sub>	VDV <sub>x</sub>	VDV <sub>y</sub>	VDV <sub>z</sub>	VDV <sub>xyz</sub>
voo pairado	0,62	0,37	0,46	0,86	2,21	1,28	1,63	3,37
voo em subida	0,63	0,35	0,62	0,95	3,41	1,93	3,27	5,64
voo nivelado	0,72	0,53	0,85	1,23	3,37	2,82	3,95	6,43
voo em descida e pouso	0,80	0,48	0,71	1,18	3,62	2,40	3,08	5,85
<b>Avião monomotor, modelo C208 (Grand Caravan EX)</b>								
Etapa do voo	acelerações por eixo (x, y,z) <sup>(1)</sup>				Valor de dose de vibração por eixo (x,y,z) <sup>(2)</sup>			
	am <sub>x</sub>	am <sub>y</sub>	am <sub>z</sub>	am <sub>r</sub>	VDV <sub>x</sub>	VDV <sub>y</sub>	VDV <sub>z</sub>	VDV <sub>xyz</sub>
Decolagem e subida	2,13	0,45	2,20	3,09	12,35	3,26	12,30	20,54
voo nivelado	1,26	0,28	1,34	1,86	6,63	1,97	6,86	11,24
voo em descida e pouso	1,77	0,43	1,77	2,54	11,23	3,51	10,81	18,40
<b>Transporte terrestre: veículo tipo furgão, modelo Iveco Daily (Fiat)</b>								
Deslocamento 10,7 km	acelerações por eixo (x, y,z) <sup>(1)</sup>				Valor de dose de vibração por eixo (x,y,z) <sup>(2)</sup>			
	am <sub>x</sub>	am <sub>y</sub>	am <sub>z</sub>	am <sub>r</sub>	VDV <sub>x</sub>	VDV <sub>y</sub>	VDV <sub>z</sub>	VDV <sub>xyz</sub>
	2,16	1,25	1,96	3,17	15,91	9,35	14,21	25,82

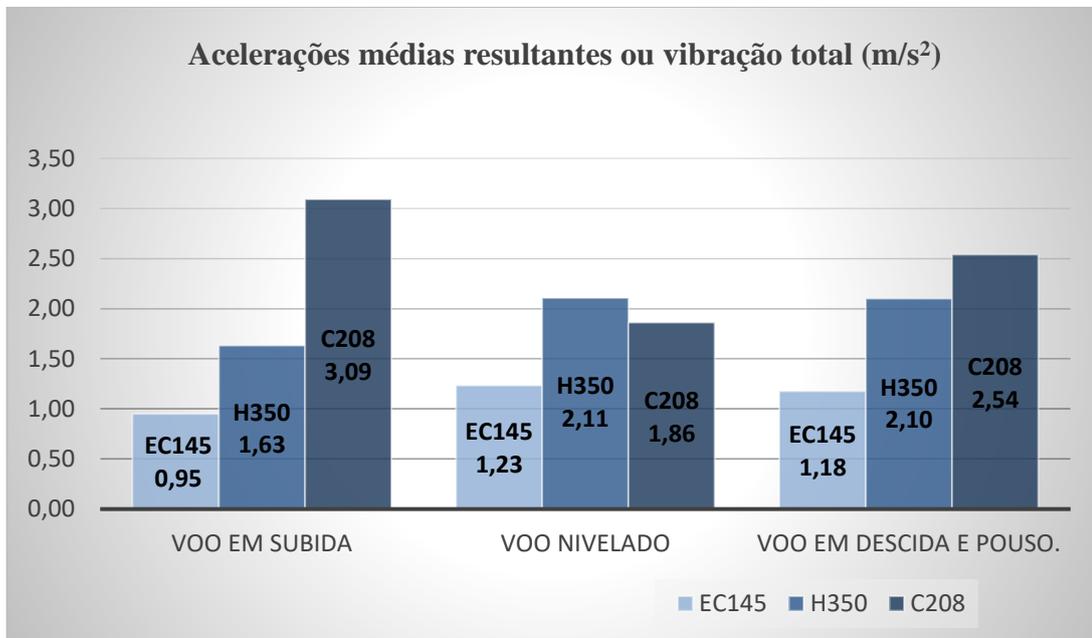
(1) Dados em m/s<sup>2</sup>

(2) Dados em m/s<sup>1,75</sup>

Fonte: elaborado pelos autores.

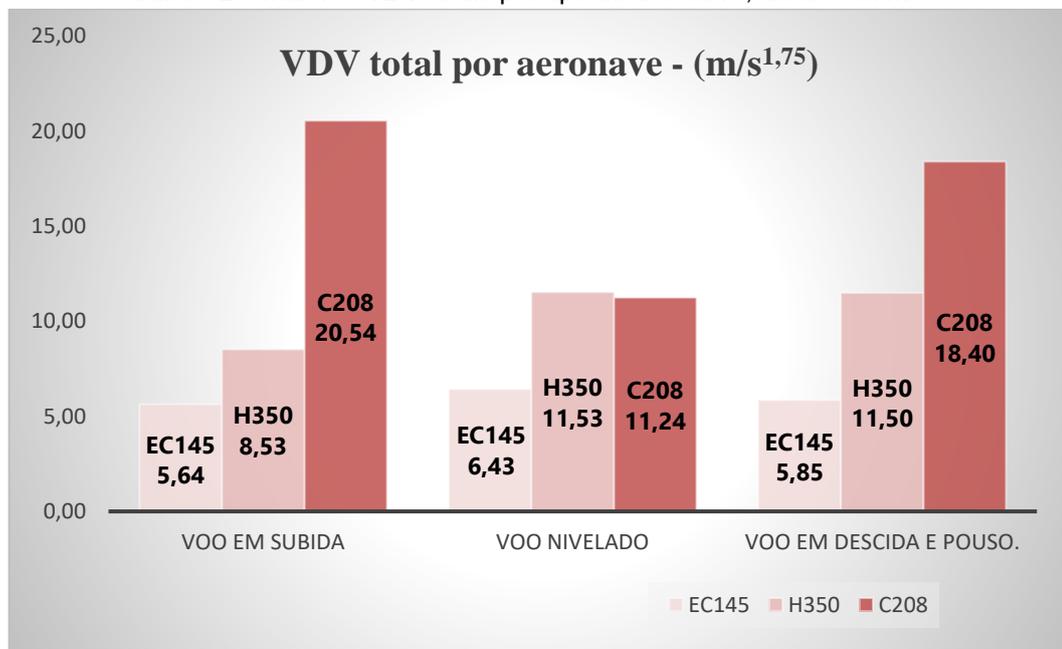
Para comparação entre os tipos de aeronave, os maiores valores encontrados foram destacados nos Gráficos 1 e 2, que denotam a diferença entre cada tipo. A viatura terrestre não foi contemplada em razão da diferente parametrização das etapas típicas das aeronaves.

**Gráfico 1** – Acelerações médias resultantes ( $a_{m,r}$ ) por tipo de aeronave, dadas em  $m/s^2$



Fonte: elaborado pelos autores.

**Gráfico 2** – Maiores VDV totais por tipo de aeronave, dados em  $m/s^{1,75}$



Fonte: elaborado pelos autores.

## 4 DISCUSSÃO

### 4.1 Aplicabilidade das normas sobre insalubridade laboral

As VCI têm seu efeito sobre o corpo humano reconhecido em estudos, resultando em normas sobre limites para insalubridade. Entretanto, essas normas apresentam seu aspecto voltado essencialmente para a questão ocupacional.

Sousa (2021) realizou uma revisão sobre como as normas e estudos a respeito das VCI são tratadas em todo mundo e no Brasil. O autor aponta, sobre os estudos epidemiológicos, que possui sua vertente ligada de forma restrita aos problemas de saúde laboral ou ocupacional.

Fica evidenciado por Sousa (2021) que as diretivas europeias (2002/44/EU), a norma ISO 2631-1:1997 e os padrões da ACGIH (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists*) têm seu foco na saúde do trabalhador ou da sua capacidade laboral frente ao evento físico da vibração, com a definição dos limites de exposição.

Como exemplo, o texto introdutório da ISO 2631-1:1997 indica que seu escopo de aplicação é definir métodos para quantificar a VCI em relação à saúde e ao conforto humano; a percepção de vibração e a incidência de enjoo de movimento.

Segundo Griffin (1996, apud Balbinot 2001), investigar as vibrações é determinar aspectos e detalhar o movimento. A análise pode fornecer informações suficientes que permitam a identificação das causas da vibração e, por consequência, se possível, sua redução.

Na busca por posicionar a presente pesquisa nesse contexto de estudos e normas, procurou-se determinar aspectos e dimensionar o transporte aeromédico dos pacientes neonatos. Goswami *et al.* (2020) levantam grandes preocupações sobre o grau de exposição do neonato doente a estressores físicos estacionários e impulsivos durante o transporte, apesar das equipes especializadas e meios de transporte modernos. Esses autores ainda indicam que uma avaliação do estresse durante o transporte é altamente desejável, mas requer uma melhor compreensão dos efeitos fisiopatológicos do transporte em recém-nascidos. Esforços devem ser feitos continuamente para reduzir os estressores físicos e aumentar a segurança do transporte neonatal.

Em complemento, Karlsson *et al.* (2012) indicam que pacientes que se submetem à transferência inter-hospitalar apresentam aumento da mortalidade relativa, variando de 10% a 100% maior do que os não transferidos. O alto custo, o aumento do risco de complicações e os maus resultados desses pacientes justificam o exame crítico das causas potenciais. Um

dos principais motivos pode ser os estressores externos aos quais os pacientes são expostos durante o transporte médico.

A fim de seguir a mesma linha adotada pelas normas sobre insalubridade, o presente estudo apresenta as VCI sobre o paciente neonato sob as variáveis da aceleração ponderada em frequência,  $am_r$ , e a vibração total,  $am_r$ . E, considerando os aspectos específicos do transporte, visando relevar os eventos impulsivos ou intermitentes (choques eventuais, superação de inércia, curvas, turbulência), a variável VDV foi também quantificada e apresentada em cada eixo e destacada em seu valor acumulado ou total.

A diferença do ponto de vista matemático é que no VDV, o valor de aceleração é calculado para elevação à quarta potência. Diferentemente da aceleração ponderada em frequência resultante -  $am_r$ , ao VDV não é aplicado uma média, sendo, portanto, cumulativo. Valores mais altos são mais enfatizados nessas circunstâncias (DE SOUSA, 2021).

Conforme reforça Griffin (1996), o VDV é oferecido como um método robusto em avaliar a gravidade de todos os movimentos (determinísticos ou aleatórios, estacionários ou não estacionários, transitórios ou choques) que estão acima do limiar de percepção e se enquadram na faixa de frequência do método de análise.

No tocante aos demais parâmetros existentes nas normas sobre insalubridade pela vibração, encontram-se as grandezas que buscam parametrizar se determinado período de exposição trará prejuízo ou desconforto. O cálculo previsto faz a equivalência do tempo de exposição ao tempo padrão de trabalho - oito horas.

No entanto, é dado que o paciente neonato, caso venha a ser transportado novamente, terá modificações físicas importantes nas interações com o meio (mudança de massa e rigidez), alterando sua frequência natural. Logo, não cabe aplicar as variáveis que parametrizam o evento medido a uma jornada de exposição padronizada.

## 4.2 Valores alcançados nas medições em cada aeronave e viatura terrestre

Dos valores demonstrados na Tabela 1, extrai-se que, para o helicóptero H350 (Esquilo), em todas as etapas de voo consideradas, o eixo “z” (sentido da mandíbula ao osso frontal do crânio) é o que apresenta maior valor. Assim como para o VDV, o eixo “z” acumula maior relevância.

Há que se ressaltar que o eixo “x” (sentido da nuca para o nariz) tem valores similares, denotando que as manobras de decolagem e pouso são incrementadoras de vibração, dada a dinâmica da ruptura da inércia.

Quanto aos valores para o helicóptero bimotor BK117C2 (EC145), denota-se comportamento similar ao do helicóptero monomotor. Possivelmente pela similaridade das reações físicas. A diferença notável entre os dois helicópteros fica para os valores menores encontrados no helicóptero bimotor. Para o eixo “z” encontra-se uma redução média de 97,4% para a aceleração média e de 110,3% para o VDV, a favor do helicóptero bimotor avaliado.

Para o avião monomotor modelo C208 (Grand Caravan EX), os valores se destacam para a sua etapa de voo “decolagem e subida”, com diferenciação a mais em relação aos helicópteros. Considerando o evento da decolagem, com a ruptura da inércia em velocidade zero para a velocidade que o avião necessita para decolar, restou demonstrada a influência do evento na cabeça do corpo de prova. Nas demais fases, o avião monomotor avaliado assemelha-se ao helicóptero monomotor, ficando ambos com vibrações totais superiores ao helicóptero bimotor.

O dado de maior relevância para o avião fica evidenciado pelos valores de VDV encontrados, em relação às outras aeronaves. As acelerações e desacelerações do avião na decolagem e pouso, respectivamente, puderam ser medidas e mostradas com maior clareza na variável VDV, uma vez que ela se presta a isso (eventos determinísticos ou aleatórios, estacionários ou não estacionários, transitórios ou choques).

A Tabela 1 trouxe ainda a medição em um percurso terrestre típico da ambulância tipo furgão, do aeroporto até o hospital. Os valores demonstram que a fase terrestre do avião (decolagem e pouso) aproxima-se da ambulância terrestre.

Fora essa aproximação, pela similaridade do evento (contato pneu com a superfície), tem-se valores de acelerações maiores do que no modal aéreo e o VDV se destaca, considerando os eventos súbitos – acelerações e desacelerações – aos quais o VDV é sensível, mostrando-se presentes com maior recorrência no transporte terrestre.

São estimados que os valores terrestres medidos para VDV são 40,28% superiores aos do avião; 124,53% mais elevados do que do helicóptero monomotor e 341,06% maiores do que do helicóptero bimotor.

### **4.3 Perfil do transporte aéreo em contraponto ao transporte terrestre em relação às VCI**

Em seus estudos, Goswami *et al.* (2020) descrevem que as transferências de ambulância terrestre são caracterizadas por sucessivos eventos dinâmicos, enquanto as transferências de helicóptero têm vibrações globais de corpo inteiro e ruído mais alto, geralmente com um início gradual e previsível.

O transporte por avião determina a existência de pistas de pouso que, em regra, estão distantes do destino do paciente, ensejando o transporte por via terrestre. O helicóptero permite a redução ou eliminação dessa distância, cabendo a consideração dessa diferença.

O aumento da vibração total ( $am_r$ ) e VDV entre os dois tipos de transporte terrestre e aéreo corroboram com a relevância dessa consideração.

A Tabela 2 traz uma amostra dos atendimentos realizados pelo SAAV (53,3%), no período de 2017 a 2021 (MINAS GERAIS, 2022b), de pacientes neonatos transportados, constando as cidades de origem, as distâncias entre o hospital e os locais de pouso, tanto para avião (pistas de pouso) quanto para helicópteros (áreas de pouso viáveis mais próximas do hospital).

Não foram consideradas, na Tabela 2, a distância do local de pouso no destino até o hospital de destino, o que implica que a grandeza “Diferença”, apresentada na última coluna, estará abaixo do valor real.

**Tabela 2** – Principais localidades atendidas pelo SAAV, nos transportes de neonatos, com as distâncias entre os locais de pouso e os hospitais de origem e a diferença entre cada aeronave, de 2017 a 2021.

Município Atendido	Distâncias terrestre do local de pouso ao hospital (km)		
	Avião <sup>(1)</sup>	Helicóptero <sup>(2)</sup>	Diferença <sup>(3)</sup>
Montes Claros	8	1,6	6,4
Governador Valadares	6,9	1,7	5,2
Taiobeiras	6	0,7	5,3
Patos de Minas	11,5	0,6	10,9
Uberaba	5,2	0,3	4,9
Belo Horizonte	10,7	0	10,7
Passos	8	0,8	7,2
Teófilo Otoni	5,7	1,1	4,6
Ubá	8,7	0,2	8,5
Brasília de Minas	8,6	0,2	8,4
Janaúba	8,3	0,2	8,1
Capelinha	3,9	3,9	0
Paracatu	3,6	1,1	2,5
Pirapora	19,5	0,2	19,3
Juiz de Fora	9,5	0,6	8,9

(1) Distância do aeroporto ou pista mais próxima ao hospital.

(2) Distância do ponto de pouso possível para o helicóptero mais próximo ao hospital.

(3) Diferença entre as distâncias que a viatura terrestre de apoio deverá percorrer para o avião e helicóptero.

Fonte: elaborado pelos autores.

Evidencia-se que ao serviço de transporte aeromédico feito por avião deve ser somada a carga de vibração total ( $am_r$ ) e valor de dose de vibração (VDV), oriundas do transporte terrestre, indissociável ao caso.

Diferente do helicóptero, que pode pousar em helipontos disponíveis nos hospitais ou mesmo em áreas não homologadas, mas viáveis ao pouso, como estacionamentos e áreas livres, ao avião não se permite o pouso fora de pista, o que determina o modal terrestre em todos os transportes por ele realizados.

#### **4.4 Aplicabilidade das medições na qualidade do transporte aeromédico de paciente neonato**

A qualificação dos efeitos da VCI sobre a saúde do paciente neonato depende do isolamento das variáveis envolvidas no processo. Isso porque, dada a condição sensível de saúde e do tipo de paciente, outras intervenções presentes no cuidado e manejo podem provocar danos maiores e mais significativos do que as VCI.

Nessa linha de raciocínio, Alvarado-Socarras *et al.* (2016) realizaram um estudo, na Colômbia, com a descrição das variáveis a serem consideradas a respeito da sobrevivência de neonatos transportados e sua possível relação com os efeitos do transporte. Nesse estudo ficou estabelecido que, para se chegar a uma relação de causa-efeito entre o transporte e a sobrevivência dos pacientes, variáveis deveriam ser consideradas. Dados e informações clínicas e sociodemográficas, com complementação das variáveis clínicas: idade gestacional (semanas), peso (g), sexo (masculino/feminino), índice de Apgar, frequência cardíaca (batidas/minuto), pressão arterial (mmHg) e estado ácido-básico (pH) no momento da internação.

Outras variáveis avaliadas foram defeitos congênitos, cardiopatias, hemorragia cerebral, falência renal e grau de gravidade após o transporte de acordo com o Índice de Risco da Estabilidade Fisiológica no Transporte (TRIPS). Esses dados foram obtidos das análises feitas no hospital (ALVARADO-SOCARRAS *et al.*, 2016).

Alvarado-Socarras *et al.* (2016) destacaram que se tratou de um estudo observacional, podendo conter resultados enviesados, pois as variáveis clínicas e terapêuticas associadas ao cuidado intra-hospitalar não foram incluídas. Além disso, não foram avaliados quadros clínicos no local de origem. Isso impediu que fosse determinada a deterioração nas condições durante o transporte.

Para qualificar se as VCI são fator deletério significativo, as variáveis clínicas e ambientais devem ser controladas, com isolamento do evento. Nesse aspecto, o presente estudo não abarcou tal metodologia.

Um estudo oportuno seria a visualização do estado do cérebro, por meio de exames de imagem ultrassônica transfontanelar em momento anterior e posterior ao transporte, possibilitando associações de causa e efeito do evento ao surgimento de possíveis hemorragias.

Apesar dessa limitação, há que atentar-se para a existência do fenômeno físico da ressonância, sendo necessário definir se tal evento está ocorrendo. A normativa já existente, a qual regula questões de insalubridade, considera esse fenômeno para várias estruturas do corpo humano, como a coluna vertebral (ISO 2631-1:1997).

O potencial prejuízo físico é ampliado em uma estrutura mais frágil e importante, como o cérebro. Dadas as condições clínicas limítrofes do paciente neonato, um evento ressonante pode causar hemorragias importantes, como a HPIV.

Para tanto, o presente estudo apresentou as vibrações externas que atuam no interior da cabeça do paciente neonato para cada tipo de aeronave utilizada pelo SAAV/CBMMG. A partir desse conhecimento, será possível dimensionar a possibilidade de ressonâncias, com o conhecimento da frequência natural da estrutura de interesse.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O nível de vibração foi dimensionado no interior da cabeça de um paciente neonato, para cada tipo de aeronave utilizada pelo CBMMG, no serviço do SAAV, tendo como referência a ISO 2631-1:1997. Foram utilizadas as acelerações ponderadas em frequência e VDV.

Com a realização dos voos de medição e tratamento dos dados, foi possível responder ao problema proposto: a aeronave de asa rotativa apresenta menor vibração de corpo inteiro nos transportes de pacientes neonatos no CBMMG.

Em expansão a essa resposta, pode-se afirmar que o helicóptero bimotor possui a menor vibração de corpo inteiro, em comparação aos demais meios: helicóptero monomotor, avião monomotor e transporte terrestre.

Os objetivos específicos foram atingidos, as VCI foram mensuradas em um corpo de prova sintético, nos três modelos de aeronaves utilizadas pelo CBMMG, e em uma ambulância terrestre, tipo furgão, utilizada pela corporação, sendo feita a comparação dos resultados. Com isso, o objetivo geral foi alcançado, o helicóptero bimotor, modelo BK117C2 (EC145), é

a aeronave que apresenta menor VCI aos pacientes neonatos transportados. Logo, a hipótese levantada não foi confirmada, apresentando a aeronave de asa fixa (avião) vibração maior do que aquelas de asas rotativas (helicópteros).

Além disso, dada a mensuração das vibrações em um veículo terrestre, foram validados estudos similares que comparam o nível de vibração entre o meio de transporte aéreo e terrestre. Foi verificado que os níveis de vibração no meio terrestre excedem o aéreo, com destaque para eventos transitórios, revelados pela medição do valor de dose de vibração, também mais elevados no transporte terrestre em relação ao transporte aéreo.

Para ampliação do conhecimento, com vistas a qualificar as VCI no transporte dos pacientes neonatos, recomenda-se como estudos futuros a definição da vibração natural do cérebro e a definição da relação causa e efeito do transporte aeromédico e das hemorragias cerebrais mais comuns. Além disso, sugere-se avaliar o nível de transmissibilidade de vibração da incubadora (cabeça do neonato/base da incubadora) para possíveis melhorias de absorção da vibração.

## REFERÊNCIAS

- ALVARADO-SOCARRAS, Jorge Luis; IDROVO, Álvaro Javier; BERMON, Anderson. Hospital survival upon discharge of ill-neonates transported by ground or air ambulance to a tertiary center. **Jornal de Pediatria** (Versão em Português), v. 92, n. 3, p. 276-282, 2016.
- BALBINOT, Alexandre. **Caracterização dos níveis de vibração em motoristas de ônibus: um enfoque no conforto e na saúde**. 2001. Tese de doutorado, UFRGS. 311p.
- BLAXTER, Laurence, et al. Neonatal head and torso vibration exposure during inter-hospital transfer. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: **Journal of Engineering in Medicine**, 2017, 231.2: 99-113.
- BOUCHUT, Jean-Christophe et al. Physical stressors during neonatal transport: helicopter compared with ground ambulance. **Air medical journal**, v. 30, n. 3, p. 134-139, 2011.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Ações Programáticas Estratégicas. **Atenção à saúde do recém-nascido: guia para os profissionais de saúde** / Ministério da Saúde, Secretaria de Atenção à Saúde, Departamento de Ações Programáticas Estratégicas. – 2. ed. atual. – Brasília: Ministério da Saúde, 2014.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 15 - Atividades e Operações Insalubres**. Segurança e medicina do trabalho. Atualizada pelo Portaria MTP n.º 806, de 13 de abril de 2022.

BROWNING, Jake et al. Vibration issues of neonatal incubators during in-hospital transport. **Journal of Clinical Engineering**, v. 33, n. 2, p. 74-77, 2008.

CAMPBELL, Alastair N., et al. Mechanical vibration and sound levels experienced in neonatal transport. **American journal of diseases of children**, 1984, 138.10: 967-970.

CARVALHO, Felipe Baffi de. **Estudo da vibração ocupacional de corpo inteiro em pedreiras na região metropolitana de São Paulo**. 2019. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo. 119p.

CONSELHO FEDERAL DE MEDICINA (CFM). **Resolução 1.672 de 29 de julho de 2003**: dispõe sobre o transporte interhospitalar de pacientes e dá outras providências. Disponível em: [https://sistemas.cfm.org.br/normas/arquivos/resolucoes/BR/2003/1672\\_2003.pdf](https://sistemas.cfm.org.br/normas/arquivos/resolucoes/BR/2003/1672_2003.pdf). Acesso em: 10 abr. 2022.

DIEHL, Beth C. Neonatal transport: current trends and practices. **Critical Care Nursing Clinics**, v. 30, n. 4, p. 597-606, 2018.

FUNDACENTRO. **Norma de Higiene Ocupacional nº09**: avaliação da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro: procedimento técnico. São Paulo: Fundacentro, 2013.

GAJENDRAGADKAR, Gargi et al. Mechanical vibration in neonatal transport: a randomized study of different mattresses. **Journal of Perinatology**, v. 20, n. 5, p. 307-310, 2000.

GOSWAMI, I. et al. Whole-body vibration in neonatal transport: A review of current knowledge and future research challenges. **Early Human Development**, v. 146, p. 105051, 2020.

GRIFFIN, M. J. Handbook of human vibration. **The Journal of the Acoustical Society of America** **90**, 2213 (1996). DOI: 10.1121/1.401606.

ISO 2631. **Mechanical vibration and shock — Evaluation of human exposure to whole-body vibration — Part 1: General requirements — Amendment 1**. International Organization for Standardization. 2ª edição, 1.997.

KALOUTSAKIS, Georgios, et al. **Design and evaluation of a multi-sensor unit for measuring physiological stressors of medical transport**. In: ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition. American Society of Mechanical Engineers, 2013. p. V03BT03A054. <https://doi.org/10.1115/IMECE2013-65435>.

KARLSSON, Björn-Markus et al. Sound and vibration: effects on infants' heart rate and heart rate variability during neonatal transport. **Acta paediatrica**, v. 101, n. 2, p. 148-154, 2012.

LENT, R. et al. How many neurons do you have? Some dogmas of quantitative neuroscience under revision. **European Journal of Neuroscience**. v 35. n. 1. jan. 2012.

MACNAB, A. et al. Vibration and noise in pediatric emergency transport vehicles: a potential cause of morbidity? **Aviation, space, and environmental medicine**, v. 66, n. 3, p. 212-219, 1995.

MINAS GERAIS. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais, Batalhão de Operações Aéreas. **Plataforma MySky - controle estatístico**. Belo Horizonte, 2022b.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Justiça e Segurança Pública (SEJUSP). Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. Anuário. **Anuário Estatístico 2021**. Belo Horizonte, v. 14, 2022a.

MISAEL, M. R. **Conforto Humano aos Níveis de Vibração**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais. (2001).

MOHAMED, Mohamed A.; ALY, Hany. Transport of premature infants is associated with increased risk for intraventricular haemorrhage. **Archives of Disease in Childhood-Fetal and Neonatal Edition**, v. 95, n. 6, p. F403-F407, 2010.

PREHN, J. et al. Decreasing sound and vibration during ground transport of infants with very low birth weight. **Journal of perinatology**, v. 35, n. 2, p. 110-114, 2015.

RAO, Singiresu S.; **Vibrações Mecânicas**. 4ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008. 424p.

SHENAI, Jayant P.; JOHNSON, Glen E.; VARNEY, R. Victor. Mechanical Vibration in neonatal transport. **Pediatrics**, v. 68, n. 1, p. 55-57, 1981.

SHERWOOD, H. Beth; DONZE, Ann; GIEBE, Jeanne. Mechanical vibration in ambulance transport. **Journal of Obstetric, Gynecologic, & Neonatal Nursing**, v. 23, n. 6, p. 457-463, 1994.

SILVEIRA, Rita C.; PROCIANOY, Renato S. Lesões isquêmicas cerebrais no recém-nascido pré-termo de muito baixo peso. **Jornal de Pediatria**, v. 81, p. S23-S32, 2005.

SOUSA, Valdiney Camargos de. Limites de vibração de corpo inteiro no mundo. **Laborare**, v. 4, n. 7, p. 94-116, 2021.