



Alterações fisiológicas no corpo humano no ambiente de microgravidade

Bruno Leonardo Carvalho Peixoto

RESUMO

Introdução: Os seres humanos vem evoluindo de forma exponencial, contudo, as facetas dessa evolução ocorrem em tempos independentes apesar de estarem intrinsecamente ligados, como por exemplo a evolução tecnológica que nos permitiu evoluir de tal modo que a própria evolução biológica humana tornou-se irrelevante para o padrão de vida do ser humano moderno, o ser humano vem se desenvolvendo tecnologicamente de forma muito rápida, permitindo que possamos idealizar viagens interplanetárias, exploração de recursos minerais de asteroides que passam próximos à órbita terrestre até mesmo a terra formação de outros planetas. Portanto, nesse contexto, é possível identificar um padrão que mostra sobre uma maior necessidade do ser humano em realizar viagens espaciais com maior frequência e por mais tempo, o que implica também numa maior exposição aos riscos e malefícios que esse meio pode oferecer. **Objetivo:** Evidenciar as alterações fisiológicas no corpo humano proveniente da longa exposição ao ambiente de microgravidade. **Métodos:** O referente estudo trata-se de uma revisão de literatura do tipo revisão sistemática, onde foram utilizados como base de busca as seguintes plataformas: SciELO; LILACS; PubMed; Medline; ScienceDirect; Cochrane Controlled Trials Database; New England Journal of Medicine; CORE; Circulation e Springer. **Resultados:** Foram encontrados 18 estudos relevantes através das bases de dados SciELO; LILACS; PubMed; Medline; ScienceDirect; Cochrane Controlled Trials Database; New England Journal of Medicine; CORE; Circulation e Springer. Dentre estes 13 estudos foram elegíveis, visto que todos os estudos abordaram pelo menos um dos critérios de inclusão. **Conclusão:** Conclui-se que existe uma escassez de estudos nessa temática, isso devido a uma série de dificuldades, desde a sua aplicabilidade, coleta, custo e controle. Porém os poucos estudos encontrados são unânimes quanto às alterações fisiológicas no corpo humano e como essas impactam diretamente na saúde dos mesmos.

Palavras-chave: Ausência de peso, Astronautas, Microgravidade, Voo espacial, Evolução biológica, Seleção natural.

1 INTRODUÇÃO

Os seres humanos vem evoluindo de forma exponencial, contudo, as facetas dessa evolução ocorrem em tempos independentes apesar de estarem intrinsecamente ligados, como por exemplo a evolução tecnológica que nos permitiu evoluir de tal modo que a própria evolução biológica humana tornou-se irrelevante para o padrão de vida do ser humano moderno, alguns autores creem numa recente estagnação do processo evolutivo biológico humano: “Tem sido argumentado que a evolução humana parou porque os humanos agora se adaptam ao seu ambiente por meio da evolução cultural e não da evolução biológica” (ALAN, 2010, p.1).

Segundo o especialista Gould Stephen Jay: “Não houve mudança biológica em humanos em 40.000 ou 50.000 anos. Tudo que chamamos de cultura e civilização, construímos com o mesmo corpo e cérebro”.

Todos os aproximadamente 3,5 a 4 milhões de anos do processo evolutivo humano, segundo o modelo neodarwiniano, se deu na terra, e portanto, ocorreu de forma a obedecer as leis da física terrestre.



Teoria da Evolução afirma que é o ambiente, por meio de seleção natural, que determina a importância da característica do indivíduo ou de suas variações, e os organismos mais bem adaptados a esse ambiente têm maiores chances de sobrevivência, deixando um número maior de descendentes. Os organismos mais bem adaptados são, portanto, selecionados pelo ambiente e, assim, ao longo das gerações a atuação da seleção natural mantém ou melhora o grau de adaptação dos organismos, fixando suas características no ambiente. (FERNANDES, 2018, p. 1).

Isto é, o ser humano poderia não estar apto a adaptação e evolução num ambiente onde as condições evolutivas diferem das que nos foram impostas na terra (nutrição, clima, gravidade), o que nos leva a um impasse, o ser humano vem se desenvolvendo tecnologicamente de forma muito rápida, permitindo que possamos idealizar viagens interplanetárias, exploração de recursos minerais de asteroides que passam próximos à órbita terrestre até mesmo a terra formação de outros planetas, todos esses respaldados por uma base teórico científica. Portanto é possível identificar um padrão que diz sobre uma maior necessidade do ser humano em realizar viagens espaciais com maior frequência e por mais tempo, o que implica também numa maior exposição aos riscos e malefícios que esse meio pode oferecer.

Já é possível identificar os danos ao corpo humano quando exposto ao ambiente de microgravidade e como essas alterações progridem caso a exposição perdure, dentre as alterações ocorridas no corpo humano associados ao ambiente de microgravidade podemos citar os seguintes sistemas: cardiovascular, ósseo, muscular, vestibular, óptico, imunológico e circulatório.

A reabilitação desses pacientes após longa exposição ao um meio tão inóspito pode ser lenta e demanda a atenção de toda a equipe multidisciplinar em saúde, tendo de forma importante a atuação da reabilitação fisioterapêutica no processo para restabelecer as funções básicas de propriocepção, marcha, equilíbrio e força que normalmente apresentam-se alterados frente a normogravidade pós exposição, além do condicionamento para novas viagens.

2 MICROGRAVIDADE E SEUS EFEITOS SISTÊMICOS

A microgravidade consiste na ausência total ou quase totalmente do peso do corpo, a mesma também pode ser reproduzida em testes subaquáticos na terra tornando mais barato e reprodutível o processo de estudo dos seus efeitos no ser humano, praticamente todo contexto de vida que entendemos hoje evoluiu sob os efeitos da gravidade terrestre e com os recentes avanços tecnológicos, passamos a expor com maior frequência a fisiologia humana as alterações causadas pelo ambiente de microgravidade.

É importante frisar que apesar do referente estudo tratar das alterações voltadas a fisiologia humana, as alterações encontradas em outros animais ou organismos mais complexos eram muito semelhantes a do ser humano a ponto de serem comparadas, compreende-se que outros animais também estariam suscetíveis às alterações da microgravidade, pois estes, também evoluíram sob os efeitos da normogravidade terrestre,



salvo, alguns tipos de fungos que aparentavam se reproduzir e disseminar com mais facilidade no ambiente de estações espaciais (SUGITA, 2016, apud GILKE, 2019, p.2).

2.1 SISTEMA CARDIOVASCULAR E CIRCULATÓRIO:

Existe uma série de complicações associadas ao sistema cardíaco, alterações hidrostáticas e má ingestão de componentes essenciais para o funcionamento correto das estruturas cardiovasculares durante o voo espacial de longa duração.

Na microgravidade, o coração e os vasos sanguíneos são aliviados das forças hidrostáticas exercidas sobre eles pelo sangue. O coração torna-se redondo, alterando potencialmente sua ação de bombeamento. O sangue não é mais puxado para os pés. O sangue bombeado pelo coração “flutua” para a frente e permanece na cabeça e na parte superior do tronco. Isso causa uma redistribuição de sangue e fluido intersticial em direção à parte superior do tronco alterando a forma física do corpo do astronauta, causando rosto inchado, veias do pescoço ingurgitadas, tórax dilatado e volume reduzido das pernas. (KANDARPA, 2019, p.2).

“Durante um estudo com 12 astronautas em 6 missões, foi descoberto que no voo espacial o coração dos astronautas apresentava taxas reduzidas, entretanto, é sugerido que essas reduções são associadas ao sistema cardiovascular operando com menor atividade simpática e resistência vascular no espaço.” (FRITSCH, 1996, apud BLABER, 2010, p.467).

A falta de gravidade está diretamente relacionada com a presença de alterações cardíacas como a hipotrofia e complicações no inotropismo, pré-carga e pós-carga, essas alterações vasculares aparentam estar associadas a microgravidade, que altera a morfologia do coração e a dinâmica dos fluidos envolvidos no processo, portanto, ocorre uma má perfusão de líquidos que se acumulam nos membros superiores e uma consequente falta do mesmo em membros inferiores, muito frequentemente astronautas que permaneceram muito tempo sob os efeitos da microgravidade apresentam, quando voltam a ser submetidos a gravidade terrestre, uma intolerância ortostática, isso ocorre devido a uma súbita inversão desses líquidos onde a maior parte do sangue que estava localizado na parte superior do tronco desce para as pernas podendo acarretar em desmaios, vertigens e vômitos (JAMES P. 2021. P.1533).

2.2 SISTEMA MUSCULOESQUELÉTICO

A perda de massa muscular e diminuição da densidade mineral óssea também acomete seres humanos nas condições terrestres, não ocorrendo de forma exclusiva no espaço.

De um modo geral, os tecidos biológicos respondem ao estresse mecânico oriundo de forças externas ao organismo, como a Força de Reação do Solo e a Gravidade modificando suas propriedades, entretanto, a ausência desse estímulo também induz a adaptações estruturais (MUELLER, 2002, p.2).



Compreende-se como tônus a capacidade que os músculos têm de permanecer em constante contração, essa propriedade é essencial para o controle do movimento e para que seja possível desempenhar função com os músculos, contudo, não é difícil de imaginar que os músculos ao serem expostos ao meio onde já não é necessário permanecer em constante contração para desempenhar atividades, que ocorra algumas adaptações, mesmo que essas não sejam necessariamente benéficas.

“A atividade funcional contrátil do músculo esquelético apresenta-se reduzida durante o processo de desuso muscular funcional acompanhada por uma redução de proteínas transportadoras de aminoácidos” (UDAKA, 2011. p.1080).

De modo associado, os músculos mantidos em desuso são metabolicamente favoráveis aos hormônios catabólicos, direcionando suas vias metabólicas para a perda de massa, redução de conteúdo proteico e produção de estresse oxidativo e/ou redução da defesa antioxidante” (FERREIRA, 2004).

“A perda da densidade óssea e atrofia músculo esquelética é resultante da não sustentação de peso sendo uma das principais preocupações associadas ao ambiente de microgravidade e ao descondicionamento de voos espaciais”. (NORMAN, 2000).

A atrofia pode ser contínua ou intermitente e, eventualmente progressivo até que um novo ponto de regulação homeostático é alcançado. Essas mudanças se manifestam na maneira como o corpo conserva e ativa os músculos e gerencia o cálcio e outros minerais que normalmente são armazenados no esqueleto. A perda de volume e força muscular corporal total causa diminuição da produção de força muscular e fadigabilidade muscular precoce. Paralelamente à atrofia muscular em músculos dependentes da gravidade e nos locais de inserção músculo-osso, a matriz óssea e o mineral ósseo são destruídos, levando a uma possível osteoporose e à perda de força óssea e ao aumento do risco de fratura óssea. O aumento da excreção urinária de cálcio e fósforo (constituintes minerais ósseos) pode aumentar o risco de cálculos renais ou desidratação com hipercalcemia. Essas consequências médicas da atrofia músculo-esquelética podem causar problemas de saúde aos membros da tripulação ou limitar o sucesso da missão espacial de exploração. (VICTOR, 2016).

O processo de perda da massa muscular e diminuição da densidade mineral óssea é potencializado ao máximo devido a falta de estímulos indispensáveis que regem seu processo de estruturação e manutenção, mesmo sabendo que os astronautas são submetidos a treinamentos físicos compostos por exercícios aeróbicos e de fortalecimento por no mínimo quatro horas diárias durante sua estadia na estação espacial internacional, além da baixa qualidade nutricional dos alimentos fornecidos aos astronautas devido ao processo de liofilização, que embora possua baixo teor nutricional é necessário para carregar e manter os suprimentos próprios para o consumo durante longos períodos de estadia.

3 METODOLOGIA

O referente estudo trata-se de uma revisão de literatura do tipo revisão sistemática, onde foram utilizados como base de busca as seguintes plataformas: SciELO; LILACS; PubMed; Medline;



ScienceDirect; Cochrane Controlled Trials Database; New England Journal of Medicine; CORE; Circulation e Springer.

3.1 CRITÉRIOS DE ELEGIBILIDADE E EXCLUSÃO

Os critérios de inclusão foram estabelecidos com artigos randomizados que abordassem pelo menos uma das palavras chaves citadas acima, os estudos poderiam utilizar ensaios in vivo ou in vitro, exames como o ecocardiograma bidimensional com doppler realizado por um profissional ultrassonografista, vídeos ou receptores de pressão que abordassem e ou corroborassem para as alterações ocorridas no corpo humano, células humanas ou animais, associando o ambiente de microgravidade como principal responsável pelas mudanças ocorridas nos sistemas: cardiovascular, ósseo, muscular, vestibular, óptico, imunológico e circulatório.

Foi estabelecido como critério de exclusão revisões de literatura, estudos que faziam uso de testes in vivo ou in vitro por meio da exposição exclusiva em simulações de *Weightlessness flights*, pois compreende-se que o corpo humano, animal ou referente tecido não é submetido por tempo suficiente para apresentar resultados perceptíveis e condizentes com exposições a longo prazo, sendo assim, apresentavam resultados inelegíveis.

3.2 CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DOS ESTUDOS

O processo de admissão dos referidos estudos foi realizado a partir da análise de um revisor independente (B.L.C.P) seguindo à risca os critérios de inclusão e exclusão citados anteriormente. Os estudos foram analisados de forma prévia levando em consideração o título e resumo das obras, estudos que após essa breve análise ainda sim apresentavam potencial elegibilidade para o estudo foram pinçados para a avaliação do conteúdo textual e por fim, apenas os estudos que passaram foram aprovados nessa seleção sendo incluídos para síntese qualitativa. Em casos onde os estudos não se encontravam disponíveis para a avaliação do revisor, foi utilizado uma plataforma gratuita para liberação e análise do conteúdo textual completo. E por fim referências de alguns artigos incluídos ou revisões excluídas foram verificadas a fim de dar continuidade na busca por mais estudos relevantes que pudessem agregar o tema.

4 RESULTADOS

Foram encontrados 18 estudos relevantes através das bases de dados SciELO; LILACS; PubMed; Medline; ScienceDirect; Cochrane Controlled Trials Database; New England Journal of Medicine; CORE; Circulation e Springer. Dentre estes 13 estudos foram elegíveis, visto que todos os estudos abordaram pelo menos um dos critérios de inclusão. O fluxograma apresentando o processo de inclusão e exclusão encontra-se apresentando na figura 1.

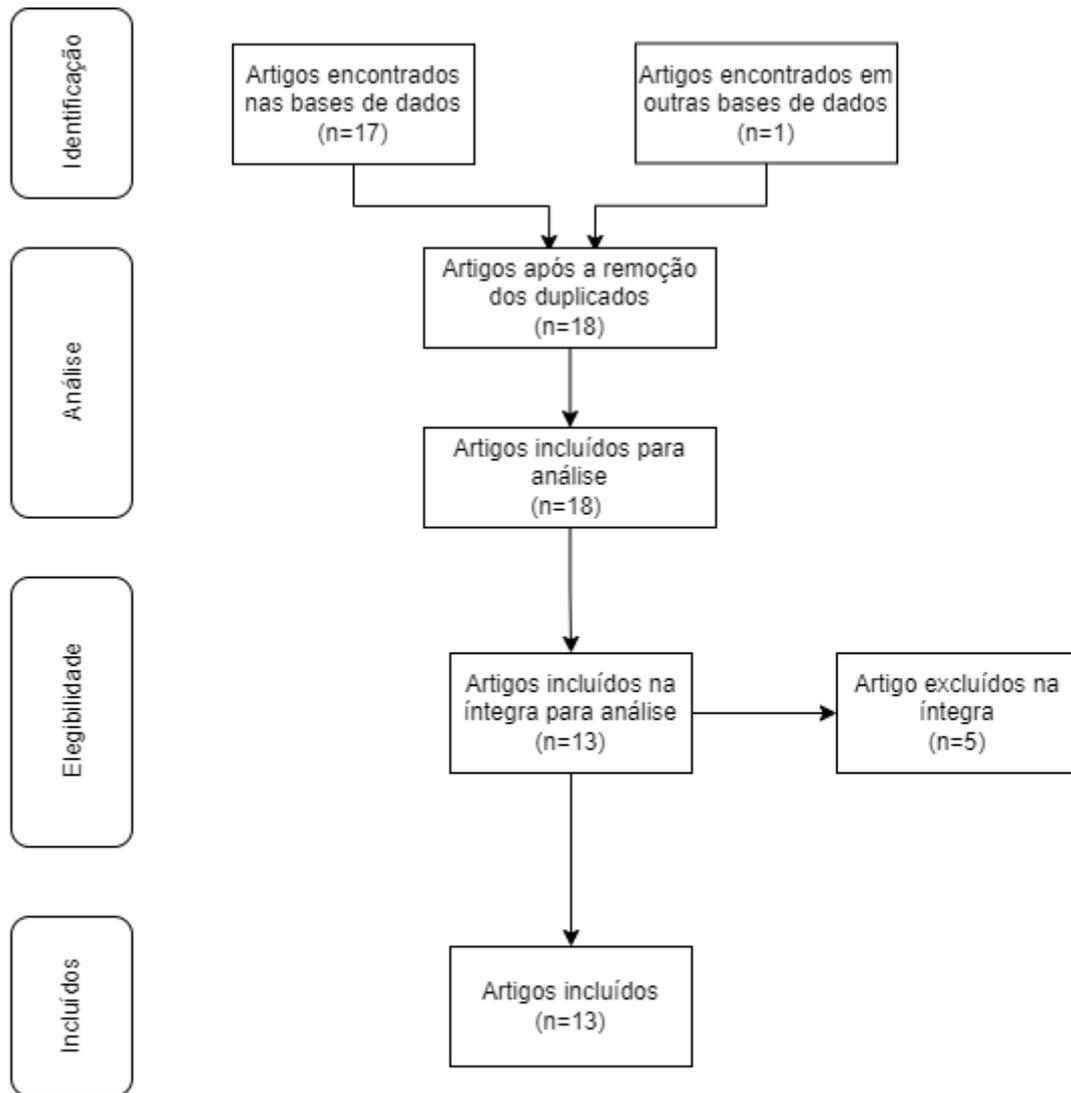


Figura 1: Fluxograma da estratégia de busca de dados e seleção de artigos.

4.1 CARACTERÍSTICAS DOS PARTICIPANTES E INTERVENÇÕES DOS ESTUDOS INCLUÍDOS

Dos dezoito artigos incluídos, dezesseis corroboram em algum nível para saúde, melhor percepção dos riscos e efeitos colaterais, além de estudar modelos de treinos que possam promover uma maior permanência de forma segura dos astronautas no ambiente de microgravidade, um dos artigos aborda o processo evolutivo humano como um todo, e outro abordava as nuances do processo evolutivo biológico do ser humano.

Um grupo de astronautas foi submetido a uma série de exercícios prescritos de forma prévia durante a missão na estação espacial de Mir, esses exercícios eram catalogados e analisados por vídeo e uma série de sensores de pressão espalhados pela nave estudando as anomalias motoras e quaisquer



comprometimentos na força, de forma a comprometer as atividades que os mesmos necessitavam desempenhar durante a missão, outro estudo submeteu um grupo de dezoito astronautas a um exame de ressonância magnética antes e depois da exposição a missões de longa duração na estação espacial internacional com intuito de analisar o estreitamento do sulco central e edema no canal óptico. As características dos participantes foram descritas na tabela 1, já as intervenções dos estudos incluídos foram descritos na tabela 2.

Tabela1: Características dos participantes.

Primeiro autor	Ano	População	Tamanho da amostra
Dava-J.Newman	2001	Astronautas	-
Donna-R.Roberts	2017	Astronautas	34
James-R.Macnamara	2021	Astronauta e nadador	2
Vitor-S.Schneider	2016	Astronautas	16



Tabela2: Intervenções dos estudos incluídos.

Autor	Ano	Objetivos	Resultados
Dava-J Newman	2001	Graduar os distúrbios causados pelo ambiente de microgravidade aos astronautas e quantificar as forças exercidas pelos astronautas a estação espacial durante uma missão espacial por meio de equipamentos de vídeo e sensores espalhados pela estação.	As adaptações geradas pela microgravidade induzem os astronautas a exercer menos força e realizar movimentos mais lentos, o pico mais alto de força foi de 137 Newtons ou aproximadamente 13.9701kgf, já a maior parte da força exercida pelos movimentos era de 9 Newtons ou aproximadamente 0.9177 kgf.
Donna-R Roberts	2017	Identificar e comparar as alterações encontradas no líquido cefalorraquidiano e deslocamento de estruturas cerebrais de astronautas submetidos a missões espaciais de curta e longa duração por meio do exame de ressonância magnética.	O estreitamento do sulco central, deslocamento do cérebro, estreitamento dos espaços do líquido cefalorraquidiano e edema do disco óptico foram algumas alterações encontradas, sendo estas, muito comuns em astronautas submetidos a voos de longa duração aproximadamente 164,8 dias.
James-R Macnamara	2021	Comparar os efeitos cardíacos da longa exposição as viagens espaciais e a natação de longa duração, investigando os parâmetros de massa corporal e volume sanguíneo pelo método Teichholz.	A redução da massa do ventrículo esquerdo foi identificada em ambos os pacientes do estudo, sendo ligeiramente mais acentuada no paciente que foi exposto a viagem espacial, não sendo possível descartar a variável fisiológica de ambos pacientes para o resultado encontrado, também não foi possível identificar diminuição da fração de ejeção do VE.
Victor-S.Schneider	2016	Analisar os riscos a saúde humana causadas pelas adaptações musculoesqueléticas da microgravidade bem como seus mecanismos de adaptação e contramedidas eficazes utilizadas nos voos espaciais.	Os seres humanos que se expõem ao ambiente de microgravidade desenvolvem uma atrofia muscular esquelética quando nem uma contramedida é utilizada, a perda do volume e força muscular total está associado a diminuição da produção de força e rápida fadigabilidade muscular, o mineral ósseo é destruído levando a possível osteoporose e aumento do risco de fratura óssea, o aumento da excreção de cálcio e fósforo pode aumentar o risco de cálculos renais e desidratação associada hipercalcemia.



5 DISCUSSÃO

Apesar da evolução tecnocientífica caminhar a passos largos, ainda existem pouquíssimos dados que podem ser analisados e comparados em relação à população e as alterações associadas ao ambiente de microgravidade do estudo, é possível respaldar tal afirmação com base na reduzida quantidade de artigos publicados com boa qualidade metodológica e que conseguiram reproduzir e estudar os dados da população, antes, durante e depois da exposição.

Essa escassez sobre os dados pode estar associado com os altos custos para dar início a essas pesquisas, sendo comumente financiados por empresas privadas, as quais, quase sempre possuem um viés lucrativo por trás da pesquisa, a coleta de dados durante a exposição muitas vezes precisam ser feita entre a própria população, o desenvolvimento de novas pesquisas também é cercado por dilemas éticos, uma vez, que longos períodos de exposição e permanência precisam reduzidos ao máximo devido aos riscos à saúde do astronauta.

Mesmo sendo notório as dificuldades acerca da execução, coleta e aplicabilidade que tangem o tema em questão, os estudos já publicados apresentaram uma série de alterações fisiológicas no corpo humano quando exposto ao ambiente de microgravidade durante curtos e longo períodos, também foi possível sugerir que tais complicações pudessem ser potencializadas caso já estivessem estabelecidas de forma prévia, atuando como um agravante, subentende-se que a gravidade dessas alterações está associada também ao tempo de exposição ao meio e que as mesmas tendem a se intensificar em caso de exposição prolongada, trazendo sérios riscos à integridade da saúde do astronauta.

6 CONCLUSÃO

Conclui-se que existe uma escassez de estudos nessa temática, isso devido a uma série de dificuldades, desde a sua aplicabilidade, coleta, custo e controle. Porém os poucos estudos encontrados com boa qualidade metodológica são unânimes quanto às alterações fisiológicas no corpo humano, sendo estas, extremamente danosas à saúde, especialmente quando a exposição perdura no ambiente de microgravidade, também compreende-se que o processo de reabilitação pós retorno a gravidade terrestre, tende a ser mais lento e cuidadoso quando o tempo de exposição é prolongado, por fim, protocolos de exercícios aeróbicos estariam associados a uma diminuição da perda mineral óssea e hipotrofia muscular decorrente da ausência de gravidade, minimizando os danos ao sistema musculoesquelético durante a exposição, quanto as alterações hidrostáticas e no sistema circulatório ainda não foi possível estabelecer medidas eficazes para mitigar os efeitos nocivos ao corpo.



REFERÊNCIAS

- KANDARPA, Krishna *et al.* Human health during space: An overview. *Neurology india* v. 67, p. 176-181, 14 Mai. 2019.
- NEWMAN, Dava J. *et al.* Astronaut-Induced Disturbances to the Microgravity Environment of the Mir Space Station. *JOURNAL OF SPACECRAFT AND ROCKETS*, v. 38, n. 4, p. 578-583, 4 Jul. 2001.
- ROBERTS, Donna R. *et al.* Effects of Spaceflight on Astronaut Brain Structure as Indicated on MRI. *The new england journal of medicine*, p. 1746-1753, 14 Mai. 2021.
- SCHNEIDER, Victor S *et al.* *Musculoskeletal Adaptation to Space Flight*. Springer Science, p. 347-365, 24 Mar. 2016.
- SILVA, Ricardo Fernandes *et al.* CHARLES DARWIN E A TEORIA DA EVOLUÇÃO. *Pesquisa Aplicada à Educação da Universidade Federal de Goiás – CEPAE/UFG*, p. 1-10, 15 Mar. 2018.
- TEMPLETON, Alan R *et al.* Has Human Evolution Stopped?. *Rambam Maimonides Medical Journal*, p. 1-10, 2 Jul. 2010.
- MUELLER, MJ. Tissue adaptation to physical stress: a proposed "Physical Stress Theory" to guide physical therapist practice, education, and research. *Phys Ther*, p. 383-403, Abr. 2002.
- UDAKA, J *et al.* Depressed contractile performance and reduced fatigue resistance in single skinned fibers of soleus muscle after long-term disuse in rats. *Physiol*, P.1-8, out. 2011.
- FERREIRA, Rita *et al.* Atrofia muscular esquelética. Modelos experimentais, manifestações teciduais e fisiopatologia. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*. p. 94-111, Jan. 2004.
- MACNAMARA, James. Cardiac Effects of Repeated Weightlessness During Extreme Duration Swimming Compared With Spaceflight. *Circulation*. p.1533-1535, Abr. 2021.
- NORMAN, TL *et al.* Aerobic exercise as a countermeasure for microgravity-induced bone loss and muscle atrophy in a rat hindlimb suspension model. *Aviat Space Environ Med*. p. 8-593, Jun. 2000.
- Middeleer, Gilke *et al.* Fungi and Mycotoxins in Space-A Review. *Astrobiology*. p.915-926, Jul. 2019.
- Blaber, Elizabeth *et al.* Bioastronautics: the influence of microgravity on astronaut health. *Astrobiology*. p.463-473. Jun 2010.