

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Programa de Pós-graduação em Neurociências
Especialização em Neurociências

Priscilla Chantal Duarte Silva

**ANÁLISE NEUROFISIOLÓGICA DA FADIGA MENTAL NÃO INDUZIDA
E SEUS IMPACTOS NO DESEMPENHO ACADÊMICO-ATENCIONAL DE
ESTUDANTES UNIVERSITÁRIOS: UM ESTUDO DE POTENCIAIS
RELACIONADOS A EVENTOS**

Belo Horizonte

2023

Priscilla Chantal Duarte Silva

**ANÁLISE NEUROFISIOLÓGICA DA FADIGA MENTAL NÃO INDUZIDA
E SEUS IMPACTOS NO DESEMPENHO ACADÊMICO-ATENCIONAL DE
ESTUDANTES UNIVERSITÁRIOS: UM ESTUDO DE POTENCIAIS
RELACIONADOS A EVENTOS**

Monografia apresentada ao Programa de Pós-graduação lato sensu em Neurociências da Universidade Federal de Minas Gerais para obtenção do título de Especialista em Neurociências.

Orientador: Prof. Dr. Hani Camille Yehia

Belo Horizonte

2023

043

Silva, Priscilla Chantal Duarte.

Análise neurofisiológica da fadiga mental não induzida e seus impactos no desempenho acadêmico-atencional de estudantes universitários: um estudo de potenciais relacionados a eventos [manuscrito] / Priscilla Chantal Duarte Silva. – 2023.

97 f.: il. ; 29,5 cm.

Orientador: Hani Camille Yehia.

Monografia apresentada ao Programa de Pós-graduação lato sensu em Neurociências da Universidade Federal de Minas Gerais para obtenção do título de Especialista em Neurociências.

1. Neurociências. 2. Fadiga Mental. 3. Eletroencefalografia. 4. Potencial Evocado P300. 5. Desempenho Acadêmico. 6. Atenção. 7. Sonolência. I. Yehia, Hani Camille. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Biológicas. III. Título.

CDU: 612.8



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NEUROCIÊNCIAS

FOLHA DE APROVAÇÃO

ANÁLISE NEUROFISIOLÓGICA DA FADIGA MENTAL NÃO INDUZIDA E SEUS IMPACTOS NO DESEMPENHO ACADÊMICO-ATENCIONAL DE ESTUDANTES UNIVERSITÁRIOS: UM ESTUDO DE POTENCIAIS RELACIONADOS A EVENTOS

PRISCILLA CHANTAL DUARTE SILVA

Monografia submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de NEUROCIÊNCIAS BÁSICAS E APLICADAS, como requisito para obtenção do certificado de Especialista em NEUROCIÊNCIAS BÁSICAS E APLICADAS, área de concentração NEUROCIÊNCIAS BÁSICAS E APLICADAS.

Aprovada em 28 de novembro de 2023, pela banca constituída pelos membros:

Prof. Eduardo Mazoni Andrade Marcal Mendes

UFMG

Profa. Carla Aparecida de Vasconcelos

UFMG

Prof. Maurilio Nunes Vieira

UFMG

Prof. Hani Camille Yehia - Orientador

UFMG

Belo Horizonte, 28 de novembro de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Carla Aparecida de Vasconcelos, Usuário Externo**, em 29/11/2023, às 14:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Maurilio Nunes Vieira, Professor do Magistério Superior**, em 11/12/2023, às 17:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Hani Camille Yehia, Professor do Magistério Superior**, em 12/12/2023, às 14:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Eduardo Mazoni Andrade Marcal Mendes, Professor do Magistério Superior**, em 13/12/2023, às 13:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2796807** e o código CRC **37DDA056**.

Dedico este trabalho a Deus e à minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por esta nova conquista, ao meu esposo Gustavo Morais pela ajuda e apoio, aos meus filhos Lucas e Luan pelo carinho e companhia, ao meu orientador Prof. Hani Camile Yehia pela atenção, dedicação e disponibilidade em me orientar, aos colegas da Neurociências, Ana Karolina Amonções, Renata Poubel, Greice Viana e Alexandre Russo, pelo incentivo, amizade e companheirismo, a todos os professores do programa de Pós-graduação em Neurociências da UFMG pelos ensinamentos valiosos, principalmente, à Profa. Paula Scalzo, coordenadora do programa, à Universidade Federal de Itajubá pela liberação e autorização dos testes, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a concretização deste estudo. Em especial, aos colegas do CEFALA: Marcos Vinícius de Paula Rosa, Michele Diniz e Deborah Christiny Abrante Godinho pela parceria, paciência, amizade, explicações e ajuda valiosa no tratamento dos dados.

Me sinto cansado

Fisicamente

Psicologicamente e Sentimentalmente

Mas digo que estou bem para economizar explicações. (Igor Braz)

Nunca me esquecerei desse acontecimento na vida de minhas retinas tão fatigadas. (Carlos Drummond de Andrade)

Porque em seis dias fez o Senhor os céus e a terra, o mar e tudo que neles há, e ao sétimo dia descansou (Êx. 20:8-11)

RESUMO

No campo educacional, a fadiga mental é pouco estudada, sobretudo quando se infere uma correlação com o desempenho acadêmico. O objetivo deste estudo é investigar o efeito da fadiga mental no desempenho cognitivo atencional de estudantes universitários. Parte-se de uma revisão sistemática da literatura, análise de escalas de avaliação psicométrica sobre fadiga, sonolência, nos estágios agudo e acumulado, e escala de percepção do estresse, além de uma análise experimental por meio de registros neurofisiológicos. Realiza-se uma revisão sistemática sobre o P300, fadiga mental e atenção, incluindo 25 estudos ($n = 3.091$). Para o escopo deste estudo, utiliza-se um conjunto de dados transversais com ($n = 115$) participantes, sendo 82 do sexo masculino e 33 do sexo feminino, todos estudantes de engenharia, de idade entre 19 a 30 anos. Os resultados mostram que houve diferença entre gêneros nos estados de fadiga e sonolência. Na fadiga acumulada, 48,5% das mulheres concentram-se nos estágios mais graves e 67,1% dos homens nos estágios moderados ($p < 0,001$). Quanto à sonolência acumulada, obteve-se sonolência leve para 50,0% dos homens e moderada para 39,4% das mulheres. Não houve diferença significativa entre os dois grupos ($p = 0,054$). 60,9% dos participantes apresentaram fadiga moderada e 46,1% sonolência excessiva leve. Quanto ao estado de fadiga e sonolência agudas, 50% das mulheres pontuaram fadiga moderada a severa e 50% dos homens nível leve a moderado. Não houve diferença estatística entre os grupos quanto à sonolência aguda ($p = 0,13$). 51,3% da amostra apresentou estado de fadiga aguda. O público feminino é o mais afetado, apresentando maior índice de fadiga entre os estudantes universitários. Quanto ao estresse, 39,1% da amostra pontuou alto índice de percepção do estresse ($p < 0,001$). Houve significância estatística na correlação entre as escalas. Quanto maior a fadiga, maior o sono ($p < 0,001$). Quanto à escala de Percepção do Estresse, quanto maior a percepção do estresse, maior a fadiga. Da mesma forma, quanto maior a pontuação em escala de sono agudo, maior pontuação na escala de Percepção do Estresse. A revisão bibliográfica apontou que o componente P300 é o mais estudado e relacionado à atenção. Nas medições de potenciais relacionados a eventos (ERP), com ($n = 4$) estudantes de engenharia, os resultados mostraram maior amplitude P300 para a condição descansada. O componente P300 foi o mais evidente na investigação de ERP. Não houve diferença em tarefa de contagem de estímulos desviantes associada à tarefa oddball. Conclui-se que a fadiga mental afeta aspectos atencionais para o funcionamento dos processos cerebrais e compromete o desempenho acadêmico dos estudantes universitários.

Palavras-chave: fadiga mental; eletroencefalograma (EEG); potenciais relacionados a eventos (ERP); desempenho acadêmico; P300; atenção; sonolência.

ABSTRACT

In the educational research, mental fatigue is understudied, particularly when inferring a correlation with academic performance. The objective of this study is to investigate the effect of mental fatigue on the attentional cognitive performance of university students. The approach involves a systematic literature review, analysis of psychometric assessment scales on fatigue, sleepiness in acute and cumulative stages, and stress perception scale, along with an experimental analysis through neurophysiological recordings. A systematic review is conducted on P300, mental fatigue, and attention, encompassing 25 studies ($n = 3,091$). For the scope of this study, a dataset of cross-sectional data is used with ($n = 115$) participants, comprising 82 males and 33 females, all engineering students, aged between 19 and 30 years. The results show gender differences in fatigue and sleepiness states. In accumulated fatigue, 48.5% of women concentrate on more severe stages, while 67.1% of men are in moderate stages ($p < 0.001$). Regarding accumulated sleepiness, mild sleepiness is observed in 50.0% of men and moderate sleepiness in 39.4% of women, with no significant difference between the two groups ($p = 0.054$). 60.9% of participants exhibited moderate fatigue, and 46.1% reported mild excessive sleepiness. As for acute fatigue and sleepiness states, 50% of women scored moderate to severe fatigue, and 50% of men reported mild to moderate levels. There was no statistical difference between the groups in acute sleepiness ($p = 0.13$). 51.3% of the sample exhibited acute fatigue. Female participants are more affected, showing a higher incidence of fatigue among university students. Regarding stress, 39.1% of the sample scored a high stress perception index ($p < 0.001$). There was statistical significance in the correlation between the scales. The higher the fatigue, the greater the sleepiness ($p < 0.001$). Concerning the Stress Perception Scale, higher stress perception corresponds to increased fatigue. Similarly, higher scores on the acute sleep scale correlate with higher scores on the Stress Perception Scale. The literature review indicated that the P300 component is the most studied and related to attention. In event-related potential (ERP) measurements, involving ($n = 4$) engineering students, results showed a higher P300 amplitude for the rested condition. The P300 component was most evident in ERP investigation. There was no difference in the oddball task associated with counting deviant stimuli. In conclusion, mental fatigue affects attentional aspects of brain processes and compromises the academic performance of university students.

Keywords: mental fatigue; electroencephalogram (EEG); event-related potentials (ERP); P300; attention; sleepiness.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Potencial de ação.	21
Figura 2 – Célula Piramidal Dipolo.	23
Figura 3 – Disposição dos eletrodos.	24
Figura 4 – Ritmos do cérebro.	25
Figura 5 – Grande média da atividade cerebral - ERP.	44
Figura 6 – Sistema internacional 10-20.	52
Figura 7 – Eletroencefalógrafo BWII.	53
Figura 8 – Touca de eletroencefalograma.	54
Figura 9 – Eletrodo MCScap.	55
Figura 10 – Fluxograma PRISMA.	59
Figura 11 – Comparação dos dados quantitativos da escala Sam-Perelli com a variável gênero.	69
Figura 12 – Comparação dos dados quantitativos da escala Karolinska com a variável gênero.	70
Figura 13 – Comparação dos dados quantitativos da escala EPS com a variável gênero.	72
Figura 14 – Comparação de níveis de grupos - Escala Sam-Perelli e Yoshitake.	74
Figura 15 – ERP - Estado de Fadiga não induzida e estado de descanso do participante S1.	76
Figura 16 – ERP - Estado de Fadiga não induzida e estado de descanso do participante S2.	77
Figura 17 – ERP - Estado de Fadiga não induzida e estado de descanso do participante S3.	78
Figura 18 – ERP - Estado de Fadiga não induzida e estado de descanso do participante S4.	80
Figura 19 – Escala de fadiga (aguda) Sam- Perelli	92
Figura 20 – Escala de fadiga (acumulada) Yoshitake	93
Figura 21 – Escala de Sonolência (acumulada) Epworth	94
Figura 22 – Escala de Sonolência (aguda) Karolinska	95
Figura 23 – Escala de estresse	96
Figura 24 – Questionário de triagem	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características técnicas do BWII EEG produzido pela Neurovirtual . . .	53
Tabela 2 – Características dos estudos incluídos	60
Tabela 3 – Características dos estudos incluídos - continuação	61
Tabela 4 – Características dos estudos incluídos - continuação	62
Tabela 5 – Estudos envolvendo os tipos de componentes ERP e a correlação com a fadiga mental	64
Tabela 6 – Associação do teste YOSHITAKE com Gênero - Tabulação cruzada . . .	66
Tabela 7 – Associação do teste EPWORTH com gênero - Tabulação cruzada . . .	67
Tabela 8 – Coeficiente de correlação de Spearman para escalas quantitativas de Fadiga, Sono e Estresse	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EEG	Eletroencefalograma
ERP	Potencial Relacionado a Eventos (<i>Event Related Potential</i>)
Hz	Hertz
ms	Milissegundo
PI(E)CO	População, intervenção ou exposição, comparação e (<i>Outcome</i>)
TCLE	Termo de consentimento, livre e esclarecido
COEP	Comitê de ética em pesquisa

LISTA DE SÍMBOLOS

σ Desvio padrão

μV Microvolt

\bar{x} Média

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Motivação e Justificativa	17
1.2	Objetivos do Estudo	18
1.3	Local de Realização	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1	Eletroencefalografia e Potenciais Relacionados a Eventos	20
2.2	O Estado de Fadiga Humana e os Processos Neurofisiológicos	32
2.3	Sono e Fadiga	39
3	METODOLOGIA	42
3.1	Paradigmas para a Revisão Sistemática da Literatura	45
3.2	Seleção dos Participantes e Diretrizes Éticas	48
3.3	Escalas Psicométricas	50
3.4	Equipamentos e Características Técnicas	52
3.5	Características das Coletas	56
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
4.1	Resultados da Revisão Sistemática	58
4.2	Resultados das Escalas Psicométricas	65
4.2.1	Resultados das Escalas Yoshitake (fadiga acumulada) e Epworth (sonolência acumulada)	65
4.2.2	Resultados das Escalas Sam-Perelli (fadiga aguda) e Karolisnka (sonolência aguda)	68
4.2.3	Resultados da Escala de Percepção do Estresse	70
4.3	Resultados dos Testes de Potenciais Relacionados a Eventos	74
4.4	Discussão	79
5	CONCLUSÃO	82
	REFERÊNCIAS	84
	Anexo A – Escalas de Fadiga	92
	Anexo B – Escalas de Sonolência	94
	Anexo C – Escala de Percepção do Estresse	96
	Apêndice A – Questionário de Triagem	97

1 INTRODUÇÃO

O termo fadiga é o objeto de investigação deste estudo. Tem como conotação o sofrimento físico por excesso de trabalho ou esforço mental. Sendo assim, o presente estudo pretende investigar o efeito da fadiga mental no desempenho cognitivo atencional de estudantes universitários, observando-se o fenômeno no público em análise para entender o funcionamento neuronal e comportamental durante o período de exames acadêmicos.

Sabe-se que o termo fadiga é bastante controverso. Não se trata de uma convencionalidade na literatura, pois para alguns o conceito de fadiga ainda é imaturo e insuficiente (MOTA; CRUZ; PIMENTA, 2005). Nesse estudo, os autores apontam que há vários conceitos de fadiga de acordo com a área do conhecimento. Na psicologia, por exemplo, a fadiga está mais relacionada a um estado de desgaste e à falta de motivação; na enfermagem, o termo relaciona-se ao estado de exaustão, fraqueza, cansaço e incapacidade de desempenhar tarefas; na educação física, refere-se à incapacidade de gerar tensão muscular; na medicina, liga-se à redução da eficiência para responder a um estímulo e à falta de energia. Na odontologia e engenharia pode se referir a um desgaste de materiais e falência de componentes estruturais em razão de estresse.

Para Demougeot e Papaxanthis (2011a), o termo fadiga está diretamente relacionado à diminuição das capacidades, tanto humana, quanto material de suportar as mesmas condições do início do esforço. Limongi-França e Rodrigues (1997) chamam a atenção da fadiga também como um fator mental pelo esforço prolongado e repetitivo que pode gerar alterações funcionais no organismo humano.

Pela falta de consenso, a fadiga humana pode ser considerada como um fenômeno subjetivo multifatorial que envolve aspectos físicos, cognitivos e emocionais. Sabe-se que a fadiga pode ser caracterizada, em princípio, pela redução da capacidade de trabalhar e operar máquinas de forma segura. Dessa forma, compromete a capacidade de resposta a um estímulo (DEMOUGEOT; PAPAXANTHIS, 2011b); (DINGES, 1995); (LIM; DINGES, 2010); (MOTA; CRUZ; PIMENTA, 2005); (LI; DUC, 2012); (COOK *et al.*, 2007);(MARCORA; STAIANO; MANNING, 2009).

A fadiga é um tema bastante discutido em campos como a aviação civil. Nesse campo, os acidentes podem ter como causa a fadiga proveniente de diversos fatores como: falta de descanso como consequência de extensas jornadas de trabalho (ruptura do ciclo circadiano, alterações no relógio biológico do sujeito, vigilância e sono). Nesse cenário, a fadiga pode trazer sérios problemas nas operações da aviação. No entanto, a área ainda requer mais estudos (GREELEY *et al.*, 2007; GREELEY *et al.*, 2013; KRAJEWSKI *et al.*, 2009; KRAJEWSKI; BATLINER; GOLZ, 2009, 2009).

Amaducci, Mota e Pimenta (2010) avaliaram a fadiga entre estudantes de enfermagem e destacaram a correlação entre fadiga por atividades acadêmicas e depressão, tendo como efeito prejuízo à aprendizagem. A sobrecarga de atividades juntamente com a falta de tempo e distúrbios de sono foram as queixas mais destacadas pelos estudantes. Nix e Brunette (2015) revelam que a importância da prevenção da fadiga deve ser observada em qualquer ambiente ocupacional. Murata, Uetake e Takasawa (2005) também destacam a importância de se estudar a fadiga mental como um fator de prevenção a riscos ocupacionais porque afeta a atenção e a capacidade de concentração, produtividade e qualidade do desempenho de tarefas no trabalho. Portanto, evidencia-se a importância de se investigar a fadiga mental também no campo educacional.

Johnston *et al.* (2019) discutem que, embora o descanso seja bastante reforçado na literatura para restauração energética, um aumento da recompensa para alto nível de motivação pode reduzir os efeitos da fadiga pelo desvio da atenção para o esforço para aspectos gratificantes do trabalho. Sob esse aspecto, uma investigação dessa ordem no campo educacional pode apontar mecanismos metodológicos de ensino como uma tentativa de redução da fadiga mental e também do estresse nos cenários educacionais.

Fonseca (1999) ressalta que a atividade de leitura é antes de mais nada um processo cognitivo que se desdobra em outros como: decodificação de letras e palavras, processo visual no córtex; identificação visuo-auditiva e tátilo-cinestésica na área de associação visual; correspondência grafema-fonema relacionada a um sistema de conversão entre letra e som e uma integração visuo-auditiva no processamento da informação para gerar a palavra. Além disso, é preciso levar em conta o processo de significação que envolve a compreensão para atribuir sentido ao texto, ligada à área de Wernicke, responsável pela conversão do sistema visuo-fonético num sistema semântico.

De acordo com Frith (1979), o modo como se reconhece as palavras escritas é um processo no qual primeiramente deve-se traduzir escrita para som para então tratar o resultado desse som como se fosse a fala ouvida. A leitura provém de um reconhecimento do cérebro em decifrar o código linguístico, no caso da escrita, dentro de um padrão sonoro da língua. Logo, diante de um contexto de fadiga mental, imagina-se que o processo cognitivo da leitura durante a realização de uma prova possa apresentar algum comprometimento, na presença de fadiga, tendo em vista que se trata de um processo bastante complexo. Ademais, vale lembrar que, durante a realização de uma prova específica de engenharias, os estudantes ainda têm o esforço cognitivo de atenção, concentração, raciocínio lógico somados ao exercício da leitura.

Nesse contexto, um dos objetivos deste trabalho é avaliar potenciais relacionados a eventos (ERP) na tentativa de investigar uma correlação entre fadiga mental e desempenho atencional e acadêmico de estudantes.

Muitos estudantes queixam-se da intensa atividade acadêmica com alto volume

de demandas dado o tempo para a realização dessas em relação ao tempo de descanso. Comumente, na graduação em engenharia, os graduandos tendem a cursar em média 10 disciplinas num único semestre, o que tem sido exaustivo para a maioria deles. Sono, fadiga excessiva, falta de concentração e atenção, problemas de memória e incapacidade de raciocínio rápido são as principais queixas entre os discentes.

Sabe-se que a leitura é um processo cognitivo que exige uma operação mental para produzir sentido. Sendo assim, a proposta deste estudo tem a seguinte questão norteadora: De que forma a fadiga mental pode comprometer o desempenho atencional e acadêmico de estudantes universitários a partir do esforço cognitivo realizado para uma prova que exige um exercício de leitura silenciosa, atenção, concentração, cálculo e raciocínio lógico?

Para responder a essa pergunta, parte-se das seguintes hipóteses: i) Acredita-se que a fadiga mental possa ser detectada em termos neurofisiológicos por meio de potenciais relacionados a eventos (ERPs) uma vez que tais potenciais medem a atividade cerebral em funções cognitivas sob a indução de estímulos. ii) Acredita-se que a partir de registros neurofisiológicos (ERPs) seja possível traçar correlatos capazes de inferir algum efeito da fadiga mental sobre a capacidade cognitiva de sujeitos saudáveis em atividades corriqueiras de um estudante universitário. iii) Acredita-se que a fadiga mental possa de alguma forma comprometer a capacidade de raciocínio e atenção do indivíduo nas atividades de leitura e realização de cálculos que requeiram processos atencionais.

O trabalho está dividido da seguinte forma: este capítulo apresenta uma introdução acerca da temática, envolvendo fadiga mental, contexto ao qual se aplica no ambiente universitário da área de engenharia, e o uso de ERPs como instrumento metodológico. O Capítulo 2 apresenta um referencial teórico acerca dos principais tipos de fadiga, a fadiga mental e suas bases neurofisiológicas seguido de uma discussão sobre a correlação entre fadiga e sonolência e seus efeitos para a saúde humana. No Capítulo 3, apresenta-se a metodologia seguida neste estudo contendo o detalhamento do desenho experimental. No Capítulo 4, os resultados obtidos são apresentados e discutidos. Finalmente, o Capítulo 5 apresenta as principais conclusões. Os documentos utilizados para a análise psicométrica são apresentados nos anexos, cada um deles contendo um tipo de escala: escalas de fadiga de Sann-Perelli e de Yoshitake no Anexo A, escalas de sonolência de Epworth e Karolinska Anexo B, e escala de percepção de estresse no Anexo C.

1.1 Motivação e Justificativa

O presente trabalho justifica-se pela necessidade de se conhecer o estado de fadiga dos estudantes universitários e como essa fadiga pode comprometer o desempenho acadêmico dos estudantes participantes em período de exames. A partir deste estudo é possível identificar os prováveis fatores envolvidos na fadiga mental e, assim, compreender o

funcionamento da cognição humana. Um protocolo de detecção de fadiga pode possibilitar também triagem em outros contextos como acidentes e incidentes ocupacionais. Além disso, depreender o funcionamento da fadiga humana pode auxiliar gestores, no que concerne à gestão de pessoas no ambiente laboral. Estudos apontam que cerca de 20 por cento de todos os trabalhadores estão fadigados em suas atividades laborais (LEE; KIM, 2018).

Assim, este estudo tem um âmbito mais amplo quando se observa as diferentes dimensões que ele pode tomar para debater as questões da fadiga humana. No contexto em que se pretende aplicar as investigações, ele pode levar a uma discussão sobre os aspectos pedagógicos e quiçá repensar subsídios quanto a metodologias mais eficazes de ensino e aprendizagem.

1.2 **Objetivos do Estudo**

Tendo em vista o exposto acima, este estudo tem por objetivo geral investigar o efeito da fadiga mental no desempenho cognitivo atencional de estudantes universitários antes e depois de uma prova regular do curso de engenharia.

Os objetivos específicos são:

- estudar os aspectos neurofisiológicos da atenção e fadiga mental;
- realizar uma revisão sistemática da literatura acerca da fadiga mental e uso de potenciais relacionados a eventos (ERP);
- analisar as escalas psicométricas aplicadas para verificação de estado de fadiga mental e traçar possíveis correlações entre fadiga, sonolência e estresse;
- analisar marcadores neurofisiológicos do estado de fadiga e não fadiga nos estudantes universitários por meio do paradigma *oddball* de medição de ERPs;
- avaliar o desempenho atencional dos estudantes universitários por meio de análise de ERPs antes e depois da atividade de indução de fadiga mental, isto é, em dia de descanso e logo após a realização de uma prova.
- verificar a existência de variações do ERP P300 nas condições de descanso e de fadiga mental, observando variações de latência e amplitude;
- analisar o correlato entre fadiga mental e desempenho cognitivo atencional dos estudantes participantes;
- verificar de que forma o ERP pode ser um biomarcador para a fadiga mental.

1.3 Local de Realização

O projeto de monografia foi desenvolvido na Universidade Federal de Minas Gerais, no laboratório CEFALA, e no campus de Itabira da Universidade Federal de Itajubá; sendo a primeira instituição para coleta e análise dos sinais de eletroencefalograma (EEG), a partir dos quais são obtidos os potenciais relacionados a eventos (ERPs) e a segunda para escalas psicométricas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta o quadro teórico usado como base para o desenvolvimento deste estudo. Discutem-se conceitos, definições e uma revisão da literatura acerca da fadiga mental no meio acadêmico, sonolência e potenciais relacionados a eventos.

2.1 Eletroencefalografia e Potenciais Relacionados a Eventos

As oscilações neurais, como resultado da comunicação entre os neurônios, podem ser observadas em todo o sistema nervoso central. A Eletroencefalografia (EEG) é uma técnica capaz de registrar essas oscilações de forma não invasiva. Baseia-se na variação de tensão captada por eletrodos fixados sobre o escalpo. As ondas elétricas cerebrais identificadas através do EEG podem ser caracterizadas por amplitudes e frequências em macrorregiões do cérebro, isto é, registra os potenciais elétricos de conjuntos de áreas cerebrais em ativação.

De acordo com [Graeff e Guimarães \(2000\)](#), o EEG consiste no registro de potenciais elétricos do cérebro, resultantes da atividade de um grande número de neurônios próximos à superfície cortical. Dessa forma, os autores sustentam que potenciais oriundos de regiões mais profundas só seriam acessíveis por meio de técnicas invasivas. A técnica de EEG, portanto, tem como vantagens boa resolução temporal (da ordem de milissegundos), simplicidade e baixo custo. Além disso, pode ser associada à estimulação sensorial, permitindo, assim, a análise de potenciais relacionados a eventos (ERPs).

O EEG do couro cabeludo é uma versão aproximada do potencial de campo local ([GOMES, 2015](#)). O EEG é amplamente utilizado em ciência cognitiva, psicologia cognitiva, neurolinguística e pesquisa psicofisiológica ([URIGÜEN; GARCIA-ZAPIRAIN, 2015](#)). É comumente utilizado para o diagnóstico de várias condições cerebrais tais como: determinação do tipo e da localização de atividade epilética, distúrbios do sono, disfunções como encefalopatias, distúrbios neurológicos, infecções e demências ([URIGÜEN; GARCIA-ZAPIRAIN, 2015](#)).

O sinal de EEG, na verdade, corresponde a uma somatória de potenciais de ação dos neurônios durante o registro da atividade cerebral. Denomina-se potencial de ação o mecanismo pelo qual a informação é propagada pelos neurônios sob a forma de sinais eletroquímicos ([GRAEFF; GUIMARÃES, 2000](#), p.57).

Em estado de repouso, a célula apresenta uma carga elétrica negativa em seu interior e uma carga positiva no exterior. A membrana celular do neurônio, quando em repouso, mantém diferença de potencial elétrico entre o meio interno e externo da célula,

de aproximadamente -60mV . Esta diferença é chamada potencial de repouso (GRAEFF; GUIMARÃES, 2000).

Uma propriedade fundamental do neurônio é a excitabilidade. Ele possui a capacidade de gerar e conduzir ao longo da membrana celular uma pequena descarga elétrica. Segundo Graeff e Guimarães (2000), a membrana neuronal possui canais permeáveis a íons de sódio (Na^+), os quais são os principais responsáveis pela condução do potencial de ação. Quando a membrana celular é despolarizada até atingir um certo valor crítico, chamado de limiar, ocorre a abertura desses canais. O aumento da permeabilidade ao Na^+ , com conseqüente influxo desse íon, aumenta a despolarização da membrana, levando à abertura de canais de sódio adjacentes, e assim por diante. Como conseqüência, tem-se a condução do potencial de ação ao longo da membrana neuronal.

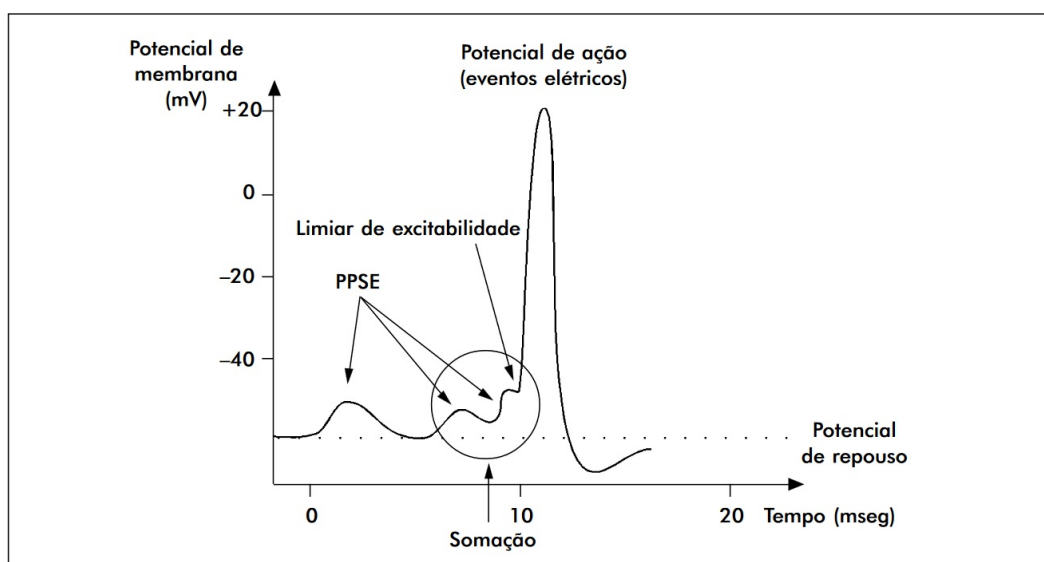


Figura 1 – Potencial de ação.

Fonte: Graeff e Guimarães (2000, p.58)

De acordo com Urigüen e Garcia-Zapirain (2015), a atividade de um único neurônio cortical não pode ser medida no couro cabeludo, mas a atividade conjunta de milhões de neurônios corticais produz um campo elétrico que é suficientemente forte para ser detectado no couro cabeludo.

A cada estímulo de um impulso nervoso, o potencial de membrana do neurônio desencadeia influxo de íons de sódio na célula por meio de canais de sódio, o que ocasiona uma reversão de polaridade, isto é, o que era carga negativa, passa a ser positiva. Dessa forma, ocorre a etapa de despolarização do potencial de ação. Após atingir um pico, fecham-se os canais de sódio enquanto a bomba de sódio e potássio passa a atuar na repolarização da célula retirando sódio e colocando potássio. Da mesma forma, por meio dos canais de potássio, há também a saída desse íon. Tendo em vista o tempo de fechamento desses

canais, há uma hiperpolarização da célula, importante para a propagação do estímulo.

Além de um estímulo excitatório, a célula pode receber um estímulo inibitório que gera uma hiperpolarização da membrana. Tal evento acontece quando há a abertura de canais de cloro e de potássio, sendo que o de cloro atua na entrada desses íons na célula e o de potássio atua na saída.

De acordo com [Gomes \(2015\)](#), as formas principais de ativação neuronal são a despolarização rápida das membranas neuronais, que resulta no potencial de ação, e as mudanças lentas no potencial de membrana devidas à ativação sináptica. Isso se relaciona ao potencial pós-sináptico excitatório e inibitório. No entanto, o eletroencefalograma não capta os potenciais de ação de forma isolada, mas a atividade das ondas captadas pelo fluxo de corrente resultante da soma dos potenciais pós-sinápticos excitatórios e inibitórios de milhões de neurônios. Sabe-se que os potenciais pós-sinápticos são os responsáveis pela atividade elétrica registrada no couro cabeludo. Nas palavras de [Tatum \(2021\)](#), o EEG representa uma atividade elétrica agrupada gerada por um grande número de neurônios. As variações observadas nos sinais elétricos são resultantes do movimento de cargas elétricas.

Em princípio, esses potenciais envolvem grandes áreas de superfície de membrana e ocorrem simultaneamente em milhões de células. Tais potenciais se somam e podem ser detectados no couro cabeludo. Sendo assim, pode-se dizer que o EEG se refere a uma detecção do conjunto dos potenciais de algumas áreas cerebrais. *Os campos elétricos do EEG são gerados principalmente pelos grandes neurônios piramidais verticalmente orientados e localizados em camadas corticais* ([GOMES, 2015, p.15](#)), também confirmado por ([TATUM, 2021](#)).

Para [Luck \(2014\)](#), o EEG consiste em um tipo de medida muito grosseira da atividade cerebral. Por essa razão, não pode ser usado em forma bruta para medir atividades muito específicas. De um modo geral, o EEG representa um conglomerado de diferentes fontes neurais. Sendo assim, uma associação com eventos sensoriais é mais interessante para uma interpretação mais assertiva dos sinais do EEG.

Os neurônios corticais contribuem para o EEG em função de sua disposição perpendicular à superfície cortical. As células piramidais funcionam como dipolos. Na [Figura 2](#) a seguir, observam-se as cargas elétricas nas diferentes camadas celulares.

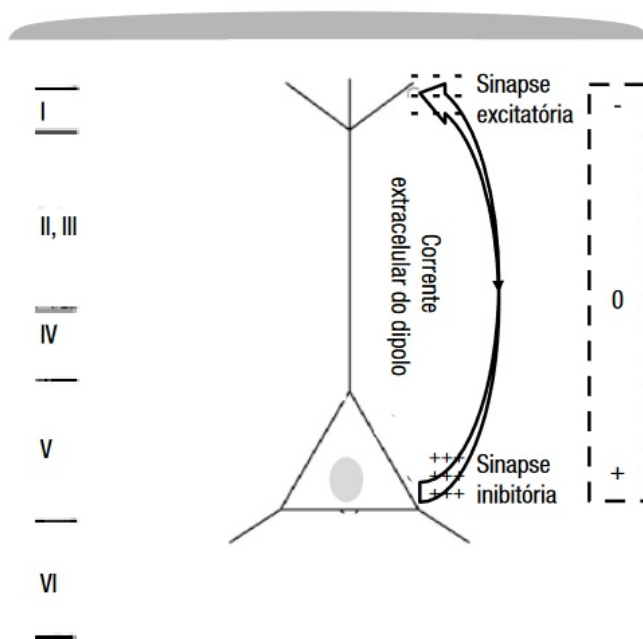


Figura 2 – Célula Piramidal Dipolo.

Fonte: [Gomes \(2015, p.15\)](#)

Dessa forma, o EEG apenas representa os potenciais pós-sinápticos de neurônios piramidais perto do eletrodo de registro. Sob esse aspecto, quanto maior o número de eletrodos, maior a área de cobertura do campo elétrico envolvido. No momento em que as ondas geradas por íons atingem os eletrodos, a diferença de tensão entre os eletrodos pode ser medida por um voltímetro ([GOMES, 2015](#)). A partir da computação dessa tensão é que se tem o sinal de EEG. Cada célula tem pequenas tensões que se somam na captação do EEG. Os potenciais sinápticos são a fonte mais importante do fluxo de corrente extracelular que produz potenciais no EEG.

O registro do EEG se dá através de eletrodos condutores, colocados no escalpo do sujeito, aderido a um gel que diminui a impedância de contato do eletrodo com a pele. Os eletrodos são normalmente colocados, conforme o sistema internacional 10-20, que determina uma proporção de distância entre os eletrodos e pontos de referência para abranger todo o encéfalo ([NOMENCLATURE, 1991](#)).

Conforme mostra [Luck \(2014\)](#), o sistema de EEG nomeia cada sítio de eletrodo usando uma ou duas letras para indicar a região geral do cérebro (por exemplo, Fp para pólo frontal, F para frontal, C para central, P para parietal, O para occipital, T para temporal) e um número para indicar o hemisfério (ímpar para esquerda e par para direita) e a distância da linha média (números maiores significam distâncias maiores). Essas designações são utilizados no sistema 10-20. A designação “z” reflete posicionamento da linha média (ou seja, Cz = linha média central) ([TATUM, 2021](#)).

Os eletrodos são ligados a um amplificador usado para adequar o sinal ao dispositivo onde ele será gravado. As pequenas tensões (da ordem de microvolts) produzidas pela atividade cerebral devem ser amplificadas para que possam ser devidamente digitalizadas e exibidas para interpretação (TATUM, 2021). Deve-se também eliminar, tanto quanto possível, quaisquer possíveis ruídos. Na figura a seguir, Os sistemas de colocação de eletrodos usam um sistema 10-20 (preto círculos) ou sistema combinatório modificado com colocação de 10-10 eletrodos (círculos pretos + círculos brancos), conforme Tatum (2021, p.6). Na Figura 3, observa-se a disposição dos eletrodos, conforme padrão internacional. A disposição contempla todo o escalpo do sujeito.

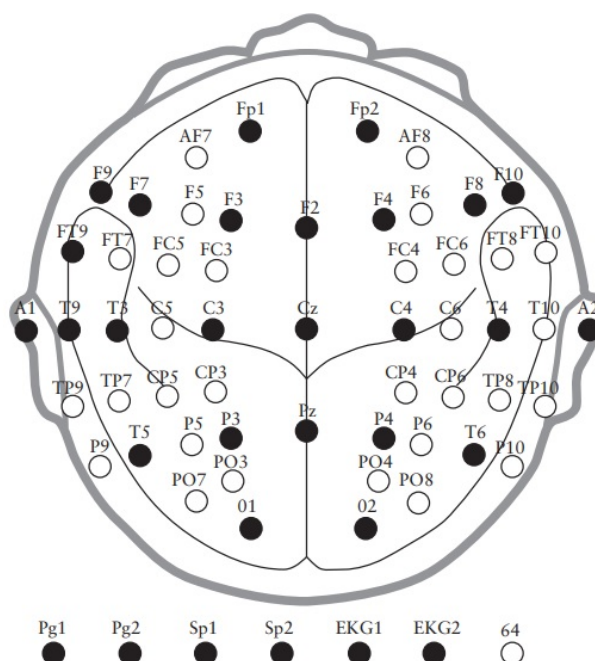


Figura 3 – Disposição dos eletrodos.

Fonte: Tatum (2021, p.6)

Tatum (2021) afirma que outros eletrodos podem ser adicionados ao teste de EEG, dependendo da finalidade, tais como: eletrocardiograma (ECG) (recomendado com cada EEG), monitores de movimento ocular (EOG), eletromiograma (EMG). Eletrodos extracerebrais são usados para auxiliar na remoção de artefatos e na definição do estadiamento do sono (EOG). Monitores respiratórios que também podem ser úteis, caso haja problemas respiratórios identificados.

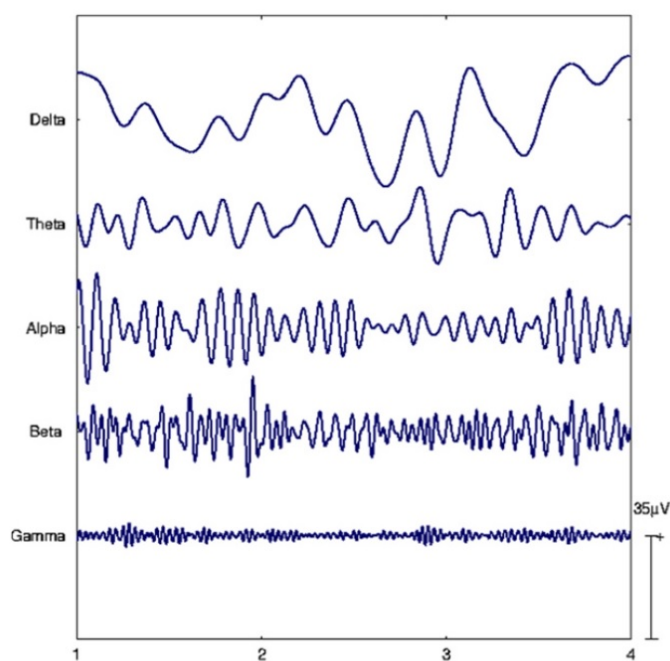
Neste estudo, utilizou-se somente o eletrodo ocular para análise do movimento ocular. Isso porque o ato de piscar os olhos, gerado por potencial elétrico produzido pelo movimento vertical das pálpebras, é captado no EEG, pois o potencial criado é um potencial de amplitude muito maior (mV) do que a amplitude produzida pelo cérebro (μV). A presença de um artefato de piscar de olhos ajuda a definir o estado do sujeito

ou paciente como estando acordado. Durante a sonolência, movimentos oculares lentos (laterais) são igualmente perceptíveis. (TATUM, 2021).

As ondas cerebrais consistem em ondas eletromagnéticas resultantes da variação da atividade elétrica das células cerebrais. A frequência dessas ondas elétricas é representada por meio de ciclos por segundo ou hertz (Hz). Em geral, o EEG registra atividade cerebral, cuja frequência pode variar, em média, de 0,05 Hz a 80 Hz.

Esse registro é dividido em ondas caracterizadas pela faixa de frequência. São ondas de baixa frequência (delta, teta e alfa) e alta frequência (beta e gama). Em geral, os ritmos eletroencefalográficos são classificados em cinco faixas de frequência diferentes: delta ($\sim 0,5\text{--}4$ Hz), teta (4–7 Hz), alfa (8–13 Hz), beta (14–30 Hz) e gama (>30 Hz, mas normalmente <80 Hz) (URIGÜEN; GARCIA-ZAPIRAIN, 2015). Alguns autores já consideram também as ondas supergama, que podem atingir frequências acima de 80 Hz (FREEMAN; QUIROGA, 2012; RAMOS *et al.*, 2020). Porém, a amplitude de ondas gama no escalpo é muito baixa, o que as torna difíceis de medir.

Algumas condições clínicas podem ser inferidas a partir das características dessas bandas. Na Figura 4, observam-se exemplos de ondas nessas faixas de frequência e suas respectivas amplitudes.



(a) Brain Rhythms

Figura 4 – Ritmos do cérebro.

Fonte: [Urigüen e Garcia-Zapirain \(2015, p.3\)](#)

Delta (0,5–4 Hz) é a faixa de frequências mais baixa de ondas cerebrais e relaciona-se ao estado de sono profundo. Podem estar presentes em sonolência, meditações, transe e

hipnose e situações de inconsciente. As ondas Theta (4 Hz a 7 Hz) são geradas pela mente inconsciente. São normalmente encontradas no processo anterior ao adormecimento e em sono profundo; picos muito elevados nessa faixa podem indicar associação com quadros depressivos e falta de atenção.

Vale lembrar, como afirma Luck (2014), que o cérebro está sempre em atividade, seja acordado, seja dormindo, recebendo ou não estímulos. Os sinais de EEG, no entanto, mudam drasticamente durante o sono e mostram uma transição de frequências mais rápidas para frequências cada vez mais lentas, como ondas alfa. De fato, diferentes estágios do sono são regularmente caracterizados de acordo com seu conteúdo espectral (URIGÜEN; GARCIA-ZAPIRAIN, 2015). Em princípio, as ondas de alta frequência são registradas durante a vigília. E as ondas de baixa frequência são mais observadas em estado de sonolência.

As ondas Alfa (8–13 Hz) estão relacionadas a um estado de relaxamento profundo. Trata-se de um momento intermediário entre o relaxamento e o sono. As Ondas Beta (14–30 Hz) já indicam um estado de vigília, consciência, foco e atenção. Ondas Gama (> 30 Hz) possuem a maior faixa de frequências e têm uma vibração muito rápida. No entanto, não é tão comum captá-las nos eletroencefalogramas devido à sua baixa amplitude. Em geral, as ondas gama estão associadas a tarefas de alto poder cognitivo, tais como: memória, aprendizagem, registro de informações, percepção e sentidos.

Pfurtscheller e Aranibar (1978) afirmam que, ao longo de um teste cognitivo, a ativação cortical pode ser analisada por meio de alterações das ondas cerebrais. Segundo os autores, normalmente, as amplitudes das ondas alfa diminuem durante a realização desses testes comparativamente a períodos de descanso, sugerindo que haja alterações das ondas cerebrais diante de um esforço cognitivo. Desse modo, os sinais de eletroencefalograma podem ser úteis também para avaliar estados de esforço cognitivo e fadiga.

Vale lembrar que os sinais de eletroencefalograma são frequentemente contaminados por vários artefatos, como: piscar de olhos, movimentos oculares e atividade muscular e cardíaca, que normalmente não são de interesse para um determinado estudo. Em geral, esses artefatos podem afetar os sinais de EEG e interferir nos potenciais relevantes ou dominantes nos potenciais relacionados a eventos (ERPs). Os ERPs medem as respostas cerebrais como resultados de uma entrada específica na forma de eventos sensoriais, cognitivos, de memória ou motores. Dessa forma, busca-se remover esses artefatos para que o EEG contenha apenas atividade cerebral (PARK; HA; KIM, 2021).

Artefatos oculares consistem no movimento dos olhos e piscadas. O eletrooculograma (EOG) mede a atividade elétrica produzida pelo movimento dos olhos. Esses movimentos são captados principalmente pelos eletrodos frontais. A força de interferência depende da proximidade dos eletrodos aos olhos e à direção em que os olhos estão se movendo. O ato de piscar também faz com que a gravação de EEG fique contaminada,

normalmente com uma mudança mais abrupta do que a produzida pelo movimento dos olhos, que está associado a uma maior frequência. Além disso, a amplitude da piscada é normalmente bem maior que a do plano de fundo da atividade EEG.

Artefatos musculares: consistem na atividade miogênica (resposta muscular). O eletromiograma (EMG) mede a atividade elétrica na superfície do corpo causada pela contração dos músculos. Este artefato é típico de pacientes que estão acordados e ocorre quando o paciente engole, fala, anda, etc, sendo mais prejudicial em ambientes não controlados. As formas e amplitudes das interferências dependem do grau de contração muscular. O EMG pode ser detectado em todo o couro cabeludo em função da condução de volume da atividade miogênica gerada por músculos em toda a cabeça, rosto e pescoço.

O eletrocardiograma (ECG) mede a atividade elétrica do coração. A amplitude da atividade cardíaca no couro cabeludo é geralmente de baixa amplitude. Artefatos de pulso ocorrem quando um eletrodo de EEG é colocado sobre um vaso pulsante, como uma artéria do couro cabeludo, gerando ondas periódicas que podem se assemelhar à atividade do ECG.

Há também artefatos de transpiração, que são ondas lentas causadas por deslocamentos da linha de base elétrica de certos eletrodos; e, em menor grau, a resposta simpática da pele, que também consiste em ondas lentas e é uma resposta autonômica produzida por glândulas sudoríparas e potenciais da pele. Por fim, há ainda outros artefatos possíveis que incluem movimentos da língua, restaurações dentárias com metais diferentes, respiração e interferências eletrodérmicas causadas pela sudorese. Entretanto, esses artefatos não serão tratados neste estudo, uma vez que são bem menos importantes.

Existem outras fontes de contaminação para o EEG, entre as quais o ruído de linha de 60 Hz, o qual pode ser reduzido por meio de blindagem e aterramento apropriados. Esse artefato pode ser suprimido com um filtro sintonizado que rejeita a frequência de 60 Hz.

Artefatos também podem ser removidos usando técnicas como Análise em Componentes Independentes (ICA). Em princípio, os movimentos oculares e as piscadas são tratados extensivamente como artefato do EEG na literatura e sempre orientada a remoção, pelo fato de estarem sempre presentes nas gravações do EEG e também por possuírem características de tempo, espaço e frequência mais previsíveis do que outros tipos de artefato (URIGÜEN; GARCIA-ZAPIRAIN, 2015). Os procedimentos baseados em ICA são uma boa opção para a obtenção de um EEG limpo e de melhor qualidade de sinal, embora nem sempre separem completamente o artefato de fontes cerebrais. Neste estudo, centrar-se-á no artefato de EOG, uma vez que é solicitado ao sujeito não realizar qualquer tipo de movimentação.

Park, Ha e Kim (2021) afirmam, no entanto, que embora existam várias ferramentas

para eliminar esses ruídos do sinal, outros fatores também podem afetar os sinais, tais como: mudanças no estado mental referente a estresse, emoção, carga cognitiva e potenciais gerados por batimentos cardíacos, levando a uma diminuição no desempenho.

Um tipo relevante de forma de onda que é examinado independentemente da atividade de EEG de fundo é o potencial relacionado a eventos (ERP). Os ERPs são sinais determinísticos, no sentido de que são respostas a estímulos ou eventos e não espontâneos como os ritmos. Potenciais relacionados a eventos (ERPs) fornecem um método poderoso para interpretar a relação entre a mente humana e o cérebro.

Segundo Luck (2014), o EEG corresponde a dezenas de fontes de atividades neuronais, isto é, capta o conjunto dessas atividades, o que torna difícil isolar processos cognitivos individuais. Contudo, o autor sustenta que, encontrando-se incorporadas ao EEG, as respostas neuronais correspondentes a eventos sensoriais, cognitivos e motores, é possível extraí-las do EEG global. Essa extração se dá por uma técnica de média simples, a promediação, em que a atividade neuronal de cada um dos eletrodos de uma região é registrada e posteriormente somada e dividida pelo número de eletrodos. Além disso, o estímulo é repetido centenas de vezes. Cada uma dessas repetições também é somada e dividida pelo número de repetições. Nesse processo, a resposta ao estímulo tende a se reforçar e a atividade aleatória de fundo tende a se cancelar. Desse modo, tem-se um retrato da média de todas as variações das atividades neuronais de um sujeito durante um período de tempo de registro. Luck (2014) também mostra que há outras técnicas mais sofisticadas como, como análise de tempo-frequência para avaliar a resposta neuronal. Segundo o autor, essas repostas são chamadas de potenciais porque se tratam de potenciais elétricos relacionados a eventos específicos.

Em 1929, Hans Berger mostrou que a atividade elétrica do cérebro humano podia ser medida por meio de eletrodos no couro cabeludo, amplificando o sinal, e traçando as alterações de tensão ao longo do tempo. A atividade elétrica do cérebro também foi discutida pelos fisiologistas Adrian & Matthews, em 1934, e os detalhes das observações de Berger foram confirmados por Jasper e Carmichael (1935) e Gibbs, Davis e Lennox (1935). Estas descobertas levaram à aceitação do EEG como um fenômeno real. Em 1965, um grande avanço foi a descoberta do componente P300 por Sutton, Braren, Zubin, e John (1965). Era o início das investigações sobre atividade elétrica do cérebro sob o efeito de um tipo de estímulo. Nesse caso, descobriu-se que o estímulo suscitava um grande componente positivo que atingia um pico cerca de 300 ms pós-estímulo. Chamaram o componente P300 ou P3.

O eletroencefalograma (EEG) constitui uma medida ampla da atividade cerebral e não pode ser utilizado em sua forma original para avaliar a maioria dos processos neurais altamente específicos que são o enfoque primordial na neurociência cognitiva. Isso ocorre em parte devido ao fato de que o EEG representa uma complexidade de diversas fontes neurais

distintas de atividade, o que dificulta o isolamento de processos neurocognitivos individuais. No entanto, embutidas nas leituras do EEG, estão as respostas neurais relacionadas a eventos associados a estímulos sensoriais, cognitivos e motores específicos, sendo possível extrair essas respostas do sinal geral do EEG por meio da aplicação de técnicas de média simples (bem como técnicas mais avançadas, como análises tempo-frequência). Essas respostas específicas são reconhecidas como potenciais relacionados a eventos, indicando que se referem a potenciais elétricos ligados a eventos específicos (LUCK, 2014).

A pesquisa moderna sobre ERP teve seu início em 1964, quando Gray Walter e sua equipe relataram o primeiro elemento cognitivo de ERP, ao qual deram o nome de Variação Negativa Contingente, ou CNV. Cada experimento nesse estudo envolveu a apresentação aos participantes de um sinal de alerta, como um clique, seguido por um estímulo-alvo. Quando não havia uma tarefa específica, tanto o sinal de alerta quanto o estímulo-alvo provocavam as respostas sensoriais esperadas para esses tipos de estímulos. No entanto, quando os participantes tinham que pressionar um botão ao detectar o alvo, uma tensão negativa marcante era observada nas regiões frontais dos eletrodos durante o intervalo entre o sinal de alerta e o alvo. Essa tensão negativa, conhecida como CNV, claramente não se limitava a uma resposta sensorial, mas parecia representar a preparação dos participantes para o próximo estímulo. Esse achado motivou diversos pesquisadores a iniciarem investigações sobre os aspectos cognitivos das respostas de ERP.

As formas de sinal ERP consistem em uma sucessão de variações positivas e negativas na tensão, as quais estão associadas a um conjunto subjacente de elementos. Embora certos elementos do ERP possuam designações abreviadas (como variação negativa contingente, CNV, e negatividade relacionada ao erro, ERN), a maior parte deles é identificada por meio de uma letra (N/P) que indica a polaridade (negativa/positiva), seguida por um número que denota a latência aproximada em milissegundos ou a posição ordinal do elemento na onda. A título de exemplo, um pico negativo, geralmente o primeiro pico discernível na onda, surgindo aproximadamente 100 milissegundos após a apresentação de um estímulo, é normalmente referido como N100 (demonstrando que sua latência é de 100 ms após o estímulo e que é de natureza negativa) também denominado N1 (indicando ser o primeiro pico e ser negativo). Esse pico costuma ser sucedido por um pico positivo, frequentemente conhecido como P200 ou P2. As latências notificadas para os elementos do ERP costumam variar consideravelmente, sobretudo para os elementos posteriores relacionados ao processamento cognitivo do estímulo. A título de exemplo, o elemento P300 ou P3 pode exibir um pico entre 250 ms e 500 ms. Neste estudo, optamos pela denominação centesimal N100, P100, P200, P300 etc.

De acordo com Luck (2014), as médias das formas de onda ERP resultantes compreendem uma sucessão de deflexões positivas e negativas na tensão, denominadas picos, ondas ou componentes. Esses picos são identificados como P1 (P100), N1 (N100),

P2 (P200), N2 (N200) e P3 (P300). As letras P e N são convencionalmente empregadas para denotar o positivo e o negativo, respectivamente. O número está associado à posição de um pico dentro da forma de onda (por exemplo, P2 é o segundo pico positivo mais proeminente). Alternativamente, o número pode refletir a latência do pico. Além disso, os componentes também podem ser designados por paradigmas ou nomes fundamentados em sua função.

P100 tipicamente inicia entre 60 e 90 ms pós-estímulo com um pico entre 100 e 130 ms. A onda P100 também é modulada por atenção seletiva e pelo estado de excitação do sujeito. Segundo Luck (2014), a amplitude da onda P100 pode ser aumentada na condição de alta excitação. A onda P100 é seguida pela onda N100. Existem vários subcomponentes visuais do N100, ou seja, existem vários componentes distintos que se somam para formar o pico N100. Esses componentes não são necessariamente relacionados funcionalmente e são chamados de subcomponentes. O primeiro subcomponente N100 tem pico entre 100 e 150 ms pós-estímulo e outros que atingem o pico entre 150 e 200 ms pós-estímulo. De acordo com Luck (2014), muitos estudos têm mostrado que todos os três subcomponentes de N100 são influenciados pela atenção e sugere algum tipo de processamento discriminativo. A onda N100 ou pelo menos alguns subcomponentes podem ser influenciados pela atenção.

O componente P200 apresenta maior amplitude em resposta a estímulos que possuem características de alvo, e esse efeito se intensifica quando os alvos são relativamente pouco frequentes. O efeito P200 é observado somente quando o alvo é indicado por um estímulo bastante simples, ao passo que o efeito P300 pode surgir em relação a categorias de destino de alta complexidade. No caso do N200, um estímulo não direcionado e repetitivo resultará em uma resposta de deflexão N200, que pode ser interpretada como o N2. Uma amplitude mais significativa é detectada na janela de latência N200 em resposta aos estímulos repetitivos não convencionais.

O P300 representa um componente de potencial associado a eventos que surge durante o processo de tomada de decisão. É considerado um potencial endógeno, uma vez que sua manifestação não está ligada às características físicas de um estímulo, mas sim à resposta de uma pessoa a esse estímulo. De maneira mais precisa, há a crença de que o P300 reflita os processos envolvidos na avaliação ou categorização de estímulos. O termo P300 é usado para se referir ao componente ERP canônico, também chamado de P3 ou o mais nebuloso dos componentes (POLICH, 2007). Os termos P300a e P300b denotam a distinção entre os dois subcomponentes. Em geral, a onda P3 frontal é elicitada por estímulos realmente inesperados ou surpreendentes. Porém, há muitas controvérsias em torno do P300. Para (LUCK, 2014), não há um consenso claro sobre quais processos neurais ou cognitivos são refletidos pela onda P300, nem ao menos algo consensual sobre o que seja o P3. Contudo, o autor chama a atenção para o comportamento dos estímulos frente ao P300, dizendo que estudos mais recentes têm evidenciado que a amplitude do

P300 torna-se maior quando os sujeitos dedicam mais esforço a uma tarefa, levando a crer que a amplitude P300 possa ser usada como uma medida de alocação de recursos atencionais. Em contrapartida, a amplitude do P300 tende a diminuir quando o sujeito não tem certeza de que um dado estímulo é padrão ou não. Nesse contexto, se a tarefa é mais difícil, o P300 tende a se elevar por dedicar mais esforço para a realização da tarefa e reduzir em momentos de incerteza. No entanto, o autor reconhece que não há uma regra específica para isso. Porém, há bastantes discussões em torno disso.

Polich (2007) e Luck (2014) afirmam que a amplitude do P300 depende do estímulo e da tarefa a partir dos dados obtidos com o paradigma *oddball*. Polich (2007) define que o paradigma *oddball* compreende diferentes tipos de procedimentos: com um único estímulo, em que raramente é apresentado o alvo sem outros estímulos ocorrendo simultaneamente; estímulo duplo quando apresenta um alvo pouco frequente e em um fundo de estímulos padrão frequente e três estímulos *oddball*, em que é apresentado um alvo pouco frequente em um fundo de estímulos padrão que ocorrem com frequência e raramente estímulos distratores ocorrendo. Em cada caso, o sujeito é instruído a responder mentalmente ou fisicamente ao estímulo-alvo e não responder de outra forma. Para quaisquer desses modelos de tarefa, o componente P300 é medido pela avaliação de sua amplitude e latência.

Para Polich (2007), a amplitude é determinada pela diferença entre a média da tensão basal pré-estímulo e o valor máximo positivo do pico na forma de onda ERP, durante um intervalo de tempo específico, por exemplo, 250-500 ms, embora essa faixa possa variar conforme a modalidade do estímulo, condições da tarefa, idade do sujeito, etc. Para Polich (2007), a amplitude P300 é sensível à quantidade de recursos de atenção envolvidos durante o desempenho de dupla tarefa. Por exemplo, quando uma tarefa primária com demandas cognitivas é realizada enquanto o sujeito também está envolvido em uma tarefa secundária de contar mentalmente estímulos alvo excêntricos. À medida que a dificuldade da tarefa principal aumenta, a amplitude do P300 da tarefa excêntrica diminui independentemente da modalidade ou dos requisitos motores da tarefa primária. Para (POLICH, 2007), tarefas mais difíceis ou múltiplas demandas vão reduzir a amplitude do P300 e aumentar a latência. Logo, a interpretação do P300 depende do tipo de tarefa e estímulo. O autor ainda discute que estímulos passivos podem apresentar amplitudes menores no P300 comparados a tarefas mais ativas, pois recursos atencionais são usados para o desempenho da tarefa.

Vale lembrar que a análise do P300 pode indicar ainda a latência da categorização dos estímulos, uma vez que a diferença de amplitude entre os estímulos raros e padrão não ocorre antes que o cérebro os tenha categorizado como raro ou frequente (LUCK, 2014). Sendo assim, os estímulos raros para o P300 podem indicar a surpresa e, conseqüentemente, a alocação da atenção. No caso da fadiga em questão neste estudo, a avaliação da diferença de amplitude e latência do P300 pode indicar o despendimento de recursos atencionais para a realização da tarefa.

2.2 O Estado de Fadiga Humana e os Processos Neurofisiológicos

A fadiga humana pode ter várias manifestações. A fadiga humana pode ser dividida em fadiga física e fadiga mental (AI *et al.*, 2017). A fadiga mental tem sido uma preocupação na vida moderna. Esse tipo de fadiga refere-se à disfunção cerebral que leva à fadiga das células nervosas (MIZUNO *et al.*, 2011). Para AI *et al.* (2017), resume-se em, além de uma disfunção cerebral, um estado de desconforto fisiológico.

Em geral, refere-se a um estado fisiológico após a realização intensa de tarefas mentais ou por longo prazo. Sob esse aspecto, a fadiga pode ser entendida como esforço ou por atividade realizada por muito tempo. Takács *et al.* (2019) acreditam que tem ocorrido um aumento intensivo do trabalho mental por exigências profissionais em contraposição às demandas físicas. Normalmente, a fadiga está associada a outros fatores como privação de sono e estados emocionais como desânimo, estresse e alterações de humor (TAKÁCS *et al.*, 2019; AI *et al.*, 2017). Para AI *et al.* (2017), um ambiente de trabalho ruim, tarefas difíceis, ausência de tempo para descanso também podem ser causas possíveis para a fadiga mental. Em todas as circunstâncias, esse estado é superior à automotivação, fazendo com que o sujeito tenha declínio das atividades cognitivas.

Ambiente de trabalho ruim, tarefa difícil ou pouco tempo de descanso, falta de sono e outros fatores objetivos podem destruir a capacidade fisiológica e psicológica e ter efeito de fadiga. Com o surgimento da fadiga mental, geralmente as pessoas perdem o interesse por um trabalho ou tarefa, têm emoções negativas e ficam cansadas. (MIZUNO *et al.*, 2011, p.200).

Já é sabido que a fadiga humana não traz benefícios e é preditiva a acidentes de trabalho. O acúmulo da fadiga mental ou cognitiva resulta em um aumento da probabilidade de cometer erros, suscetibilidade a acidentes, operar máquinas, tomada de decisões, entre outros riscos operacionais (XIAO *et al.*, 2019; KRIGOLSON *et al.*, 2021; CAMMU; HAENTJENS, 2012; FLETCHER *et al.*, 2005).

No campo educacional, a fadiga mental é cogitada como causa prejudicial para a cognição, tanto de profissionais, quanto de profissionais, comprometendo o desempenho cognitivo (KANFER, 2011). A fadiga corresponde a um fenômeno natural de múltiplos efeitos. Doerr *et al.* (2015) demonstraram que a fadiga está presente no campo universitário. Os autores avaliaram alunos em duas condições diferentes da vida cotidiana considerando as condições: em cinco dias no início do semestre (controle condição) e em cinco dias durante a preparação para exames finais (condição de exame). Traçaram também uma correlação entre fadiga e estresse, bem como a influência do sono no mesmo público, encontrando um aumento significativo da fadiga nos períodos de exames por meio de medida de cortisol e aplicação de escalas psicométricas além de uma positiva associação entre os níveis médios

de estresse do dia anterior com níveis médios de fadiga no dia seguinte. A associação entre fadiga momentânea e o estresse momentâneo foi estatisticamente significativo.

Doerr *et al.* (2015) descobriram que a fadiga e o estresse estão fortemente associados quando medidos simultaneamente, o que revela que a experiência de estar estressado e cansado podem equivaler a dois sintomas de uma resposta geral ao estresse. Sob esse aspecto, Takács *et al.* (2019) defendem que a fadiga mental está relacionada a estados aversivos como falta de energia, tédio e tensão, normalmente acompanhado por um desejo de interromper a atividade. Em termos comportamentais, diz respeito a uma incapacidade de manter o desempenho. Conseqüentemente, caracteriza-se por uma atividade cognitiva mais lenta com comprometimento de sua eficiência. Logo, um trabalho sob fadiga está diretamente ligado a um esforço para a realização da tarefa.

Para Takács *et al.* (2019), entende-se por esforço cognitivo a ativação da atenção do indivíduo sobre a tarefa, ainda que em condições estressoras, isto é, o sujeito despende seu foco atencional embora as condições naturais o impeçam de ter melhores condições de desempenho. Alguns estudos têm estabelecidos na literatura que a fadiga mental tem causado impactos negativos no desempenho cerebral (KRIGOLSON *et al.*, 2021; HOPSTAKEN *et al.*, 2015). Os estressores correlacionados ao esforço cognitivo podem incluir maior dificuldade de tarefa, sonolência ou fadiga mental.

O estado de fadiga é comumente conhecido e presente na vida diária. Normalmente, a sensação de cansaço é observada após alguma atividade de esforço físico ou mental. Em termos cognitivos, ao realizar uma atividade como análise de dados por longo tempo, dar uma palestra ou preparação de impostos (WYLIE *et al.*, 2020; GERGELYFI *et al.*, 2015; LIU *et al.*, 2020a). São exemplos de como esse cansaço pode ser facilmente reconhecido por quem o executa, pois são atividades que exigem recursos cognitivos tanto na preparação, quanto na execução.

Os autores apontam que, embora a investigação da fadiga cognitiva ou mental ainda seja restrita na literatura, algumas ferramentas neurocientíficas tem sido utilizada para investigar esse tipo de fadiga, tais como: EEG (eletroencefalograma), imagens ópticas, fMRI e pupilometria. Porém, o enfoque dado pelos autores corresponde ao fMRI para descrever as áreas cerebrais relacionadas à fadiga. Sob esse aspecto, os autores destacam: o corpo estriado dos gânglios basais, córtex pré-frontal ventromedial, córtex cingulado anterior dorsal, córtex pré-frontal ventromedial, córtex congulado anterior dorsal, córtex frontal dorsolateral e a ínsula anterior. Logo, trata-se de uma circuitaria envolvendo diversas áreas em ativação.

De acordo com Mizuno *et al.* (2011), existem várias ferramentas de avaliação e previsão da fadiga mental, tais como: (i) método de avaliação subjetiva (ii) com base no desempenho do método de avaliação da tarefa (iii) avaliação eletrofisiológica (iv) avaliação do movimento ocular. Neste estudo, adotou-se a avaliação eletrofisiológica com a utilização

do EEG/ERP. Afinal, como alegam [Magnuson, Doesburg e McNeil \(2021\)](#), o EEG fornece indícios mais diretos da alteração dos processos cognitivos e é uma ferramenta que trabalha com o espectro de potência da atividade neural, de forma que cada banda reflete o processamento de informações específicas do sistema nervoso central.

Os autores ressaltam que investigações experimentais de indução de fadiga tem utilizado, de um modo geral, a privação de sono e manipulação cognitiva contínua. Nesse caso, no estudo em questão, objetivou-se analisar a manifestação da fadiga natural sem indução, pois a avaliação eletrofisiológica foi aplicada após um dia normal de provas finais em uma universidade brasileira. [Ai et al. \(2017\)](#) já consideram que os métodos mais tradicionais de induzir a fadiga para fins experimentais são: privação do sono e manipulação cognitiva contínua. Nesse sentido, analisar a fadiga dos estudantes que já se encontram em estado de privação de sono representa uma forma indicada de avaliar a fadiga de forma natural, sem a necessidade de indução. Embora a correlação entre fadiga e sonolência seja forte, tanto em termos de causa, no que diz respeito à privação do sono, quanto em termos de efeito, em estados de extrema fadiga, [Krigolson et al. \(2021\)](#), [Fonseca et al. \(2018\)](#) afirmam que não há um consenso definido sobre a definição de fadiga cognitiva, bem como dessa correlação. Porém, a fadiga cognitiva difere-se da sonolência ([KRIGOLSON et al., 2021](#); [PHIPPS-NELSON](#); [REDMAN](#); [RAJARATNAM, 2011](#)).

A fadiga pode também estar relacionada a um sistema de recompensa, quando há maior despendimento de energia e esforço para a realização da tarefa. À medida que há maior esforço na tarefa, proporcionalmente, a fadiga aumenta. Em princípio, o sujeito tem uma motivação para a realização da tarefa e esta é conduzida por esse recurso. No entanto, como uma resposta natural ao esforço, tem-se um declínio da motivação e no desempenho da tarefa, quando o estado de fadiga ultrapassa os limites do que o organismo determina como processo suportável. Embora, o sistema de recompensa e a motivação não seja o foco deste estudo, vale lembrar a importância deles para a manutenção da realização da tarefa e para a sustentação da execução da tarefa, apesar da fadiga. Os autores ainda reforçam que os sujeitos integram vias interoceptivas para a tomada de decisão se continua exercendo o esforço ou não.

Em se tratando de possíveis causas, os estudos de fadiga têm proposto a indução como fonte de delimitação ou recorte das inúmeras possibilidades causais para a fadiga. Os estudos de [Wylie et al. \(2020\)](#) tiveram como uma das limitações a dificuldade de distinguir a fadiga por tédio, e da fadiga por diminuição de recursos cognitivos, ao tentarem induzir fadiga em indivíduos saudáveis e analisar como a conectividade funcional entre as regiões cerebrais mudava de acordo com o aumento da fadiga cognitiva.

Como se trata de uma condição subjetiva, muitos estudos tem medido o estado de fadiga por autorrelatos e escalas psicométricas. [Wylie et al. \(2020\)](#) destacam que a fadiga também pode ser identificada e analisada por marcadores do sistema nervoso central. Como

afirmam [Magnuson, Doesburg e McNeil \(2021\)](#), os processos neurais são caracterizados com EEG pela amplitude e latência. Em outras palavras, a atividade neural pode ser captada pela análise das ondas cerebrais, ondas eletromagnéticas fornecidas pela atividade elétrica das células cerebrais. A cada atividade elétrica dos neurônios, as ondas podem se modificar quanto a amplitude e latência. O EEG pode ser usado para detectar e medir a fadiga cognitiva e também fornece uma maneira viável de estabelecer um biomarcador para a fadiga cognitiva ([KANFER, 2011](#); [CLAYTON; YEUNG; KADOSH, 2015](#)).

A amplitude de oscilação de uma onda diz respeito à distância máxima entre o ponto de vibração da onda e o seu eixo de equilíbrio, enquanto a latência corresponde ao intervalo de tempo decorrido entre o início do estímulo e a resposta da onda. Os componentes dessas ondas refletem processos cognitivos distintos. Sendo assim, quando a onda é negativa em termos de amplitude, é denominada de N200, um componente negativo que atinge um pico de 200 a 300 ms pós-estímulo, enquanto P300 é um componente positivo que atinge um pico de 300 a 500 ms pós-estímulo e reflete processos cognitivos de estágio posterior.

[Krigolson et al. \(2021\)](#) afirmam que a fadiga cognitiva não afeta apenas os espectros de energia do EEG, mas também os ERPs corticais. Sendo assim, os autores destacam a importância de se estudar ambos os recursos juntos. Para [Wylie et al. \(2020\)](#), um importante marcador que pode ser administrado pelo EEG é o componente P300 presente nos potenciais relacionados a eventos - ERP. Comumente chamado de Potencial Evocado Auditivo de Longa Latência, o P300 é considerado um potencial cognitivo, bastante utilizado na literatura para analisar estados atencionais por meio de um estímulo normalmente auditivo, normalmente com identificação da atenção e discriminação auditiva desse estímulo. O componente P300 também é proporcional aos recursos atencionais disponíveis ([MAGNUSON; DOESBURG; MCNEIL, 2021](#), p.2). Além disso, o P300 também tem sido relacionado a outras funções cognitivas como tomada de decisão, memória de trabalho, orientação, função executiva, funções motoras e somatossensoriais ([MAGNUSON; DOESBURG; MCNEIL, 2021](#)).

[Magnuson, Doesburg e McNeil \(2021\)](#) defendem que a fadiga mental tem como efeito uma atenção reduzida, distração e um prejuízo no processamento de informações. Sendo assim, não é sem razão que muitos estudos sobre fadiga mental utilizando EEG investigam a atuação do P300, pois este está atrelado à fadiga. [Krigolson et al. \(2021\)](#) apontam que em vários estudos, a amplitude é reduzida e a latência do componente P300 ERP mostraram alongadas, pelo aumento da fadiga cognitiva ([UETAKE; MURATA, 2000](#));([MURATA; UETAKE; TAKASAWA, 2005](#));([LAMTI et al., 2016](#));([KRIGOLSON et al., 2021](#)). os estudos de [Krigolson et al. \(2021\)](#), além de confirmarem essa atuação e comportamento do P300, observaram também a amplitude de componente diminuída, latência de componente aumentada entre o componente N200 ERP e percepção cognitiva da

fadiga, sugerindo que ambos aspectos do N200 também parecem ser potenciais marcadores para medir fadiga cognitiva, o que até o momento não tinha sido levantado.

De acordo com [Wylie *et al.* \(2020\)](#), vários estudos apontam que a amplitude do P300 correlaciona-se com a intenção de dispendimento atencional. Dessa forma, quando o sujeito ignora estímulos e se atenta para outra atividade, o índice do P300 diminui. Do mesmo modo, o P300 aumentará de amplitude quando houver maior atenção. Além disso, pode-se dizer que o P300 varia de acordo com a dificuldade da tarefa.

Nos estudos de [Takács *et al.* \(2019\)](#), ao testar o efeito da fadiga e o nível de P300 por ERP entre um grupo fadiga, que realizou uma tarefa cognitiva exigente e um grupo controle, que realizou uma tarefa leve e não exigente, observou-se que a fadiga autoavaliada aumentou significativamente no grupo fadiga em relação ao grupo controle, mas a fadiga não afetou o desempenho da tarefa durante a fase pós-teste, nem ao menos elevou os índices de potenciais relacionados a eventos. Embora a hipótese fosse de que haveria amplitudes aumentadas de P300, refletindo esforço compensatório, os resultados mostraram diferenças não significativas. Entretanto, os próprios autores assumem que o resultado é contrário a maioria dos estudos e suspeitam de possível erro metodológico, embora seja pouco provável. Nesse caso, o que se alega é que a resiliência cognitiva é existente e pode indicar que a perda de desempenho não seja tão inevitável da fadiga mental como se imaginava.

Já nos estudos de [Ai *et al.* \(2017\)](#), tentam induzir a fadiga mental por tarefa 2-back e mostram como é possível detectar a fadiga por EEG, analisando o P300 em termos de amplitude e latência em grupo de sujeitos em estado normal e grupos de sujeitos em estado de fadiga, durante pré-teste e pós-teste. Os autores concluíram que a tarefa 2-back é capaz de induzir a fadiga mental e foi possível detectar pela avaliação do P300. Porém, apenas reforçou a fadiga no grupo fadigado, não apresentando efeito significado de indução de fadiga no grupo normal. Nesse aspecto, pode-se observar que esse método é questionável e pode levar a possíveis contestações em torno dos meios de avaliação da fadiga induzida.

[Magnuson, Doesburg e McNeil \(2021\)](#) buscaram verificar os efeitos de uma tarefa cognitivamente exigente analisando tanto as ferramentas de EEG e percepções de fadiga, já bastante recorrentes na literatura, quanto análise do desempenho de tarefas comportamentais e motoras. Os autores buscaram avaliar o controle inibitório, isto é, a habilidade para inibir ou controlar respostas automáticas e criar réplicas usando a atenção e o raciocínio. Eles concluíram que a fadiga percebida foi elevada após a tarefa cognitiva, enquanto as habilidades motoras grossas e finas foram prejudicadas, ainda que as medidas motoras tivessem uma recuperação mais rápida em comparação a fadiga percebida e a potência alfa e teta. Com efeito, este estudo mostra que a fadiga mental também pode afetar o desempenho motor, ainda que de forma relativamente sutil.

Em Liu *et al.* (2020a), a influência da motivação foi analisada considerando o desempenho comportamental a atividade neural em níveis altos e baixos de vigiância. Os autores utilizaram recompensa monetária como critério motivacional para realização de tarefa em estado de fadiga. Acreditava-se que a recompensa alteraria o estado de fadiga em termos de recuperação. No entanto, descobriram que as deficiências relacionadas à fadiga, tanto no desempenho, quanto na atividade neural subjacente, melhoraram parcialmente após a manipulação da motivação. Na verdade, os resultados mostraram certa dissociação entre diminuição da fadiga e recompensa nos recursos atencionais. Isso implica dizer que a recompensa não provocará necessariamente uma diminuição da fadiga. Todavia, recompensas monetárias melhoraram a amplitude do P300, sugerindo que a recompensa possa ter contribuído para um maior controle atencional. Os autores alegam que muitas atividades da vida diária exigem atenção visual seletiva e isso é um fator considerável para o aumento da fadiga mental. Afinal, a todo o momento o indivíduo tem que filtrar estímulos irrelevantes.

Liu *et al.* (2020a) apontam que estudos anteriores já tinham identificado que o envolvimento prolongado em tarefas de atenção seletiva leva ao aumento de erros, metas de desempenho desativadas, motivação diminuída e um aumento da fadiga mental. Além disso, informam que a fadiga mental pode ser dividida em: fadiga ativa, fadiga passiva e controle motivacional, sendo a primeira relacionada a uma carga de trabalho excessiva por longo tempo resultando em um esgotamento dos recursos cognitivos; a segunda, relacionada a um estado de fadiga menor em tarefas longas, porém de nível fácil; a terceira, ao nível de disposição para realizar a tarefa. Sob esse aspecto, os autores acreditam que o controle motivacional desempenha um fator importante no decréscimo da vigiância, pois reflete a disposição para realizar a tarefa. Os autores corroboram com a ideia de que quando há esgotamento dos recursos energéticos, as pessoas deixam de manter o desempenho. A hipótese de Liu *et al.* (2020a) é a de que a recompensa monetária é uma ótima opção como motivação, pois melhoram o desempenho comportamental e a atividade neural em estado de baixa vigiância. Os autores utilizaram uma versão Tarefa Eriksen Flanker (Eriksen e Eriksen, 1974), utilizando um estímulo string de cinco letras com uma letra alvo central (M/N) e quatro letras flanker restantes (N/M).

Nas tentativas congruentes (MMMMM ou NNNNN), a letra alvo (a letra do meio na sequência de cinco letras) era idêntica aos flankers, enquanto nas tentativas incongruentes (MMNMM ou NNMNN), a letra alvo diferia dos flankers. A recompensa foi inserida no segundo e penúltimo blocos da tarefa composta por 7 blocos. Os resultados mostraram que foi demonstrada uma clara deterioração no desempenho comportamental e que no estado de baixa vigiância, a recompensa aumentou a amplitude do P300 para seu nível de alta vigiância, enquanto houve um aumento na latência juntamente com o decréscimo da vigiância. Os autores sugerem que mais estudos futuros possam analisar as mudanças em curso durante a execução da tarefa.

Além do prejuízo atencional provocado pela fadiga mental, a correlação com o desempenho da memória também foi discutido na literatura. [Xiao et al. \(2019\)](#) investigaram alterações na cognição no nível eletrofisiológico, analisando alterações na amplitude e latência dos componentes N100, P200, N200 e P300 dos potenciais relacionados a eventos quanto a erros e tentativas corretas durante o estado normal e com fadiga. Os autores ressaltam que a fadiga mental leva ao aumento de erros e até mesmo induzir acidentes. No entanto, a proposta deles foi estabelecer uma correlação entre a cognição prejudicada pela fadiga mental e a incidência de erros.

Para [Xiao et al. \(2019\)](#), os componentes N100, N200, P200 e P300 são os componentes dos potenciais relacionados a eventos (ERPs) que refletem diferentes funções em muitos processos cognitivos afetados pela fadiga mental ([XIAO et al., 2015](#)). Em termos de representação, N100 reflete os processos de reconhecimento e codificação. N200 está intimamente relacionado ao controle cognitivo na memória. P200 faz parte do processo de informação da memória relacionado ao início da atualização da memória e o P300 é considerado um componente de ERP muito importante relacionado à atenção, realocação de recursos cognitivos e atualização de memória ([XIAO et al., 2019](#)). Segundo os autores, há poucos estudos que examinam quais processos cognitivos são responsáveis por induzir ao erro. Os autores partem da hipótese de que quando os processos cognitivos são prejudicados, o cérebro não consegue subsidiar recursos para percepção ou resposta, levando ao erro. Dessa forma, acredita-se que uma maior taxa de erro durante a fadiga possa estar associado ao declínio desses processos.

[Xiao et al. \(2019\)](#) utilizaram o teste experimental 2-back e um questionário de fadiga para avaliar o autorrelato para medir estados afetivos, transitórios ou flutuantes. O questionário era composto pelos itens: clareza mental, atenção, sonolência, autoavaliação da fadiga e emoção. o questionário avaliou: concentração de atenção, sonolência, avaliação abrangente da fadiga (ou seja, a subescala fadiga) e emoção. Os participantes foram solicitados a descrever e pontuar seus sentimentos em uma escala que variou de 1 (menos fadiga) a 10 (fadiga extrema). Os resultados mostraram que a fadiga mental levou a um afeto negativo nos participantes. Os sentimentos de fadiga mental aumentaram enquanto os participantes terminavam a tarefa de 80 minutos. O inventário de autorrelato de cinco itens mostrou que surgiram muito mais estados afetivos negativos após a tarefa de longa duração.

O fator atencional e o efeito sobre a carga de trabalho também foi estudado por ([GHANI et al., 2020](#)), considerando que a alocação de recursos atencionais durante tarefas exigentes é importante para manter o desempenho delas. Os autores acreditam que tarefas exigentes aumentam a carga de trabalho cognitiva com uma redução correspondente dos recursos atencionais disponíveis para outras tarefas. Isso implica dizer que outras tarefas sofreram algum tipo de atraso ou mesmo impedimento para a realização dessas. Para eles,

avaliar a carga de trabalho cognitiva pode auxiliar no entendimento de como os níveis de dificuldade de uma tarefa podem afetar a carga de trabalho, assim como depreender o quão bem aprendida é uma tarefa.

Ghani *et al.* (2020) mediram a carga cognitiva de sujeitos saudáveis durante um jogo de tilt-ball enquanto tons eram apresentados em segundo plano para gerar potenciais relacionados a eventos (ERPs) em dados eletroencefalográficos (EEG). Os resultados comportamentais mostraram que a maior dificuldade da tarefa resultou em uma diminuição estatisticamente significativa no desempenho do jogo. Concomitantemente, avaliaram a carga de trabalho cognitiva, medindo a amplitude dos componentes iniciais do ERP (N100, P100 e P200) correspondentes à resposta involuntária de orientação da atenção. Os resultados deste estudo mostraram que a amplitude dos componentes iniciais do ERP, especificamente o componente N100, correspondeu à resposta involuntária de orientação da atenção que foi modulada pela dificuldade da tarefa, isto é, quanto maior a dificuldade da tarefa, maior o comprometimento da carga cognitiva. A amplitude do componente N1 diminuiu significativamente com um aumento na carga de trabalho cognitiva durante um paradigma ERP de tarefa única com tons auditivos irrelevantes para a tarefa (GHANI *et al.*, 2020). Na próxima seção, discute-se a correlação entre sono e fadiga, bem como a atuação de um sobre o outro.

2.3 Sono e Fadiga

O sono caracteriza-se por um estado de repouso do corpo e alteração do estado da consciência (JANOCHA; MOŁĘDA; SEBZDA, 2023). Trata-se de um estado fisiológico de caráter cíclico que decorre num ritmo circadiano (variação nas funções biológicas que se repete regularmente num período de 24 horas). Há uma redução da reatividade de estímulos, abrandamento das atividades fisiológicas como ritmo cardíaco e respiratório além de perda temporária da consciência. Durante o estado de repouso, com os olhos fechados, é esperado que as oscilações do EEG por ondas alfa estejam mais lentas. As fases do sono são divididas em NREM (movimento não rápido dos olhos) e REM (movimento rápido dos olhos).

Segundo Janocha, Mołęda e Sebzda (2023), o sono NREM é o mais valioso pelo seu caráter regenerador. É responsável por descansar as redes neurais subjacentes à função mental. Durante o sono REM, o registro do EEG é semelhante ao estado de vigília, apresentando um consumo geral de energia do cérebro tão alto quanto quando acordado. A fase NREM é importante para a formação de memórias, enquanto que na fase REM, mensagens são organizadas e integradas com memórias antigas, formando novas associações e padrões de experiência são criados e novos esquemas cognitivos e emocionais são construídos além de melhorar a neurogênese e a plasticidade sináptica.

O sono é essencial para a vida e aspectos psicossomáticos, processos cognitivos e formação de memória. Ademais, o sono também traz benefícios da sensação de bem-estar, redução do nível de estresse, desempenho físico e coordenação motora. Em contrapartida, a privação do sono traz efeitos negativos como a redução da eficiência intelectual e o pensamento criativo, reduz a capacidade de memorização e retenção de informação, alteração de humor e irritabilidade, assim como o desenvolvimento de fadiga e sonolência diurna, o que acarreta em respostas mais lentas, redução da concentração e atenção, tornando suscetível a maior quantidade de erros em atividades.

Para [Curcio, Ferrara e Gennaro \(2006\)](#), embora haja um consenso acerca da importância do sono para manter o desempenho, na agitação da vida diária, o sono é muitas vezes negligenciado. Desse modo, em prol das atividades diárias, algumas pessoas se sujeitam à privação do sono. Em alguns casos, o sono até mesmo é visto como tempo improdutivo ou desperdiçado. No entanto, os efeitos negativos da privação do sono afetam muito a capacidade cognitiva. Nesse rol, o estado de alerta e vigilância aparecem como os mais impactados.

O sono acumulado também é ressaltado por [Killgore \(2010\)](#), como um problema pouco observado, pois as pessoas tendem a restringir o sono por poucas horas sem se darem conta de que, durante certo tempo, essa prática pode levar a determinadas consequências. Nesse sentido, O autor aponta que restringir apenas algumas horas por noite, por exemplo, para 6h de sono, pode levar a uma lentidão significativa do tempo de resposta e se prolongado por 2 semanas pode atingir a níveis de deficiência, comparáveis a cerca de duas noites de privação total de sono. Uma restrição adicional a menos de 4h todas as noites pode levar a uma degradação contínua no desempenho de vigilância. A privação do sono ainda aumenta os lapsos de atenção, o que corresponde a prejuízos cognitivos.

A privação do sono está associada a uma redução da capacidade cognitiva dentro de uma rede de regiões cerebrais importantes para atenção, informação, processamento e controle executivo, incluindo o córtex pré-frontal, cíngulo anterior, tálamo, gânglios da base e cerebelo. De um modo geral, o desempenho de tarefas mais complexas é prejudicado, refletido por testes de memória de trabalho, fluência verbal e articulação da fala, linguagem, raciocínio lógico, criatividade, tomada de decisão e julgamento ([THOMAS et al., 2000](#)). Segundo [Killgore \(2010\)](#), a privação do sono leva a um aumento dos lapsos de atenção em número e tempo de duração. Em alguns casos, lapsos mais extensos podem representar microssonolência, isto é, pequenos momentos em que o sono pode interromper a vigília ([KILLGORE, 2010](#));([POUDEL et al., 2009](#)).

Uma correlação entre fadiga e sono foi estudada por ([LAVIDOR; WELLER; BABKOFF, 2003](#)). Os autores analisaram uma possível correlação entre as variáveis e as medições quantitativas e qualitativas do sono. Os resultados apontaram que havia uma correlação entre fadiga, depressão, níveis de somatização e qualidade do sono. A

somatização previu significativamente cansaço, fadiga mental, fadiga física e gravidade da fadiga, enquanto a qualidade do sono previu significativamente os escores de cansaço. Embora não tenham indicado uma relação causal entre as variáveis estudadas, o estudo sugere que a autopercepção do humor, somatização e qualidade do sono podem explicar melhor os níveis de fadiga que os aspectos quantitativos do sono. Sob esse aspecto, o que se discute neste estudo com os universitários é como uma possível correlação entre o cansaço, provocado pela alta demanda de estudos, estresse e a privação de sono referentes às horas de estudo para exames escolares, pode ser traçada.

3 METODOLOGIA

A base metodológica deste estudo centra-se numa pesquisa de carácter exploratório de cunho experimental, por partir de hipóteses que tem por objetivo ser úteis a estudos posteriores. Tem como princípio o método quase-experimental, também conhecido como pré-experimental, pois o estudo é realizado com um único grupo de sujeitos ou estudantes participantes, isto é, não há grupo controle, mudando-se apenas as condições deste grupo: com e sem fadiga em diferentes condições como antes e depois de uma prova de engenharia, que exige alta demanda cognitiva. Trata-se de um estudo do tipo analítico, observacional, longitudinal e prospectivo, composto de amostragem por conveniência.

Para a realização deste estudo, utilizou-se sequencialmente as seguintes fases: (i) uma revisão sistemática da literatura; (ii) análise de testes psicométricos por meio de questionários aplicados de forma online pelo Google forms por convite aos estudantes (n=115) de cursos de engenharia de duas universidades públicas brasileiras; (iii) análise neurofisiológica por meio de experimentação utilizando medidas de atividade cerebral por EEG e ERP com estudantes de engenharia (n=4).

Para triagem dos estudantes participantes, utilizou-se a técnica de questionário A (Apêndice A), contendo perguntas sobre a quantidade de horas de sono, nos três últimos dias próximos ao período de exames escolares, qualidade do sono, uso ou não de medicação, e se fez uso de alguma substância estimulante. Ademais, aplicaram-se as escalas psicométricas validadas para rastreamento de fadiga, sonolência e percepção do estresse. No experimento, utilizou-se a técnica da EEG e potenciais relacionados a eventos ou event-related potentials, ERP) em atividade *oddball* com tons puros para identificação da atividade neuronal em momento de descanso e momento de fadiga.

O *Oddball* trata-se de um tipo de desenho experimental utilizado dentro da pesquisa psicológica. Ele apresenta uma sequência de estímulos repetitivos intercalados com um estímulo desviante (raro). Dessa forma, a partir da resposta surpresa desse desviante, pode-se observar uma significativa variabilidade individual em termos de amplitude, latência e forma de onda entre diferentes sujeitos.

Sabe-se que um potencial relacionado a eventos na área parieto-central do crânio ocorre em torno de 300 ms após a apresentação de estímulos. Nesse caso, o chamado P300 é maior após o estímulo alvo. A onda P300 só ocorre se o sujeito estiver ativamente envolvido na tarefa de detectar os alvos. Sua amplitude varia de acordo com a improbabilidade dos alvos. Sua latência varia com a dificuldade de discriminar o estímulo alvo dos estímulos padrão. Assim, o *oddball* é bastante utilizado para se entender padrões de comportamento.

Utilizou-se o Paradigma Auditivo *Oddball* ou *Auditory Oddball Paradigm* (AERPs)

num total de 300 estímulos auditivos. Os tons foram de intensidade de 80 dB e subida/descida de 10 ms). Apresentaram-se os tons em uma série aleatória a cada 2 s (duração do tom de 1 s e intervalo entre estímulos de 1s). Os estímulos consistiram em alvo (2 kHz) e padrão (1500 Hz) estímulos apresentados com probabilidades de 0,20 e 0,80, respectivamente.

Os estudantes participantes foram instruídos a apenas ouvir os estímulos raros e padrão. Diferentemente de outras pesquisas em que os participantes eram solicitados somente a contar o número de estímulos, o objetivo deste estudo era observar alguma diferença em termos de potencial considerando a percepção e atividade cerebral do sujeito.

Os estudos de cognição normalmente usam um paradigma intruso ou estranho para estudar os efeitos da novidade e o significado do estímulo no processamento de informações.

A observação do P300, que ocorre 300ms após um estímulo, é bastante empregada no paradigma *oddball*. A onda P300 só ocorre se o sujeito estiver ativamente envolvido na tarefa de detectar os alvos. Sua amplitude varia de acordo com a improbabilidade dos alvos. Sua latência varia de acordo com a dificuldade de discriminar o estímulo alvo dos estímulos padrão. Dessa forma, a utilização de tons puros com elemento desviante pode ser bastante útil para se perceber alguma variação de potencial evocado, sobretudo em relação ao P300. Haja vista que, em geral, o P300 consiste em uma medida sensível subjacente aos processos de atenção e, em muitos estudos, relacionado à dificuldade da tarefa (IŞOĞLU-ALKAÇ *et al.*, 2007). Embora o P300 tenha uma atuação importante, este estudo procurou analisar, de um modo geral, todos os componentes observados no experimento.

Uma vez que o P300 demonstrou ser um componente cognitivo dependente de atenção na vigília, pode-se supor que ele estaria ausente durante o sono; um tempo em que se pensa que o processamento de informações dos estímulos externos é comumente inibido.

Para a análise dos dados de encefalograma, utilizou-se o ERP, um subconjunto do EEG. Refere-se a uma análise que permite identificar a atividade cerebral específica quando o indivíduo é exposto a determinados estímulos (internos ou externos). Trata-se de uma análise importante porque realiza medidas de potenciais quando na presença de estímulos, o que permite registrar a atividade cerebral, captar o momento exato de quando o estímulo foi produzido e, conseqüentemente, analisar os efeitos desse estímulo em termos neuronais. A atividade cerebral é captada por cada eletrodo. E por fim, calcula-se a grande média de todo o conjunto dos eletrodos utilizados. A figura a seguir demonstra como essa atividade pode ser identificada pelo eletroencefalograma:

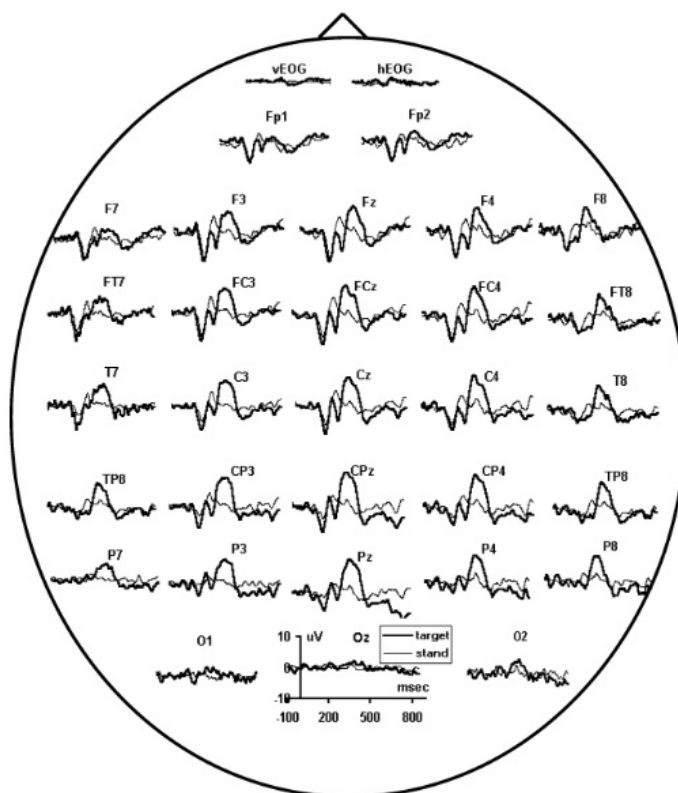


Figura 5 – Grande média da atividade cerebral - ERP.

Fonte: Işoğlu-Alkaç *et al.* (2007, p.493)

O EEG consiste em uma técnica comumente empregada para investigar o comportamento unimodal e processamento sensorial multimodal que produz potenciais espontâneos e relacionados a eventos (ERPs) no sistema nervoso central. Eles surgem em modalidades específicas em áreas corticais e estão normalmente relacionados aos processos de decisão e memória (IŞOĞLU-ALKAÇ *et al.*, 2007).

De acordo com Lopez-Calderon e Luck (2014), a técnica de potenciais evocados relacionados a eventos ERP é amplamente utilizada em pesquisas envolvendo processos sensoriais, cognitivos, afetivos e motores. A atividade é medida por eletroencefalografia (EEG). EEG é um registro da atividade elétrica cerebral usando eletrodos colocados no escalpe do sujeito. O EEG mede a atividade elétrica no cérebro e proporciona potenciais evocados ou potenciais relacionados com acontecimentos discretos. Os potenciais evocados são um conjunto de testes neurofisiológicos do sistema nervoso, que mede os sinais elétricos do processamento cerebral.

A coleta dos dados neurofisiológicos se deu, num primeiro momento, por meio de aparelho de eletroencefalograma (EEG), em momento antes da prova, isto é, em momento de descanso, sem prova e logo após a prova, utilizando-se tarefas com estímulos sonoros, tons puros.

3.1 Paradigmas para a Revisão Sistemática da Literatura

De acordo com [Moher *et al.* \(2009\)](#), uma revisão sistemática consiste em um tipo de revisão que parte de uma questão claramente formulada e usa métodos sistemáticos e explícitos para: identificar, selecionar, avaliar, coletar e analisar estudos incluídos, na revisão, por meio de critérios rígidos.

Para a realização da revisão sistemática da literatura, adotaram-se os seguintes critérios: PI(E)CO: P: POPULAÇÃO = estudantes universitários neurologicamente saudáveis; I: INTERVENÇÃO/INTERESSE/ EXPOSIÇÃO = fadiga mental induzida; C: COMPARAÇÃO = em estado de fadiga versus descanso; O: OUTCOME = alterações no desempenho atencional.

Para a seleção dos estudos, adotaram-se os critérios de inclusão: (i) estudos originais; (ii) estudos redigidos em inglês, espanhol e português, que abordassem a atenção em estudantes universitários; (iii) estudos que investigassem a fadiga mental; (iv) estudos que investigassem ERP e atenção; (v) estudos que investigassem ERP e fadiga mental. E Como critérios de exclusão: (i) estudos cuja faixa etária fosse diferente de adultos; (ii) artigos redigidos em línguas diferentes das selecionadas inicialmente; (iii) literatura cinzenta e estudos sem avaliação por pares; (iv) estudos que abordassem doenças ou síndromes de ordem neurológicas e neuropsicológicas de qualquer natureza; (v) estudos que não respondessem à pergunta-chave; (vi) estudos de outras áreas envolvendo questões físicas (fadiga muscular, neuromuscular, fadiga por atividade física ou fadiga visual e fadiga material/engenharia); (vii) estudos envolvendo relação homem-máquina com ênfase nas questões computacionais; (viii) estudos de magnetoencefalografia (MEG), uma técnica neurofisiológica que mede os campos magnéticos associados à atividade neuronal no cérebro; (ix) estudos de eletroneuromiografia; (x) estudos de fadiga com neuroimagem; (xi) estudos de revisão; (xii) fadiga relacionada a ritmos cardíacos; (xiii) estudos com modelo animal; (xiv) fadiga crônica.

A busca dos estudos foi dos últimos 10 anos, no intuito de incluir estudos mais recentes sem perder a sensibilidade e elegibilidade dos estudos. As bases de dados utilizadas foram: Pubmed, Science Direct, Web of science e PsycINFO (APA) em razão de sua extensão e qualidade dos estudos. A chave de busca empregada foi: ((ALL=(mental fatigue)) AND ALL=(ERP)) AND ALL=(attention). o número de estudos retornaram nas respectivas bases foram: Pubmed (2437); Science Direct (624); Web of Science (23); PsycInfo (7).

Para coleta e apresentação de dados, o protocolo ou recomendação PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) tem como princípio ajudar os autores nos relatórios das revisões sistemáticas ([MOHER *et al.*, 2009](#)). O PRISMA-P tem o propósito de orientar o desenvolvimento das revisões sistemáticas e

meta-análises, sob um protocolo que contém 27 itens de critério de seleção dos estudos e fluxograma, contendo o número de estudos incluídos e excluídos sob os critérios de elegibilidade e sensibilidade. Os 27 itens definidos pelo Prisma Group ([PRISMA Group, 2023](#)) são: 1) Identifique o artigo como uma revisão sistemática; 2) Apresente um resumo estruturado incluindo, se aplicável: referencial teórico; objetivos; fonte de dados; critérios de elegibilidade; participantes e intervenções; avaliação do estudo e síntese dos métodos; resultados; limitações; conclusões e implicações dos achados principais; número de registro da revisão sistemática. 3) Descreva a justificativa para a revisão no contexto do conhecimento existente; 4) Fornecer uma declaração explícita dos objetivos ou questões que a revisão aborda; 5) Especificar os critérios de inclusão e exclusão para a revisão e como os estudos foram agrupados para as sínteses; 6) Especificar todas as bases de dados, registros, sites, organizações, listas de referências e outras fontes pesquisadas ou consultadas para identificar estudos. Especifique a data em que cada fonte foi pesquisada ou consultada pela última vez; 7) Apresentar as estratégias de busca completas para todas as bases de dados, registros e sites, incluindo quaisquer filtros e limitações utilizados; 8) Especificar os métodos utilizados para decidir se um estudo atendeu aos critérios de inclusão da revisão, incluindo quantos revisores analisaram cada registro e relatório recuperado, se trabalharam de forma independente e, se aplicável, detalhes das ferramentas de automação utilizadas no processo; 9) Especificar os métodos utilizados para coletar dados dos relatórios, incluindo quantos revisores coletaram dados de cada relatório, se trabalharam de forma independente, quaisquer processos para obter ou confirmar dados com os investigadores do estudo e, se aplicável, detalhes das ferramentas de automação utilizadas no processo; 10) Listar e definir todos os desfechos para os quais os dados foram procurados. Especificar se todos os resultados compatíveis com cada domínio de desfecho em cada estudo foram buscados (por exemplo, para todas as medidas, pontos de tempo, análises) e, se não, os métodos usados para decidir quais resultados coletar; 10b) Listar e definir todas as outras variáveis para as quais os dados foram procurados (por exemplo, características dos participantes e intervenções, fontes de financiamento). Descrever quaisquer pressupostos feitos sobre informações ausentes ou não claras; 11) Especificar os métodos utilizados para avaliar o risco de viés nos estudos incluídos, incluindo detalhes das ferramentas usadas, quantos revisores avaliaram cada estudo e se trabalharam de forma independente, e, se aplicável, detalhes das ferramentas de automação utilizadas no processo; 12) Especificar para cada desfecho a medida de efeito (por exemplo, risco relativo, diferença média) usada na síntese ou apresentação dos resultados; 13a) Descrever os processos utilizados para decidir quais estudos eram elegíveis para cada síntese (por exemplo, tabulando as características das intervenções do estudo e comparando com os grupos planejados para cada síntese (item 5); 13b) Descrever quaisquer métodos necessários para preparar os dados para apresentação ou síntese, como o tratamento de estatísticas resumidas ausentes ou conversões de dados; 13c) Descrever os métodos usados para criar tabelas ou representações visuais dos resul-

tados de estudos individuais e sínteses; 13d) Descrever quaisquer métodos usados para sintetizar os resultados e fornecer uma justificativa para a escolha ou escolhas. Se uma meta-análise foi realizada, descrever o(s) modelo(s), método(s) para identificar a presença e a extensão da heterogeneidade estatística e o(s) pacote(s) de software utilizados; 13e) Descrever quaisquer métodos utilizados para explorar possíveis causas de heterogeneidade entre os resultados dos estudos (por exemplo, análise de subgrupos, meta-regressão (uma técnica estatística utilizada em revisões sistemáticas e meta-análises para investigar a relação entre características de estudos incluídos e os resultados desses estudos. Ela é usada para explorar a fonte de heterogeneidade entre os estudos e entender como determinadas variáveis podem influenciar os efeitos observados); 13f) Descrever qualquer análise de sensibilidade realizada para avaliar a robustez dos resultados sintetizados; 14) Descrever quaisquer métodos utilizados para avaliar o risco de viés devido a resultados ausentes em uma síntese (decorrente de viés de relato); 15) Descrever quaisquer métodos usados para avaliar a certeza (ou confiança) no corpo de evidência para um desfecho; 16a) Descrever os resultados do processo de busca e seleção, desde o número de registros identificados na busca até o número de estudos incluídos na revisão, idealmente usando um diagrama de fluxo; 16b) Citar estudos que possam parecer atender aos critérios de inclusão, mas que foram excluídos, e explicar o motivo da exclusão; 17) Citar cada estudo incluído e apresentar suas características; 18) Apresentar avaliações do risco de viés para cada estudo incluído; 19) Para todos os desfechos, apresentar, para cada estudo: (a) estatísticas resumidas para cada grupo (quando apropriado) e (b) uma estimativa de efeito e sua precisão (por exemplo, intervalo de confiança/credibilidade), idealmente usando tabelas estruturadas ou gráficos); 20a) Para cada síntese, resuma brevemente as características e o risco de viés entre os estudos contribuintes; 20b) Apresente os resultados de todas as sínteses estatísticas conduzidas. Se uma meta-análise foi realizada, apresente para cada uma a estimativa resumida e sua precisão (por exemplo, intervalo de confiança/intervalo credível) e medidas de heterogeneidade estatística. Se estiver comparando grupos, descreva a direção do efeito; 20c) Apresente os resultados de todas as investigações das possíveis causas de heterogeneidade entre os resultados dos estudos; 20d) Apresentar os resultados de todas as análises de sensibilidade conduzidas para avaliar a robustez dos resultados sintetizados; 21) Apresentar as avaliações do risco de viés devido a resultados ausentes (decorrentes de viés de relato) para cada síntese avaliada; 22) Apresentar as avaliações da certeza (ou confiança) no corpo de evidência para cada desfecho avaliado; 23a) Fornecer uma interpretação geral dos resultados no contexto de outras evidências; 23b) Discutir quaisquer limitações das evidências incluídas na revisão; 23c) Discutir quaisquer limitações dos processos de revisão utilizados; 23d) Discutir as implicações dos resultados para a prática, políticas e pesquisas futuras; 24a) Fornecer informações de registro para a revisão, incluindo o nome do registro e o número de registro, ou afirmar que a revisão não foi registrada; 24b) Indicar onde o protocolo da revisão pode ser acessado, ou afirmar que um

protocolo não foi preparado; 24c) Descrever e explicar quaisquer emendas às informações fornecidas no registro ou no protocolo; 25) Descrever as fontes de apoio financeiro ou não financeiro para a revisão, e o papel dos financiadores ou patrocinadores na revisão; 26) Declarar quaisquer interesses concorrentes dos autores da revisão; 27) Relatar quais dos seguintes materiais estão publicamente disponíveis e onde podem ser encontrados: formulários de coleta de dados modelo; dados extraídos dos estudos incluídos; dados usados em todas as análises; quaisquer outros materiais utilizados na revisão. Para averiguar o risco de viés, utilizou-se a escala Robis ([Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos. Departamento de Ciência e Tecnologia, 2017](#)). De acordo com o protocolo Prisma, deve-se mencionar o potencial de risco de viés e as limitações. Para tanto, verificou-se que uma das limitações se referia ao tipo de estudo encontrado. Normalmente, as escalas de risco de viés trabalham com estudos de intervenção. Logo, essa foi uma das limitações deste estudo, tendo em vista que os estudos encontrados na seleção não abordavam intervenção, mas eram observacionais. A ferramenta ROBIS desempenha uma avaliação abrangente, analisando tanto o risco de viés presente na revisão como a pertinência da pergunta de pesquisa a ser abordada. Especificamente, ela examina: 1) se os métodos empregados na revisão sistemática foram eficazes na minimização do risco de viés nas estimativas consolidadas e nas conclusões; e 2) se a formulação da pergunta de pesquisa em cada revisão avaliada está alinhada com a pergunta de pesquisa que seria respondida, por exemplo, em uma visão geral de revisões sistemáticas ou em uma diretriz. O viés se manifesta quando erros sistemáticos ou limitações no desenho, execução ou análise da revisão impactam os resultados. A evidência proveniente de uma revisão pode ter sua relevância comprometida se a questão abordada na revisão não estiver em sintonia com a pergunta apresentada em uma visão geral ou diretriz. Sendo assim, observou-se se os estudos encontrados condiziam com a pergunta norteadora deste estudo. Na escala [Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos. Departamento de Ciência e Tecnologia \(2017\)](#), o baixo risco de viés corresponde a esforços que foram realizados para deixar a pergunta e os objetivos da revisão bem definidos e para justificar que critérios de elegibilidade adequados foram preconizados na revisão. Dessa forma, analisou-se cuidadosamente cada um dos estudos selecionados nesta revisão, observando esses critérios.

3.2 Seleção dos Participantes e Diretrizes Éticas

O presente trabalho é fruto de um projeto maior, desenvolvido, orientado por Hani Camille Yehia submetido à aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG (COEP), CAAE: 58783822.4.0000.5149 / PARECER UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, aprovado em 22 de agosto de 2022. Uma vez aprovado, iniciaram-se as atividades, realizadas no ano de 2022.

Para os testes experimentais, selecionaram-se os estudantes de forma aleatória e voluntária durante a aplicação de uma prova de uma disciplina do curso de engenharia de uma universidade pública brasileira. O grupo de participantes era constituído por alunos de graduação, neurologicamente saudáveis, todos falantes do Português Brasileiro.

Os estudantes participantes foram convidados a participar da pesquisa, de forma espontânea e voluntária, alunos da escola de Engenharia que estavam em períodos de provas finais de disciplinas consideradas difíceis e que exigiam preparação de horas de estudo e privação de sono, além do esforço cognitivo durante a realização da prova, a fim de garantir que o estado de fadiga seja aquele provocado por tarefas cognitivas e atividades da vida cotidiana do indivíduo. Dessa forma, definiram-se como critérios de inclusão as condições já mencionadas e a faixa etária de 18-30 anos. Como critérios de exclusão determinou-se que seriam descartados os sujeitos com queixa ou diagnóstico de perda auditiva; sujeitos com algum problema neurológico, neuropsiquiátrico ou transtornos de aprendizagem; sujeitos sob uso de algum medicamento psiquiátrico ou sob uso de estimulantes.

Antes do início das atividades, os estudantes participantes foram informados quanto ao caráter voluntário da pesquisa e que todos os dados obtidos seriam sigilosos. Todos os estudantes participantes assinaram os Termos de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) para aplicação dos testes psicométricos e aplicação dos testes *oddball* com coleta de EEG/ERP.

Os dados coletados foram os registros neurofisiológicos da atividade cerebral antes e após a realização de uma prova específica, utilizando eletroencefalograma (EEG) para gravação e análise. Coleta de dados não implicou em risco para os sujeitos participantes, além dos que eles já estão expostos na vida diária, conforme resolução CNS 510/2016 do Comitê de Ética em Pesquisa (COEP).

Segundo CNS 674 de 06 de maio de 2022, este estudo se enquadra na Coleta dirigida de dados: atividade com interação presencial ou em ambiente virtual, realizada com o propósito de gerar ou de coletar dados que serão analisados na pesquisa, incluindo entrevistas, aplicação de questionário e de escalas, preenchimento de formulários, realização de atividade com grupo focal, uma vez que prevê também a aplicação de escalas psicométricas. Prevê a anonimização, conforme Art. 2, item II: utilização de meios técnicos razoáveis e disponíveis no momento do tratamento, por meio dos quais um dado perde a possibilidade de associação, direta ou indireta, a um indivíduo.

Para garantir a confiabilidade e ética em pesquisa, os dados coletados foram preservados no anonimato, sobretudo aqueles utilizados nas escalas psicométricas. Os dados correspondem à opinião pessoal dos estudantes, sendo portanto, dispensável de aprovação pelo Comitê de ética em pesquisa, como prevê o Art.26, da resolução 674 CNS, V - Pesquisa realizada exclusivamente com informações ou dados já disponibilizados de forma

agregada, sem possibilidade de identificação individual. A mesma resolução prevê ainda que a ética em pesquisa implica o respeito pela dignidade humana e a proteção devida aos participantes das pesquisas científicas envolvendo seres humanos. Sendo, portanto, aplicado o anonimato dos dados dos estudantes participantes e da universidade onde foram aplicadas as escalas psicométricas para preservação dos dados e do cumprimento da ética em pesquisa.

Garantiu-se também, a plena liberdade do participante sobre sua participação voluntária e gratuita, manutenção de sigilo e privacidade, durante todas as fases da pesquisa.

3.3 Escalas Psicométricas

Utilizaram-se medidas subjetivas de fadiga, contendo 4 escalas sendo 2 de Sonolência (Karolinska e Epworth), 2 de Fadiga (Yoshitake e Samn-Perelli). Após a tabulação dos dados, aplicou-se o teste de normalidade para verificar o tipo de distribuição das possíveis variáveis a fim de realizar os estudos estatísticos.

As escalas de Karolinska ([ÅKERSTEDT; GILLBERG, 1990](#)) e de Samn-perelli ([SAMN; PERELLI, 1982](#)) medem, respectivamente, o grau de sonolência e de fadiga momentâneo. Para tanto, elas auxiliaram para o entendimento de como os estudantes universitários se sentiam em relação ao próprio estado de sonolência e fadiga em épocas de provas escolares. Ademais, elas ajudaram na triagem para a análise de EEG/ERP. As escalas de Yoshitake ([YOSHITAKE, 1971](#)) e Epworth ([JOHNS, 1993](#)) medem o grau geral de fadiga e de sonolência do indivíduo. Portanto, foram aplicadas juntamente com as de Karolinska ([ÅKERSTEDT; GILLBERG, 1990](#)) e de Samn-perelli ([SAMN; PERELLI, 1982](#)) para complementação do estado de fadiga e também auxiliaram na triagem dos sujeitos participantes, uma vez que foram aplicadas em período de realização das provas escolares. Embora a escala de Sam-perelli seja bastante utilizada para a realidade de fadiga aeronáutica, ela também é empregada em vários contextos. Trata-se de uma adaptação e tradução para a Língua Portuguesa. Afinal, como aponta [Cassiano \(2017\)](#), a adaptação da escala proposta por Samn e Perelli em 1982 refere-se a uma adequação de aspectos conceituais, linguísticos e contextuais para aplicação brasileira, uma vez que a versão original é voltada para o contexto estadunidense.

Cada uma das escalas possui escore próprio. A escala de Sam- Perelli contempla os seguintes estágios: pontuação de escore 1 a 3 corresponde ao estágio IV. Nesse estágio, o sujeito está suficientemente alerta. Não há prejuízo de performance em função da fadiga. Pontuação 4 corresponde ao estágio III e indica fadiga leve e possível prejuízo de performance, porém de forma não significativa. Pontuação de 5 a 6, considerado estágio II, indica fadiga moderada a severa. Nesse estágio, pode haver algum possível prejuízo de

performance. No estágio I, correspondente a pontuação 7, há a indicação de uma fadiga severa. Nesse estágio, a performance está definitivamente comprometida.

Na escala de Yoshitake, o escore pode variar de 30 pontos (menor fadiga) até 150 pontos (maior fadiga), indicando eventual queda nas atividades físicas e cognitivas de um indivíduo quanto aos diferentes modos de percepção da fadiga. Para tanto, os escores foram analisados individualmente e em conjunto, considerando a média simples dos resultados obtidos das respostas dos sujeitos participantes do estudo. Considerando-se a subdivisão em graus proposta neste estudo, as marcações variam entre “nunca”, que gera 1 ponto e significa ausência do fator fadiga para aquele item avaliado; “raramente”, gera 2 pontos – representando fadiga leve; “às vezes”, gera 3 pontos – fadiga moderada; “muitas vezes”, gera 4 pontos – fadiga grave; “sempre”, gera 5 pontos – fadiga extrema. Os escores totais em graus são: 30 – ausente; 31 a 60 – leve; 61 a 90 – moderada; 91 a 120 – grave; 121 a 150 – extrema.

A escala de Epworth contém um questionário que avalia a probabilidade de adormecer em oito situações envolvendo atividades cotidianas. De acordo com [Johns \(1993\)](#), a sonolência pode ser considerada como um estado considerado a sonolência um estado que envolve sentimentos de cansaço ou fadiga que precedem ao início do sono. Portanto, sugere uma correlação entre sono e fadiga. A pontuação varia de 0 a 24 pontos, sendo que a partir de 10 pontos já é considerado sonolência diurna excessiva. Em termos de níveis, tem-se Sonolência Excessiva (SE) normal quando os resultados vão de 0 a 6; SE limite quando os resultados vão de 7 a 9 pontos; SE leve quando os resultados vão de 10 a 14; SE moderada quando os resultados vão de 15 a 20; E SE grave para resultados acima de 20 pontos.

A escala Karolinska, Karolinska Sleepiness Scale - KSS) é considerada uma escala de sonolência; é subjetiva e avalia a sonolência no momento atual. Nessa escala, o participante indica o seu nível de sonolência que ele se identifica. A escala inicia com o nível ("muito alerta" ou "extremamente alerta) a extremamente sonolento, lutando contra o sono, correspondendo a 9 pontos na escala. O último nível indica muito esforço para ficar acordado. Em todos os estágios, há uma correlação entre fadiga e sonolência. As pontuações de 1 a 3 são estágios de alerta. Os estágios 4 a 6 são hipovigilantes; os estágios 7 a 8 sonolentos e 9 extremamente sonolento.

De caráter complementar, aplicou-se a escala de percepção de estresse-10 (EPS-10) ([COHEN; KAMARCK; MERMELSTEIN, 1983](#));([REIS; HINO; AÑEZ, 2010](#)), a fim de verificar possível correlação entre fadiga e estresse. O escore obtido com a soma de todos os itens desta escala é utilizado como medida de estresse percebido. No entanto, como os itens 4,5,7 e 8 são positivos, por esta razão devem ter a pontuação revertida, sendo: 0=4, 1=3, 2=2, 3=1 e 4=0. Aplicando essa recomendação, somam-se todos os pontos.

De um modo geral, as escalas foram avaliadas para análise do estado de fadiga

e sonolência dos estudantes no período de provas. O propósito era confirmar se esses estados, além do estresse, estavam presentes na realidade universitária. Portanto, não se teve a preocupação em comparar os estados de descanso e de fadiga, mediante análise das escalas psicométricas, para todos os respondentes. Os sujeitos respondentes eram todos de cursos de engenharia de três universidades públicas brasileiras. Os questionários foram aplicados online, mediante convite e liberação de acesso do link Google forms. A seleção dos estudantes foi aleatória.

3.4 Equipamentos e Características Técnicas

Para a coleta de dados de eletroencefalograma, utilizou-se o Sistema Internacional 10-20. Trata-se de um sistema um padrão universal para posicionamento dos eletrodos no scalp, criado pelo comitê da International Federation of Societies for Eletroencephalography and Clinical Neurophysiology. O sistema prevê 19 pontos de coleta, localizados ao longo do escalpe e dos pontos de referência (REF), eletro-oculograma (EOG) e aterramento (GND).

O sistema internacional 10-20 tem esse nome em função de os eletrodos estarem posicionados a 10 e 20 por cento de distâncias entre marcas anatômicas bem definidas: distância nasion-inion e distância interauricular, descritas na figura abaixo:

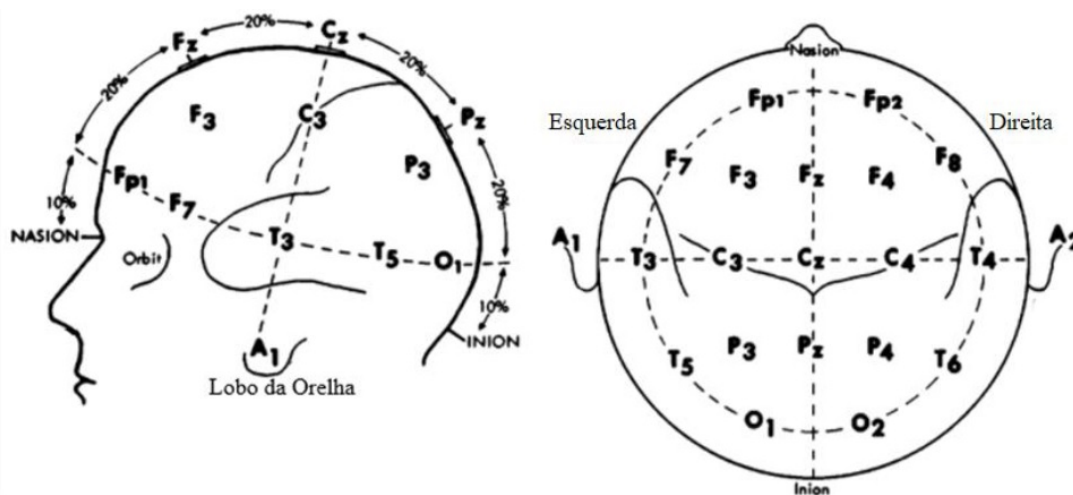


Figura 6 – Sistema internacional 10-20.

Fonte: FERREIRA, OLIVEIRA e BONAVIDES (2010)

O equipamento utilizado para a coleta de dados, modelo BWII EEG da Neurovirtual. O equipamento pertence ao CEFALA (Centro de Estudos da Fala, Acústica, Linguagem e Música – Laboratório da Escola de Engenharia UFMG), onde foram realizadas todas as coletas. O instrumento é certificado pelo Inmetro sob definições técnicas, conforme apresentado na figura abaixo:



Figura 7 – Eletroencefalógrafo BWII.

Fonte: <https://neurovirtual.com/br/equipamento/bw-iii-plus/>. Acesso em: 10 de outubro 2022

Tabela 1 – Características técnicas do BWII EEG produzido pela Neurovirtual

Conversor analógico/digital		Entrada e amplificação	
Características	Valores	Características	Valores
Resolução	12 Bits	Storage rate	200 Hz
Tempo de conversão	15 μ S	Canais AC	Até 32 canais
Fluxo de Dados	Microprocessado	Sensibilidade	1 μ V à 500 μ V
Sampling rate	1.000 Hz	Filtro de baixa	0,16 Hz à 10 Hz
		Filtro de alta	15 Hz à 100 Hz
		Faixa de Frequência	0,16 Hz à 100 Hz
		Impedância de entrada	> 50 M Ω

Nota. Adaptada de Neurovirtual (2009). Manual do Usuário BWII EEG PSG (Ed. rev.).

Fonte: Adaptada de Neurovirtual (2009). Manual do Usuário BWII EEG PSG (Ed. rev.)

Utilizou-se a touca de eletroencefalografia para correto posicionamento dos eletrodos. A touca é do modelo MSCcap-26, produzida pela Medical Computer Systems Ltda, de acordo com as especificações do Sistema Internacional 10-20, conforme (NOMENCLATURE, 1991), e compatível com o equipamento da Neurovirtual. Na figura a seguir, mostra-se o modelo da touca utilizada, conforme ilustração abaixo. A imagem do rosto do participante foi distorcida por questões éticas de preservação da imagem.



Figura 8 – Touca de eletroencefalograma.

Fonte: Elaborada pela autora

Os eletrodos utilizados foram do tipo Ag/AgCl passivos, produzidos pela Medical Computer Systems Ltda. Utilizou-se gel condutor apropriado para a impedância dos eletrodos. Como ponto de referência para os eletrodos, utilizou-se o ponto A2 (lóbulo da orelha direita). Na figura abaixo, é apresentado o tipo de eletrodo mais utilizado atualmente:



Figura 9 – Eletrodo MCScap.

Fonte: <https://kandel.com.br/acessorios/eeg/>. Acesso em: 06 de outubro 2022

O eletrodo MCScap-E é indicado para pesquisas que precisam de rápida remoção dos eletrodos para limpeza e desinfecção. Esse tipo de eletrodo possui estabilidade de sinal e não entra em contato direto com a pele. É preciso, portanto, uma substância condutora. Para isso, há um orifício no eletrodo para se introduzir o gel condutor. Para o eletro-oculograma (EOG), e posterior eliminação de artefatos relativos aos movimentos oculares. Utilizaram-se os pontos médios entre a sobrancelha direita e esquerda e os eletrodos FP1 e FP2.

Os dados coletados foram registrados por meio do software BWAnalysis, Versão 1.100.0.181 x64 PVD26, que é parte integrante do sistema BWII. É por meio dele que os registros e a captação e revisão dos exames de EEG são feitos normalmente. Para o tratamento dos dados, utilizou-se o software Brainstorm, versão 3.220524 (24-May-2022), uma ferramenta de código aberto baseado no MatLab e dedicada à visualização e processamento de dados de magnetoencefalografia (MEG) e eletroencefalografia (EEG).

O Brainstorm, desenvolvido por pesquisadores da University of Southern California (USC), está documentado e disponível gratuitamente para download online com licença pública geral (acesso: <https://neuroimage.usc.edu/brainstorm/Introduction>).

3.5 Características das Coletas

Os participantes foram estudantes de graduação de cursos de engenharia de uma universidade pública brasileira. Quatro estudantes de engenharia participaram do estudo, as idades eram de 21 a 26 anos. A proposta era investigar experimentalmente o potencial cerebral relacionado a eventos (ERP) de todos os participantes, em momento de fadiga, isto é, após a realização de uma prova de engenharia e em momento de descanso, em um dia que não haveria exames acadêmicos. Realizou-se, inicialmente, o experimento com 2 sujeitos de idades de 21 e 22 anos. Os sujeitos foram submetidos ao mesmo experimento e às mesmas condições sem a contagem de estímulos.

Num segundo momento, realizou-se o experimento com mais 2 participantes de idades de 22 e 23 anos, que contaram mentalmente estímulos sonoros durante a gravação dos registros de EEG, sob as mesmas condições que os demais sujeitos, isto é, em estado de fadiga e em estado de descanso (sem atividades de provas acadêmicas) nos dias próximos à coleta. Os sujeitos analisados podem ser considerados como um estudo piloto, sugerindo que estudos futuros realizem ou reproduzam o experimento com um número maior de sujeitos.

Ao todo, totalizaram-se a coleta e análise de 4 participantes. Os registros analisados referem-se ao potencial relacionados a eventos por se tratarem de uma série transitória de oscilações de voltagem no cérebro após um evento discreto (MURATA; UETAKE; TAKASAWA, 2005). Não foi solicitada tarefa experimental cognitiva, tal como os estudos de Murata, Uetake e Takasawa (2005), que normalmente usam tarefas de somar mentalmente números e exigir algum tipo de resposta, uma vez que a intenção deste estudo é verificar ERP a partir de som puro e identificar possíveis diferenças de potencial nos estados de fadiga e descanso.

Acredita-se que a ausência de uma inserção de tarefa cognitiva ao experimental revele a fadiga não induzida, ao estado natural das oscilações cerebrais, diferenciando-se dos estudos de fadiga na literatura, que normalmente a induzem por meio de um conjunto de tarefas. Contudo, na última etapa dos experimentos, optou-se por permitir que os sujeitos contassem estímulos. Embora a tarefa não fosse equivalente às da literatura em que haveria operações aritméticas para induzir a fadiga, a intenção era apenas verificar possíveis diferenças entre os resultados de ERP entre os grupos de sujeitos analisados. Sendo, portanto, 2 sujeitos que não contaram estímulos sonoros e 2 sujeitos que contaram os estímulos.

Após a realização de uma prova de engenharia, os sujeitos participantes foram direcionados ao Laboratório Cefala, localizado nas dependências da escola de engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG. Os estudantes participantes foram convidados a participar do experimento e aceitaram voluntariamente ao convite. A duração

da tarefa experimental foi de 15 minutos. A tarefa foi individualizada dentro de uma cabine de isolamento acústico. Os sujeitos foram convidados a assentar-se numa cadeira diante de uma tela de computador e assistir a um vídeo, sem qualquer áudio ou texto, que serviu como um efeito distrator. A distância de visualização foi de cerca de 50 cm.

Os sinais de EEG foram registrados por meio de eletrodos Ag/AgCl de Cz de acordo com o sistema 10-20. A referência foi afixada nos lóbulos das orelhas. O EEG foi registrado comparando-o com o eletrodo de referência. O eletrodo terra foi fixado em C3 na linha média. Um eletrooculograma (EOG) também foi registrado por meio de eletrodos colocados acima e abaixo do olho esquerdo para determinar o nível de rejeição de sinais de EEG, que pudessem interferir nos resultados do sinal, com movimentos oculares ativos (rápidos).

O ERP foi registrado usando uma tarefa *oddball*. Nesta tarefa, dois tipos de tons puros foram apresentados aos estudantes participantes. Um era um tom puro de 1 kHz, enquanto o outro era um tom puro de 2 kHz. As probabilidades de aparecimento de tons puros de 1 e 2 kHz foram de 0,8 e 0,2, respectivamente. Neste estudo, utilizou-se um vídeo com conteúdo de paisagens, sem áudio, como efeito distrator a fim de que o participante não fixasse a atenção aos estímulos sonoros. A intenção era verificar a atividade cerebral em resposta aos eventos. Nesse caso, o sujeito foi ordenado a apenas assistir ao vídeo como efeito distrator e a ouvir os tons puros, que serviram como estímulos sonoros. O experimento foi dividido em duas condições: 1) o sujeito apenas ouvia o estímulo (condição passiva); 2) o sujeito contava os estímulos raros, enquanto ouvia, condição (ativa). Assim, dois dos quatro participantes não contaram estímulos (tons puros, desviantes ou raros), numa condição (passiva) e dois dos quatro participantes contaram estímulos condição (ativa). A intenção do uso de tons puros era validar a resposta automática do cérebro frente um tom desviante. Afinal, o cérebro tende a se acostumar com um tom padrão repetitivo e à medida em que aparece um tom desviante ou raro emite uma resposta de percepção desse tom. No caso do estudo da fadiga versus descanso, a intenção era verificar essa percepção pelo cérebro cansado e descansado, bem como observar possíveis diferenças de potencial. O nível de pressão sonora dos estímulos raros (tom puro de 2 kHz) foi de cerca de 65 dB(A). Antes de iniciar a tarefa experimental, os sujeitos foram convidados a responder a avaliação psicológica da fadiga para então participarem da sessão experimental. [Murata, Uetake e Takasawa \(2005\)](#) relataram que a amplitude e a latência do P300 podem ser usadas para avaliar a fadiga mental induzida durante uma tarefa de VDT (video display terminal). Em princípio, os componentes do P300 são úteis para identificar a profundidade do processamento de informações cognitivas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados da Revisão Sistemática

A partir da seleção dos estudos para elaboração do referencial teórico e explanação dos resultados dos testes de EEG, apresentam-se os resultados da parte teórica deste estudo. A busca eletrônica recuperou 3091 estudos. Desses, após a remoção das duplicatas, restaram 3086. Sete estudos foram incluídos manualmente para compor o quadro de componentes associados à fadiga mental. Assim, totalizaram-se 3093. Aplicaram-se os critérios de inclusão e exclusão, totalizando 3061 excluídos, restando 32 estudos incluídos por elegibilidade. No entanto, desse montante 7 estudos foram excluídos por não atenderem diretamente à fadiga mental e ERP, ocasionando a seleção de 25 estudos para a síntese qualitativa e leitura na íntegra, conforme descrito no fluxograma Prisma (Fig. 10), a seguir.

Nos estudos incluídos nesta revisão, observou-se que o componente P300 (ocorrendo entre 250 a 500 ms após o estímulo)(POLICH, 2007) é o mais debatido na literatura, considerando os 10 anos selecionados para a revisão sistemática. 21 estudos destacaram o P300 como um dos componentes principais para a observação do desempenho atencional e avaliação da carga cognitiva em paradigmas que envolvem tarefas únicas. É um componente endógeno (gerado internamente pelo cérebro em resposta a estímulos cognitivos) positivo que pode ser localizado na região fronto-central (p300a) ou centro-parietal (p300b), dependendo da novidade do estímulo (SOKHADZE *et al.*, 2017). Em princípio, o P300 tende a diminuir em estado de fadiga e sonolência e a aumentar em esforço ou sobrecarga da memória de trabalho. Em seguida, o P200 aparece como o segundo componente mais estudado na literatura, apresentando também redução da amplitude em estado de fadiga e privação de sono, podendo elevar-se em situações de dificuldade da tarefa e tempo de execução da tarefa. Por último, o N100 também foi destacado em vários estudos, podendo elevar-se diante de tempo prolongado de tarefa, despendimento de recurso atencional ou diminuir sob condição de fadiga e sonolência, ou ainda, dependendo do tipo e quantidade de tarefas, sobretudo em tarefas simultâneas. Alguns estudos investiram na análise do estado de repouso, mostrando alteração no ritmo alfa, podendo elevar-se em alfa1 nas regiões frontal e temporal ou diminuir o poder alfa2 na região parietal. Logo, a revisão indicou, de um modo geral, que há mais estudos envolvendo análise do comportamento atencional e memória de trabalho que estudos analisando estado de repouso e dupla tarefa, envolvendo correspondência com análise de ERP. Nas tabelas 2, 3 e 4 a seguir, mostram-se os estudos selecionados e a correlação com a fadiga e sonolência. Para melhor identificação dos resultados, utilizar-se-á o sinal (-) para indicar redução e (+) para indicar ampliação ou elevação do potencial.

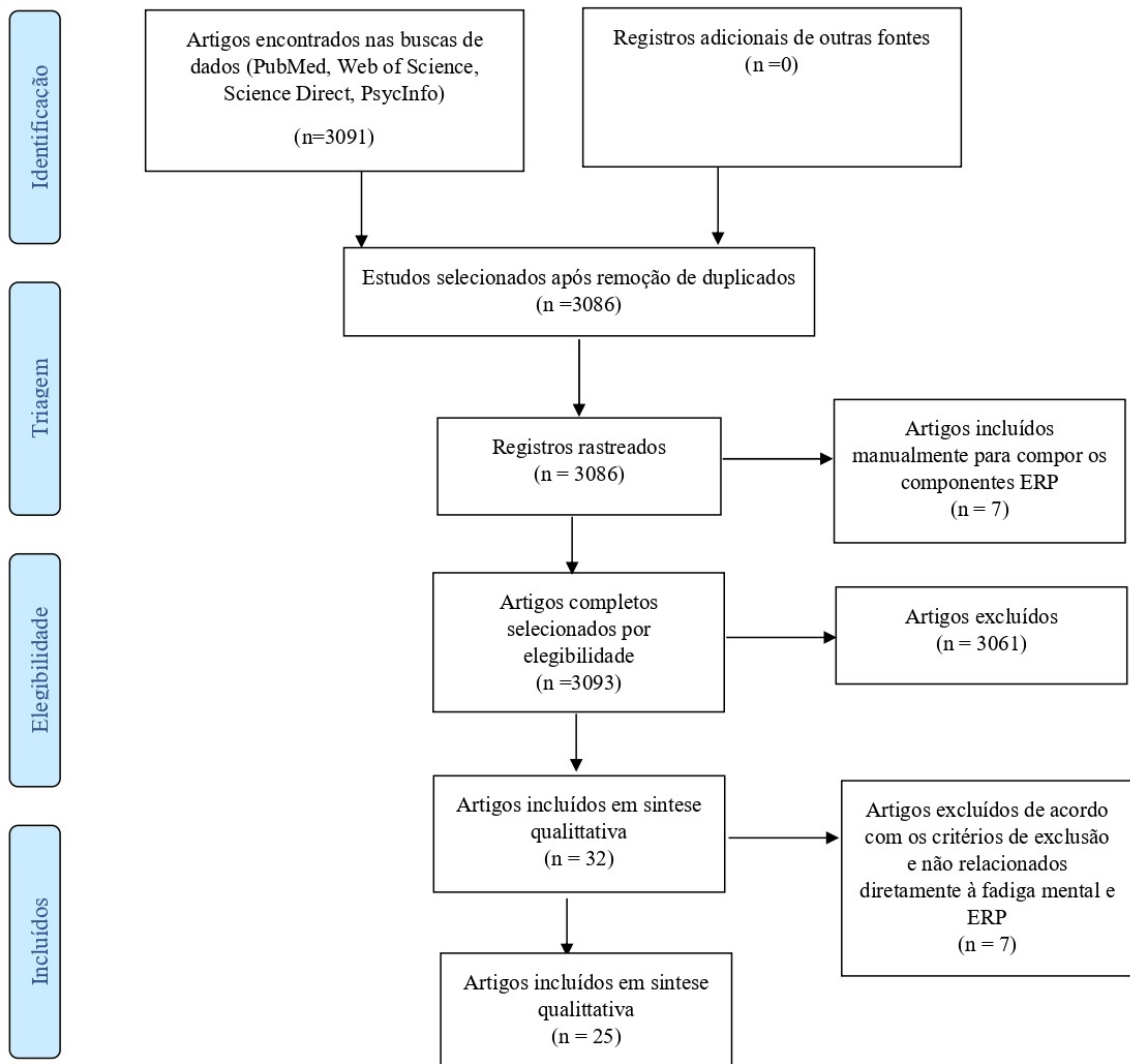


Figura 10 – Fluxograma PRISMA.

Fonte: Elaborada pela autora, a partir de Moher *et al.* (2009)

Tabela 2 – Características dos estudos incluídos

N	Autor	Objetivo	Metodologia	Componente	Principais achados
1	Lamti, Khelifa e Hugel (2019)	Modelo que possa estimar a fadiga mental de usuários	Estímulos intermitentes são introduzidos para executar a tarefa P300	P300 amplitude (-)	Pico máximo e latência e SSVEP onde as ondas das bandas Alfa e beta têm correlações significativas
2	Guo <i>et al.</i> (2018)	Explorar a influência prejudicial da fadiga mental na inibição da resposta do motorista	Tarefa Go/NoGo antes e depois de 90 minutos tarefa de manipulação de fadiga	Tempo de reação (+) P300 amplitude (-)	A fadiga mental é prejudicada pela fadiga.
3	Li <i>et al.</i> (2020a)	Investigar como a estrutura da rede é atualizada do repouso para a tarefa P300 de forma a garantir o processamento da informação na tarefa <i>oddball</i>	EEG-fMRI relacionado a eventos simultâneos	P300 amplitude (-)	P300 maiores) correspondiam a arquiteturas cerebrais em repouso bem organizadas que foram pré-configuradas de forma eficiente.
4	Mun, Kim e Park (2014)	Respostas comportamentais e os correlatos do potencial relacionado a eventos auditivos (ERP) da fadiga mental causada pela visualização tridimensional (3D) móvel	Os participantes foram instruídos a pressionar a barra de espaço no teclado sempre que detectassem o som apresentado apenas no lado atendido com a maior precisão e rapidez possível, ignorando os sons do outro lado	P200 amplitude (-) Tempo de reação (+)	O grupo fatigado apresentou tempos de resposta significativamente mais longos após a visualização 3D móvel em comparação com antes da visualização. A fadiga mental 3D prejudica a atenção seletiva
5	Krigolson <i>et al.</i> (2021)	Demonstrar a capacidade do MEG e medir dados de ERP e EEG, examinar a relação entre fadiga cognitiva percebida	EEG- ERP	P300 amplitude (-)	Combinação linear de recursos de ERP e EEG é uma preditor significativamente melhor de fadiga cognitiva percebida do que qualquer recurso de ERP ou EEG sozinho
6	Takács <i>et al.</i> (2019)	Verificar se os efeitos da fadiga seriam mais pronunciados nas funções cognitivas, refletindo o esforço compensatório.	comparamos P3a antes (pré-teste) e após (pós-teste) uma tarefa cognitivamente exigente de 2 horas (grupo fadiga, n=18) ou pouco exigente (grupo controle, n=18). Duas tarefas auditivas, uma novidade de três estímulos excêntrico e uma discriminação de duração	P300 amplitude (+)	Amplitudes aumentadas e P3a refletindo esforço compensatório. o desempenho comportamental e o P300a, o P300b também permaneceu inalterado. Interpretamos essas descobertas como evidências que o grupo de fadiga foi capaz de manter neurocomportamental
7	Ai <i>et al.</i> (2018)	Análise de características para o efeito da fadiga mental na tarefa de monitoramento.	Desempenho de tarefa dos participantes e o componente ERP são comparados entre os primeiros 10 minutos e os últimos 10 minutos. A mudança dinâmica do desempenho da tarefa e do componente ERP foi estudada	P300 amplitude (s.e)	A tarefa de 140 min “2 back” foi bem-sucedida induz fadiga mental.
8	Liu <i>et al.</i> (2020b)	Explorar as possíveis diferenças na influência da motivação no desempenho comportamental e na atividade neural em alto e baixo nível de vigilância	flanker prolongada de 2 h 20 min e fornecemos recompensas monetárias durante os intervalos de 20 a 40 e 100 a 120 min de desempenho da tarefa	P300 amplitude (-) na fadiga e (+)na alta vigilância pela recompensa	A motivação provocou um estado compensatório da amplitude do P300
9	Xiao <i>et al.</i> (2015)	Como a negatividade relacionada ao erro (ERN) de uma tarefa de tempo de reação de quatro escolhas foi reduzida na condição de fadiga mental e o papel da atenção sustentada no processamento de erros	Experimento de fadiga e um teste adicional de vigilância psicomotora contínua (PVT) por 1 h.	Amplitudes médias do ERN (p <0,005) e do pico (p <0,05) diminuíram	A atenção sustentada foi relacionada ao processamento de erros e que a diminuição da atenção é provavelmente a causa do comprometimento do processamento de erros.
10	Xiao <i>et al.</i> (2019)	Esclarecer as alterações da cognição a nível eletrofisiológico	realizar uma tarefa de memória de trabalho (WM) 2-back por 100 min e EEG	P300 amplitude (-) P200 amplitude (-) Latência P200 (+) Latência N200 (+)	(1) o envolvimento prolongado em uma tarefa cognitiva teve um efeito prejudicial na atenção, atualização da memória e controle cognitivo; e (2) atenção prejudicada, prejuízos na atualização

Tabela 3 – Características dos estudos incluídos - continuação

N	Autor	Objetivo	Metodologia	Componente	Principais achados
11	Chen <i>et al.</i> (2021)	Explorar os efeitos comportamentais e eletrofisiológicos de interrupção no desempenho da memória de trabalho usando dados de eletroencefalografia (EEG) e OO efeito moderador da fadiga	Tarefa 2back com interrupção de tarefa matemática, interrupção de suspensão e não interrupção sob diferentes estados de fadiga e EEG	P300 amplitude (+) P200 amplitude (-)	A interrupção levou ao aumento do alfa atividade e amplitude do P300, indicando controle inibitório para interferência de irrelevantes Informação. A análise da amplitude do P200 revelou que a interrupção afetou a atenção. O esforço da memória de trabalho elevou a amplitude do P300
12	Jia, Lin e Wang (2022)	Examinar o efeito da fadiga mental no desempenho da tomada de decisão de risco e preferência de risco em uma tarefa de jogo simples, usando métodos comportamentais e potenciais relacionados a eventostécnicas	Tarefa AX-CPT para induzir fadiga mental	P300 amplitude (-)	Em estado de fadiga mental, os indivíduos podem estar mais inclinados a escolher opções conservadoras no processo de tomada de decisão de risco
13	Solís-Marcos e Kircher (2019)	Realizar medidas de carga mental durante a performance de uma teste auditivo	medidas de carga mental durante a performance de uma audição. tarefa única, dupla e tripla	P300 amplitude (-) N100 amplitude (-)	O P300 e N1 podem sofrer alteração dependendo do tipo e quantidade de tarefas, sobretudo em tarefas simultâneas
14	Itagi <i>et al.</i> (2019)	Observar as varíeis em potenciais relacionados a eventos (ERPs) e desempenho cognitivo após um exaustivo exercício físico	Questionário do Inventário de Fadiga Multidimensional (MFI-20) antes e depois das atividades e tarefa <i>oddball</i>	P300 amplitude (+)	Os participantes experimentaram mais fadiga física e mental durante o exercício que envolveu tarefas cognitivas
15	Haubert <i>et al.</i> (2018)	Investigar a diminuição da vigilância usando uma tarefa de vigilância visual bem estabelecida	Tarefa de vigilância	N100 amplitude (+)	Quando há tempo prolongado da tarefa, maiores degradações do processamento cognitivo.
16	Samuel <i>et al.</i> (2019)	Examinar as respostas comportamentais e neurais às deficiências cognitivas induzidas pela fadiga em adultos jovens e idosos	Teste de tempo de reação (RT) e EEG	P300 amplitude (-) N100 amplitude (-)	Joens e idosos respodem de forma diferente à fadiga. No grupo jovem houve P300
17	Li <i>et al.</i> (2020b)	Investigar as diferenças de fadiga mental em atividade eletrofisiológica tanto no estado de repouso quanto no estado de tarefa ao mesmo tempo	Realizar tarefas consecutivas de aritmética mental para indução de fadiga mental e eletroencefalograma (EEG)	o poder do ritmo alpha1 nas regiões frontal e temporal (+), e o poder alfa2 na região parietal (-).	A atividade cerebral em estado de fadiga mental tem grandes diferenças
18	Jong <i>et al.</i> (2018)	Examinar se a idade influencia os efeitos da fadiga mental no desempenho da tarefa, e se pudessemos validar o uso de medidas baseadas na digitação comportamento como um índice dos efeitos da fadiga mental em diferentes aspectos da cognição	Tarefa de datilografia e uma tarefa de direcionamento do mouse por 120 min e EEG	P300 amplitude (-) no grupo jovem Número de erros (+) Latência (+) no grupo de meia-idade	A fadiga subjetiva aumentou ao longo do experimento em ambos os jovens e o grupo de meia-idade. A velocidade de digitação diminuiu com o tempo na tarefa (ToT) em ambas as idades grupos. Além disso, a precisão da digitação diminuiu com o ToT no grupo jovem, porém, não no grupo grupo de meia-idade, refletido por um aumento nos erros de digitação

Tabela 4 – Características dos estudos incluídos - continuação

N	Autor	Objetivo	Metodologia	Componente	Principais achados
19	Jaquess <i>et al.</i> (2017)	Aspectos do eletroencefalograma foram usados para avaliar tanto a carga de trabalho cognitiva quanto a atenção reserva.	EEG E ERP	P300 amplitude (-) P200 amplitude (-) N100 amplitude (s.e)	Os resultados revelaram uma relação forte e negativa entre as medidas espectrais de ativação cortical, que se acredita serem representativas da carga de trabalho cognitiva, e Amplitudes do ERP. O N1 auditivo foi indicado como sendo representativo do processamento sensorial e atencional precoce. O P2 tem sido indicado como representativo de alocação de atenção
20	Gosselin, Koninck e Campbell (2019)	Examinar se o sono privação teve um efeito específico nos processos inibitórios ou se simplesmente afetou os processos gerais de tomada de decisão	Go/NoGo ERP paradigma	P300 amplitude (-)) para fadiga por repetição de tarefas	Os achados indicam que a privação do sono não teve efeitos específicos sobre a inibição. No entanto, a amplitude do Go P3 ocorreu tão cedo quanto 12 h após acordar e pode refletir um efeito de repetição de tarefas em vez de sono verdadeiro privação. Em contraste, a amplitude NoGo P3 não foi significativamente reduzida até 24 e 36 h, sugerindo um verdadeiro efeito de privação de sono. O sono pós-recuperação Go e NoGo P3 não retornou níveis basais, possivelmente devido à inércia residual do sono.
21	Pergher, Vanbilsen e Hulle (2021)	Verificar a carga de trabalho mental em que não apenas os jovens, mas também os adultos mais velhos realizaram um N-Back tarefa	N-Back task e ERP	P300 amplitude (-) para fadiga P300 amplitude (+) para adultos jovens comparados a adultos mais velhos	A amplitude do P300 e a potência das bandas alfa e teta fornecem informações para julgar a carga de trabalho mental durante o desempenho N-Back para indivíduos jovens e mais velhos e para detecção de fadiga mental e desengajamento de tarefas
22	Zhang <i>et al.</i> (2019)	Verificar como a memória de trabalho é afetada pela restrição de sono	N-Back task e ERP antes e depois de 36 horas 28 privação de sono	P200 amplitude (-) P300 amplitude (-) Tempo de reação (+)	Os resultados de ERP indicaram que tal diminuição do P200 e P300 ocorreram principalmente no córtex frontal
23	Dyke <i>et al.</i> (2015)	Examinar se a utilidade de uma técnica de sonda auditiva desenvolvida recentemente para indexar a carga de trabalho cognitiva dependia das propriedades do estímulo das sondas	O EEG foi gravado enquanto os participantes jogavam um videogame em vários níveis de trabalho cognitivo.	P300 amplitude (-) Tempo de reação (+)	Os resultados sugerem que estímulos auditivos complexos foram significativamente mais eficazes em indexar a carga de trabalho cognitiva do que estímulos simples. A eficácia de estímulos complexos deveu-se à sua capacidade de eliciar uma resposta de orientação robusta
24	Volosin e Horváth (2020)	Investigar como a dificuldade da tarefa afetou a alocação de atenção e a distração em um paradigma de distração auditiva	Os participantes realizaram uma tarefa de discriminação de duração de tom em quais tons eram raramente, ocasionalmente apresentados em um tom raro (distratores) e dificuldade da tarefa foi manipulado pela diferença de duração entre tons curtos e longos. ERP	P300 amplitude (+) N100/N200 amplitude (+) P100 amplitude (+) Latência (-)	ERPs sem tal subtração mostrou que os inícios de tom foram precedidos por uma tendência negativa, sugerindo que os participantes se prepararam para o início do tom. Na condição difícil, N100 amplitudes os inícios de tom foram aprimorados, indicando que os participantes investiram mais recursos atencionais. O aumento da dificuldade também desacelerou o processamento de compensação de tom, conforme refletido por significativamente formas de onda P100 e N100/N200 relacionadas ao deslocamento atrasado. Esses resultados sugerem que, embora a tarefa dificuldade obriga os participantes a atender os tons com mais força, isso não tem significado significativo impacto no processamento relacionado à distração
25	Moore <i>et al.</i> (2017)	A fim de obter uma melhor compreensão da natureza da escuta relacionada fadiga mental, este estudo caracterizou os efeitos do processamento auditivo sustentado no cérebro	Tempo de resposta, ERP, questionário autoavaliativo	N100 amplitude (-)	A diminuição na amplitude média de N100 revelou uma correlação significativa e positiva com relato subjetivo de motivação reduzida. Estes achados apoiar os modelos cognitivos e neurofisiológicos existentes que sugerem que a fadiga mental aumenta tempo na tarefa e afeta a motivação para influenciar o desempenho da tarefa. Além disso, este estudo mostra que o processamento auditivo sustentado pode provocar fadiga mental e que a atividade parietal dorsal pode fornecer um método útil para medir seus efeitos.

Na tabela 5 a seguir, mostram-se os resultados de outros estudos envolvendo os tipos de componentes ERP e a correlação deles com a fadiga mental para melhor entendimento dos resultados experimentais de EEG, comentados na seção de coleta e análise dos testes realizados. Contudo, esses estudos não entraram na revisão sistemática pelo protocolo Prisma pelo fato de se enquadrarem fora do período selecionado para análise, isto é, os últimos 10 anos, por não apresentarem estudos originais, ou ainda por alguns apresentarem outros tipos de fadiga, que não a indicada na análise deste trabalho. Portanto, optou-se por elaborar planilha a parte para melhor entendimento e interpretação dos resultados. Nota-se, porém, nesta seleção, que a correlação do componente ERP com a fadiga aparece em vários deles como N100, N200, P50, P100, P200 e P300, sendo os dois últimos encontrados em estudos mais recentes, e não havendo estudos encontrados envolvendo o componente P400 relacionado à fadiga, o que sugere um campo de atuação a ser explorado em estudos futuros.

Tabela 5 – Estudos envolvendo os tipos de componentes ERP e a correlação com a fadiga mental

ERP	Tempo	Associação	Relação com a fadiga	Amplitude/Latência	Referências
N1	O N100 é uma componente negativa do potencial evocado que ocorre aproximadamente 100 milissegundos após a apresentação de um estímulo sensorial, geralmente auditivo ou visual.	O N100 está associado ao processamento inicial de estímulos e à detecção de características básicas, como a frequência ou a intensidade de um estímulo.	Pode ocorrer uma redução na amplitude do N100 ou um atraso na sua latência. Essas alterações podem indicar uma diminuição na capacidade de processamento inicial de estímulos sensoriais e uma resposta mais lenta à detecção de características básicas dos estímulos. Esses achados sugerem que a fadiga mental está afetando a capacidade de processar adequadamente informações sensoriais iniciais.	N1 amplitude (-)	(ROZAND <i>et al.</i> , 2015); (BOKSEM; MEIJMAN; LORIST, 2005); (KATO; ENDO; KIZUKA, 2009); (LANGNER <i>et al.</i> , 2010); (DUNCAN <i>et al.</i> , 2015); (SMITH <i>et al.</i> , 2016).
N2	O N200 é uma componente negativa do potencial evocado que ocorre aproximadamente 200 milissegundos após a apresentação de um estímulo.	O N200 está relacionado ao cognitivo mais avançado, como a avaliação de relevância, o controle atencional e o monitoramento de eventos.	Durante o estado de fadiga mental, pode ocorrer uma redução na amplitude do N200 ou um atraso na sua latência. Essas alterações podem indicar dificuldades no processamento cognitivo avançado, como a avaliação de relevância ou o controle atencional. Esses achados sugerem que a fadiga mental está afetando negativamente os processos cognitivos mais complexos e o monitoramento de eventos.	N2 amplitude (-) ou Atraso na latência N2 amplitude (+) sobrecarga cognitiva Latência (+)	(ALLISON; POLICH, 2008); (SCULTHORPE; COLLIN; CAMPBELL, 2008).
P50	O P50 é um componente do potencial evocado que ocorre aproximadamente 50 milissegundos após a apresentação de um estímulo sensorial, geralmente auditivo.	O P50 está associado ao processamento inicial de estímulos e à filtragem sensorial.	No contexto da fadiga mental, o comportamento do P50 pode variar. Alguns estudos sugerem que a fadiga mental pode levar a uma diminuição na amplitude do P50, o que indica uma diminuição na capacidade de filtrar ou suprimir estímulos irrelevantes. Em outras palavras, a fadiga mental pode prejudicar a habilidade do cérebro de ignorar informações não essenciais ou distrativas, resultando em uma maior resposta a estímulos sensoriais.	P50 amplitude (-)	(YADON <i>et al.</i> , 2009).
P1	O P1 OU P100 refere-se a uma componente positiva do potencial evocado que ocorre aproximadamente 100 milissegundos após a apresentação de um estímulo visual	Geralmente, o P100 é associado à percepção visual e processamento inicial de estímulos visuais.	Durante o estado de fadiga mental, pode ocorrer uma redução na amplitude do P100 ou um atraso na sua latência. Essas alterações podem indicar uma diminuição na capacidade de processamento visual e uma resposta mais lenta a estímulos visuais. Esses achados sugerem uma diminuição na eficiência dos processos iniciais de percepção visual, o que pode estar relacionado à fadiga mental.	P100 amplitude (-) Latência (+) Tempo de reação (+)	(MURATA <i>et al.</i> , 1996).
P2	O P2 OU P200 refere-se a uma componente positiva do potencial evocado que ocorre aproximadamente 200 milissegundos. É localizado sobre locais centro-frontais do couro cabeludo	P2 faz parte do processo de informação da memória relacionado ao início da atualização da memória	Um estudo (Lorist, 2008) descobriu que a fadiga mental diminuiu a amplitude de P2	P200 amplitude (-) com o aumento da sobrecarga cognitiva	(HORAT <i>et al.</i> , 2016); (TAKEDA <i>et al.</i> , 2016).
P3	O P300 é uma componente positiva do potencial evocado que ocorre aproximadamente 300 milissegundos após a apresentação de um estímulo.	É um componente relacionado à atenção, processamento de informações e tomada de decisão. É o mais estudado. É um componente endógeno positivo localizado no fronto-central (P300a) ou centro-parietal (P300b) dependendo da novidade do estímulo	Durante o estado de fadiga mental, pode haver uma redução na amplitude do P300 ou um atraso na sua latência. Essas alterações podem indicar dificuldades na alocação e manutenção da atenção, bem como um processamento mais lento das informações e uma diminuição na capacidade de tomar decisões. Esses achados podem sugerir que a fadiga mental está afetando negativamente os processos cognitivos relacionados à atenção e ao processamento de informações	P300 amplitude (-) ou atraso na latência	(SOKHADZE <i>et al.</i> , 2017); (DYKE <i>et al.</i> , 2015).

4.2 Resultados das Escalas Psicométricas

A partir da análise dos resultados das escalas psicométricas, apresentam-se os resultados de cada escala e discussões gerais acerca da média global dos resultados. Analisaram-se as escalas psicométricas referentes à: fadiga e sonolência (acumulada e aguda) e percepção do estresse. Sendo, as escalas de fadiga: Yoshitake (acumulada) Samn Perelli (aguda) e as escalas de sonolência: Epworth (acumulada) e Karolinska (aguda).

As informações extraídas das escalas psicométricas autorreferentes dos dados foram tabuladas no software Excel 2019 e, posteriormente, submetidas à análise estatística por meio do software IBM SPSS Statistics, versão 22. Com a análise estatística, objetivou-se a comparação entre os grupos de estudantes universitários separados por gênero/sexo, a fim de verificar se há diferença estatística na amostra estudada, no que concerne ao estado de fadiga, sonolência e percepção do estresse. Neste estudo, optou-se pela denominação "gênero". Além disso, demonstrar estatisticamente o comportamento dos estudantes frente a esses estados. Objetivou-se também verificar possível correlação entre fadiga e sonolência, fadiga e estresse, sonolência e estresse. Para isso, foi necessário separar as análises por tipos de variáveis: qualitativas com qualitativas, qualitativas com quantitativas e quantitativas com quantitativas para melhor organização dos dados.

Não foi possível fazer comparações intrasparticipantes (medidas pareadas e repetidas no tempo), em função da insuficiência de participantes no estudo experimental de registro e análise de EEG.

A verificação da normalidade dos dados foi realizada pelo teste de Shapiro-Wilk. Utilizou-se a correlação de Pearson e o teste t independente para os dados paramétricos, e a correlação de Spearman e o teste U de Mann-Whitney para os dados não paramétricos. O teste qui-quadrado foi utilizado para verificar diferenças quanto às proporções. Adotou-se nível de significância de $P \leq 0,05$.

4.2.1 Resultados das Escalas Yoshitake (fadiga acumulada) e Epworth (sonolência acumulada)

Quanto à diferença entre gêneros frente a cada um dos estados (fadiga e sonolência), utilizou-se o teste Qui Quadrado por se tratar de duas variáveis qualitativas. Sob esse aspecto, esse teste foi usado considerando a variável qualitativa "gênero" com as escalas: Yoshitake, que avalia fadiga, por se tratar de um teste categórico de ordem qualitativa; e a escala Epworth, que avalia sonolência, pelo mesmo motivo. Sendo assim, investigaram-se primeiramente duas variáveis qualitativas: Yoshitake (fadiga acumulada) e gênero e Epworth (sonolência acumulada) e gênero.

Na tabela a seguir, pode-se verificar que, quanto à escala de Yoshitake, a maioria

das mulheres está mais concentrada nos casos graves de fadiga (48,5%) e a maioria dos homens está concentrada nos casos de fadiga moderada (67,1%). Encontrou-se uma significância estatística sobre a condição das mulheres em relação ao homens, o que equivale dizer que, estatisticamente, há diferença significativa entre os dois grupos. Vale lembrar que na escala de Yoshitake, o escore pode variar de 30 pontos (menor fadiga) até 150 pontos (maior fadiga) e representa uma fadiga acumulada, isto é, um panorama geral do indivíduo. É possível que no dia da prova, especificamente, o estudante não esteja cansado. Logo, a escala Yoshitake preocupa-se em avaliar a fadiga crônica. Nesse caso, uma pontuação em torno de 30 pontos representa menor fadiga e 150 maior fadiga.

Tabela 6 – Associação do teste YOSHITAKE com Gênero - Tabulação cruzada

		Gênero		Total
		F	M	
YOSHITAKE CAT	Leve	0 (0,0%)	12 (14,6%)	12 (10,4%)
	Moderada	15 (45,5%)	55 (67,1%)	70 (60,9%)
	Grave	16 (48,5%)	15 (18,3%)	31 (27,0%)
	Extrema	2 (6,1%)	0 (0,0%)	2 (1,7%)
Total		33 (100,0%)	82 (100,0%)	115 (100,0%)

* Testes Qui-Quadrado valor $p^* p < 0,001$ $n=115$

Considerando a subdivisão em graus proposta neste estudo, as marcações variam entre: “nunca”, que gera 1 ponto e significa ausência do fator fadiga para aquele item avaliado; “raramente”, gera 2 pontos – representando fadiga leve; “às vezes”, gera 3 pontos – fadiga moderada; “muitas vezes”, gera 4 pontos – fadiga grave; “sempre”, gera 5 pontos – fadiga extrema. Os escores totais em graus são: 30 – ausente; 31 a 60 – leve; 61 a 90 – moderada; 91 a 120 – grave; 121 a 150 – extrema.

Com a realização do teste Qui Quadrado, apresentado na tabela a seguir, foi possível comprovar estatisticamente que há diferença significativa entre os grupos homem/-mulher, estudantes universitários de cursos de engenharia, quanto à fadiga acumulada. Obteve-se como resultado um valor de $p < 0,001$, o equivalente a $p < 0,05$. As análises foram realizadas no software SPSS versão 22.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA).

Como aponta [Castellani et al. \(2022\)](#), homens e mulheres se diferem não só em questões biológicas, mas também em termos de desempenho na sociedade, o que pode levar a reações diferentes frente a uma mesma condição. A diferença encontrada para a percepção da fadiga entre homens e mulheres também pode ser confirmada em outros estudos. A universidade é um ambiente estressor para a comunidade acadêmica. Constantemente, os estudantes são submetidos a diversas situações caracterizadas como estímulos estressores, como a pressão por bons resultados, incerteza sobre o conhecimento assimilado e insegurança sobre a inserção no mercado de trabalho ([CASTELLANI et al., 2022](#)). Sob esses aspectos, os autores investigaram o comportamento do estresse dos

estudantes universitários durante semanas de prova e trabalho de conclusão de curso (TCC), bem como a diferença entre os gêneros nesta condição.

Embora os estudos de [Castellani et al. \(2022\)](#) enfatizam a relação do estresse com o desempenho dos estudantes universitários. Este trabalho procurou traçar uma correlação entre fadiga e estresse, fadiga e sonolência e sonolência e estresse, discutidas nas próximas tabelas. Contudo, os achados de [Castellani et al. \(2022\)](#) confirmam, a partir dos resultados encontrados no teste Qui Quadrado, que as mulheres tendem a ser mais fadigadas que os homens no mesmo contexto estudado pelos autores, isto é, em momentos de provas escolares. [Marchini et al. \(2019\)](#) também confirmam que o excesso de compromissos assumidos é um importante fator estressor no ambiente acadêmico, o que compromete o desempenho e qualidade de vida dos estudantes universitários, principalmente, entre aqueles que trabalham e estudam. [Silva et al. \(2020\)](#) constataram fadiga em 76,1% dos participantes (estudantes universitários), o correspondente a $27,48 \pm 7,86$ (valores expressos em média e desvio padrão), sendo 305 (76,1%) para sim (fadigados) e 96 (23,9%) para não (não fadigados).

[Doerr et al. \(2015\)](#) também investigaram a presença da fadiga em universitários, averiguando se o estresse poderia influenciar a fadiga e vice-versa, bem como os fatores mediadores dessa relação. Os autores também confirmaram que os níveis de fadiga foram aumentados durante a condição de exame, o que corrobora os achados deste estudo, no que concerne à condição de fadiga entre os universitários em momentos que antecedem as provas ou exames.

Quanto à sonolência, verificou-se também se haveria diferença estatística com relação ao gênero. Como a escala de Epworth também é categórica, optou-se por analisá-la juntamente com a escala de Yoshitake, mencionada anteriormente. Na tabela a seguir, é possível observar, de forma descritiva, que a maioria dos homens concentra-se num nível de sonolência leve (50,0%) e a maioria das mulheres concentra-se num nível moderado de sonolência (39,4%).

Tabela 7 – Associação do teste EPWORTH com gênero - Tabulação cruzada

		Gênero		Total
		F	M	
EPWORTH CAT	Normal	3 (9,1%)	8 (9,8%)	11 (9,6%)
	Limite	5 (15,2%)	20 (24,4%)	25 (21,7%)
	Leve	12 (36,4%)	41 (50,0%)	53 (46,1%)
	Moderado	13 (39,4%)	13 (15,9%)	26 (22,6%)
Total		33 (100,0%)	82 (100,0%)	115 (100,0%)
* Teste Qui-quadrado		valor p*	p=0,054 n=115	

A escala de Epworth avalia uma sonolência acumulada e sua pontuação varia de 0 a 24 pontos, sendo que a partir de 10 pontos, já se considera sonolência diurna excessiva.

Em termos de níveis, tem-se: Sonolência Excessiva (SE) normal, quando os resultados vão de 0 a 6; Sonolência excessiva (SE) limite para resultados de 7 a 9 pontos; Sonolência excessiva (SE) leve para resultados de 10 a 14 pontos; Sonolência excessiva (SE) moderada para resultados de 15 a 20; Sonolência excessiva (SE) grave para resultados acima de 20 pontos. A partir da realização do teste Qui-Quadrado, obteve-se um valor de ($p=0,054$), indicando que não houve diferença significativa entre os dois grupos quanto à sonolência acumulada. Logo, ambos, homens e mulheres, apresentam condições semelhantes no que diz respeito ao estado de sonolência em função da fadiga. Comparando as duas escalas Yoshitake e Epworth, é possível notar que embora as mulheres tendem a apresentar maior quadro de fadiga que os homens, o nível de sonolência diurna assemelha-se ao deles.

Em princípio, o sexo feminino tem uma predisposição para insônia. As diferenças entre os gêneros começam na adolescência com o início da menstruação e se mantém até a vida adulta e na maioridade (ROCHA, 2018). Theorell-Haglöw *et al.* (2018) apontam que as mulheres tendem a ser mais propensas à insônia e apresentam pior qualidade de vida relacionada à saúde em comparação aos homens.

Outros estudos apontaram que distúrbios do sono, tal como a insônia, sonolência diurna excessiva e distúrbios do ciclo circadianos - distúrbio do ritmo sono-vigília, foram identificados entre estudantes universitários (MARTA *et al.*, 2020). Os autores verificaram que a insônia tem um papel importante no baixo desempenho de estudantes do sexo feminino, o que sugere alguma diferença entre os gêneros quanto ao sono. Embora esses estudos apontem essas diferenças entre os gêneros, não foram encontradas diferenças significativas quanto ao resultado da escala Epworth na amostra estudada. No entanto, assim como os estudos anteriores relatam, faz-se necessária maior investigação sobre a correlação entre a sono e fadiga, bem como uma possível diferença entre gêneros na condição de sonolência. Numa visão panorâmica da população estudada, verificou-se que 60,9% dos participantes do estudo apresenta fadiga moderada e 46,1% apresenta sonolência excessiva leve.

4.2.2 Resultados das Escalas Sam-Perelli (fadiga aguda) e Karolinska (sonolência aguda)

Quanto ao estado de fadiga e sonolência aguda, investigaram-se juntamente as escalas de Samn-Perelli e Karolinska, respectivamente. Pelo fato de ambas as escalas serem quantitativas, foi necessário realizar, primeiramente, o teste de normalidade para verificar a condição da normalidade das variáveis para então aplicar o teste de hipótese. Todas as variáveis quantitativas passaram pelo teste de normalidade de Shapiro-Wilk; o resultado foi que elas não possuíam distribuição normal. Logo, foram apresentadas no formato de medianas e quartis. Posteriormente, realizou-se o teste não paramétrico de Mann-Whitney para as escalas quantitativas Samn-Perelli e Karolinska.

Os resultados mostraram que há diferença significativa entre os gêneros na escala de Samn-Perelli, apresentando valor de $p= 0,046$, mas não houve diferença estatística na escala de Karolinska, $p= 0,128$. Na figura a seguir, pode-se observar que o grupo das mulheres apresentam maior fadiga que o dos homens. Embora as medianas para ambos os grupos sejam as mesmas, 50% das mulheres pontuaram fadiga entre os níveis 2 (estado de alerta) e 4 (fadiga leve) e possível prejuízo na performance, chegando ao nível 6, que indica fadiga moderada a severa. Já o grupo dos homens apresenta 50% no nível leve, variando em torno do nível 3 e 4, apresentando, no máximo, fadiga leve a moderada. Vale lembrar que a escala de Samn-Perelli avalia fadiga aguda, isto é, refere-se ao momento. No caso, o momento avaliado corresponde ao período de provas.

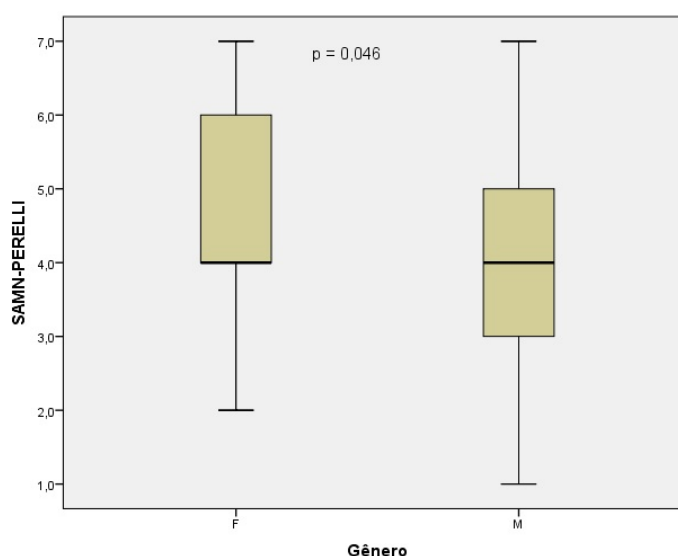


Figura 11 – Comparação dos dados quantitativos da escala Sam-Perelli com a variável gênero.

*Teste Mann-Whitney $n=115$

Na escala de Karolinska, que avalia sonolência aguda, pôde-se observar a representação do estado de sonolência momentânea. No caso estudado, refere-se ao estado de sonolência em período de provas. Os resultados, apresentados na figura a seguir, revelam que não há diferença estatística entre os grupos de homens e mulheres quanto ao estado de sonolência aguda, valor de $p= 0,128$. Numa visão panorâmica, pode-se observar que a maioria dos participantes apresenta estado de sonolência na escala de Karolinska, mediana 6, frequência 51,3% da amostra apresenta estado de fadiga na escala de Sam-Perelli, mediana 4, frequência 38,3% o que sugere que, em época de realização de provas ou exames acadêmicos, os estudantes apresentam algum estado de fadiga e sonolência.

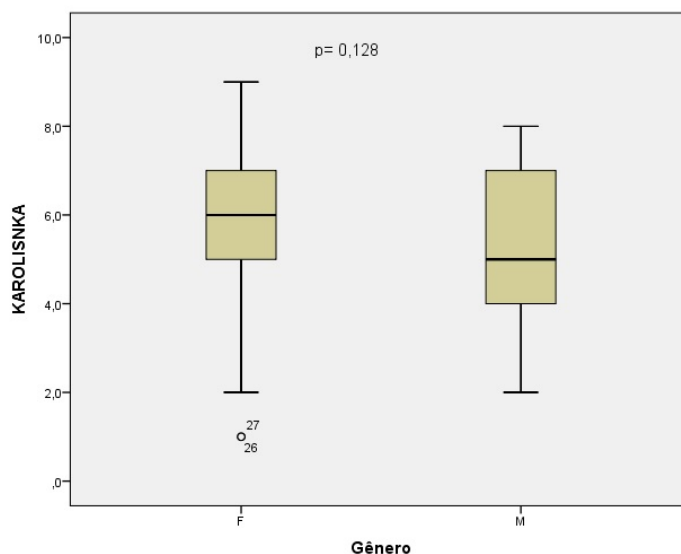


Figura 12 – Comparação dos dados quantitativos da escala Karolinska com a variável gênero.

*Teste Mann-Whitney $n=115$

4.2.3 Resultados da Escala de Percepção do Estresse

Para verificar a percepção do estresse utilizou-se a EPS-10, proposta por (COHEN; KAMARCK; MERMELSTEIN, 1983) e validada para a população brasileira por (REIS; HINO; AÑEZ, 2010). A EPS-10 trata-se de uma medida global, autorrelatada, que permite verificar em que grau as situações da vida de um indivíduo são percebidas como fatores estressores. A escala é composta por 10 itens que relacionam acontecimentos e situações ocorridos nos últimos 30 dias. Cada item é avaliado por uma escala Likert de 0 (nunca) a 4 (muito frequente). Dos 10 itens, seis tratam de aspectos negativos (1, 2, 3, 6, 9 e 10) e quatro de aspectos positivos (4, 5, 7 e 8). Para se obter o escore final, os quatro itens positivos devem ser inversamente pontuados e posteriormente todos os itens deverão ser somados. Os resultados podem variar de 0–40, e uma pontuação maior indica maior percepção do estresse.

Na escala de Percepção do estresse (EPS), por ser também uma escala quantitativa, foi necessário realizar, primeiramente, o teste de normalidade para verificar a condição da normalidade das variáveis para então aplicar o teste de hipótese. Todas as variáveis quantitativas passaram pelo teste de normalidade de Shapiro-Wilk; o resultado foi que ela também não possuía distribuição normal. Logo, foram apresentadas no formato de medianas e quartis. Posteriormente, realizou-se o teste não paramétrico de Mann-Whitney.

Os resultados apontaram que há diferença significativa em termos estatísticos entre homens e mulheres para a escala EPS, valor de $p < 0,001$. Na figura a seguir, pode-se observar que o grupo das mulheres apresentou maior resposta à percepção do estresse, 50% das

mulheres tiveram uma pontuação maior quando comparadas ao grupo dos homens, o que sugere que o grupo feminino apresenta mais estresse que o grupo masculino, pois obtiveram maior pontuação no teste. Elas obtiveram uma mediana em torno de 26 com pontuação máxima de 30, enquanto os homens tiveram mediana em torno de 22 variando até 29 pontos. Estatisticamente, os resultados apontaram diferença significativa entre os grupos. As mulheres avaliadas da amostra apresentaram maior percepção de estresse, corroborando os achados de outros autores, que verificaram que essa variável tem importante impacto na vida acadêmica e sua correlação com a fadiga. 39,1% da amostra tiveram pontuação acima de 25 pontos na escala EPS-10, o que indica maior índice de percepção do estresse. Quanto maior o índice, maior a percepção do estresse. Isso significa uma maior percepção do número de eventos estressores da vida para os dois grupos, atribuindo o resultado, então, à forma como os estudantes lidam com o estresse, percebem e não apenas à intensidade dos eventos vivenciados.

Os estudos de [Doerr et al. \(2015\)](#) apontaram que o estresse pode influenciar a fadiga e vice-versa, bem como os fatores mediadores dessa relação. E ao avaliarem estudantes cinco dias no início do semestre (condição controle) e em cinco dias durante a preparação para exames finais (condição de exame), os autores verificaram que os níveis de fadiga foram aumentados durante a condição de exame e que a fadiga momentânea foi estatisticamente predita por estresse momentâneo, experimentado no dia anterior. O nível de cortisol foi mais elevado, sugerindo que os participantes estavam, de fato, mais estressados durante este período. Além disso, a qualidade do sono foi também investigada pelos autores, mostrando ser um mediador da associação entre o nível médio de estresse no dia seguinte e o nível médio de fadiga. Logo, os achados deste estudo confirmam os da literatura quanto à presença da condição de fadiga e estresse, bem como a correlação entre eles e a sonolência no público universitário ([BROWN; THORSTEINSSON, 2009](#)).

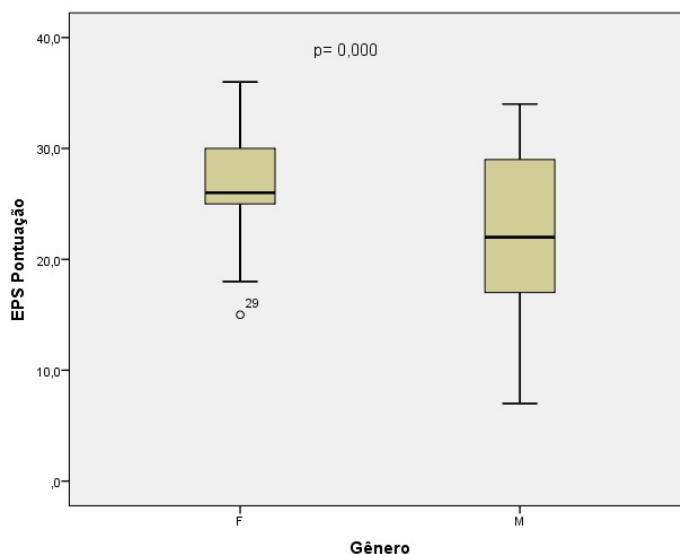


Figura 13 – Comparação dos dados quantitativos da escala EPS com a variável gênero.

*Teste Mann-Whitney n=115

No presente estudo, verificou-se também uma possível correlação direta da percepção de estresse com a fadiga e a sonolência. O mesmo é encontrado em alguns estudos como de [Lu *et al.* \(2017\)](#) que identificaram como vida acadêmica pode gerar algum tipo de estresse. Afinal, o período letivo constitui-se como uma espécie de tensão para os estudantes tendo em vista a rotina diária de compromissos acadêmicos constantes. Da mesma forma, extensas jornadas, prazos e pressão por produtividade são fatores estressores para os estudantes. Para [Doerr *et al.* \(2015\)](#), o estresse está relacionado ao declínio das funções cognitivas assim como a fadiga, por exemplo, pela dificuldade de concentração.

Na tentativa de se traçar um coeficiente de correlação entre as escalas de Fadiga, Sono e Estresse, realizou-se uma comparação estatística. O coeficiente utilizado foi o de Spearman por ser correlação de dados não paramétricos. Na tabela a seguir, os resultados mostram que há significância estatística nessas correlações, o que implica dizer que a escala de Samn-Perelli se correlaciona com a escala de Karolinka. Logo, quanto maior a fadiga, maior o sono, sendo $p < 0,001$. Quanto à escala EPS (Percepção do Estresse), quanto maior a percepção do estresse, maior a fadiga. Da mesma forma, quanto maior a pontuação em Karoliska (escala de sono), maior pontuação em EPS (Percepção do Estresse).

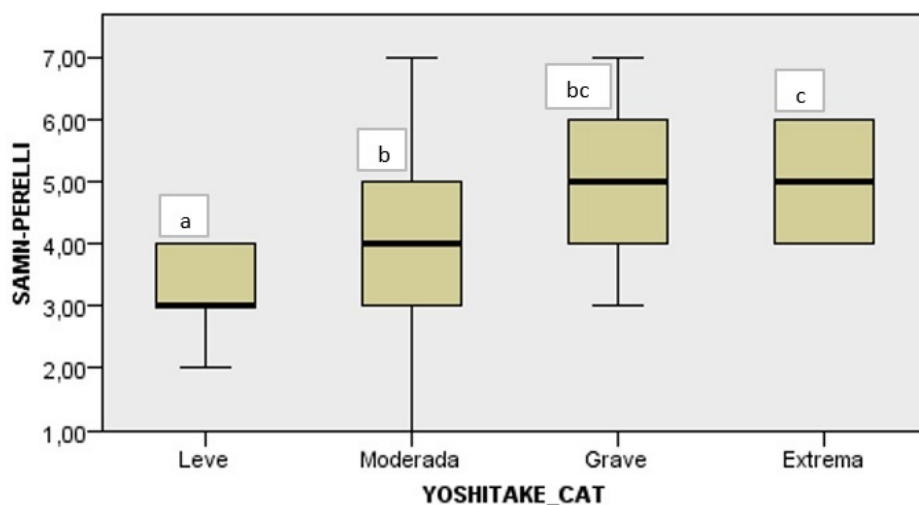
Tabela 8 – Coeficiente de correlação de Spearman para escalas quantitativas de Fadiga, Sono e Estresse

			SAMN-PERELLI	KAROLISNKA	EPS Pontuação
rô de Spearman	SAMN-PERELLI	Coeficiente de Correlação	1,000	0,572**	0,402**
		Sig. (2 extremidades)		p < 0,001	0,000
	N	115	115	115	
	KAROLISNKA	Coeficiente de Correlação	0,572**	1,000	0,327**
		Sig. (2 extremidades)	p < 0,001		p < 0,001
	N	115	115	115	
EPS Pontuação	Coeficiente de Correlação	0,402**	0,327**	1,000	
	Sig. (2 extremidades)	p < 0,001	p < 0,001		
N	115	115	115		

** A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades).

Embora a literatura não traga estudos de causalidade entre fadiga, sono e estresse, a correlação existente entre os três estados foram discutidos em outros estudos. [Doerr et al. \(2015\)](#) sugerem que a influência do estado de estresse na fadiga fundamenta-se na qualidade de sono prejudicada. E os estudos de [Åkerstedt et al. \(2012\)](#) defendem a causalidade entre estresse e insônia, alegando que o primeiro é visto como a principal causa de insônia psicofisiológica persistente ou primária. Logo, um possível efeito cadeia é reconhecido como uma associação negativa entre estresse e qualidade do sono também previsto em ([ÅKERSTEDT et al., 2012](#)). Para [Lavidor, Weller e Babkoff \(2003\)](#), a qualidade do sono pode estar mais relacionada à fadiga que à quantidade de sono. Os achados dos autores sugerem que a autopercepção da qualidade do sono é um melhor indicador da fadiga que medidas de sono mais quantitativas. Logo, as escalas psicométricas se mostram bastante utilizadas na literatura, assim como estudos de correlação entre sono e fadiga. Quanto ao estresse, os fatores estressores são frequentemente correlacionados à fadiga em uma gama de condições de fadiga ([THORSTEINSSON; BROWN, 2009](#)). Porém, ainda não está claro, segundo os autores, como os fatores estressores podem exercer efeitos na severidade e incidência de fadiga e se são diretos ou indiretamente mediados por outra variável, como distúrbios do sono ou distúrbios psicológicos.

Realizou-se também a comparação entre as escalas de fadiga Sam-Perelli e Yoshitake, nas modalidades aguda e crônica, respectivamente. Como a comparação envolve uma escala quantitativa (Sam-Perelli) com uma qualitativa (Yoshitake), foi necessário fazer o teste de hipótese. Para isso, utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis para analisar as quatro opções de grupos de resposta: leve, moderada, grave e severa, das escalas a fim de verificar o comportamento dos quatro grupos de resposta entre as escalas e saber se há alguma diferença estatística entre os níveis. Quando comparado o comportamento desses grupos em relação à escala Sam-Perelli, foi possível observar que havia diferença estatística $p < 0,001$ entre eles, conforme descrito na figura a seguir.



*Letras diferentes implicam grupos estatisticamente diferentes $p=0,000$

Figura 14 – Comparação de níveis de grupos - Escala Sam-Perelli e Yoshitake.

*Teste Kruskal-wallis

O grupo dos leves tem menor pontuação em Samn-Perelli, o que significa que poucos participantes pontuaram o nível leve nessa escala. Os moderados e extremos são estatisticamente iguais, assim como os extremos e graves. Pode-se notar também que os participantes, em princípio, pontuaram mais nos níveis grave e extremo, indicando que a amostra apresenta tanto fadiga aguda, quanto fadiga acumulada nos níveis mais altos, sendo mais acentuado na fadiga crônica que na fadiga aguda. Isso mostra que, muitas vezes, a fadiga não é tão percebida e sentida no dia da prova necessariamente, mas ao longo de um tempo, tornando-se crônica.

4.3 Resultados dos Testes de Potenciais Relacionados a Eventos

As amplitudes e latências médias dos ERPs são mostrados nas figuras a seguir, individualmente, para cada participante analisado. Observou-se o comportamento dos ERPs para os estados de cansaço e descanso, tanto para o tom padrão, quanto para o tom desviante e, posteriormente, para ambos. Discutem-se os componentes ERP que se mostraram mais evidentes e significativos, considerando a fadiga mental como objeto de investigação.

Cabe observar, contudo, que, com uma amostra de apenas quatro participantes, não é possível realizar uma análise estatística dos resultados obtidos. Tais resultados servem, entretanto, como referência para a elaboração do protocolo a ser seguido com uma

amostra maior, cerca de 20 a 30 participantes, suficiente para a realização de uma análise estatística mais consistente.

Para o estudante participante 1 (ver Fig. 15), nota-se, para o tom padrão, uma latência ligeiramente menor (270 ms) na condição descansada quando comparada com a condição cansada (290 ms). A amplitude do P300 é ligeiramente maior na condição descansada ($0,6 \mu V$) do que na condição cansada ($0,3 \mu V$).

Para o tom desviante, observas-se, uma redução na amplitude do P300 de $1,2 \mu V$, no estado de descanso, para $-0,3 \mu V$, no estado cansado. Este é um resultado interessante, pois repetiu-se nos demais estudantes participantes, como veremos a seguir.

Quando comparado o estado de descanso padrão e desviante e cansaço padrão e desviante, nota-se que o desviante apresenta maior amplitude e latência (como esperado no paradigma *oddball*) na condição de descanso, mas não na condição de cansaço.

Os estudantes participantes 1 e 2 foram submetidos ao experimento sem realizar contagem de estímulos raros, apresentando somente a resposta do cérebro sob a condição de uma tarefa *oddball* com um único estímulo padrão, em que raramente é apresentado o estímulo alvo sem outros estímulos ocorrendo simultaneamente, conforme (POLICH, 2007).

Para o participante 2 (ver Fig. 16), além de variações pequenas comparáveis às observadas para o participante 1, chama-se a atenção para, uma vez mais, uma amplitude do P300 ($1,2 \mu V$) na condição de descanso, quando comparada com a condição de cansaço ($-0,1 \mu V$) para o caso de estímulo desviante.

Para o participante 3 (ver Fig. 17), assim como no caso dos estudantes participantes 1 e 2, observou-se uma amplitude do P300 ($2,6 \mu V$) na condição de descanso, quando comparada com a condição de cansaço ($1,7 \mu V$) para o caso de estímulo desviante.

Os estudantes participantes 3 e 4 foram submetidos ao experimento realizando contagem de estímulos raros. Pelo menos em relação aos resultados obtidos para os estudantes participantes 1 e 2 na comparação do P300 para os casos de estímulos desviantes nas condições de descanso e cansaço, a realização ou não de contagem de estímulos desviantes parece não ter tido influência significativa.

Para o estudante participante 4 (ver Fig. 18), ao contrário do que se observou para os estudantes participantes 1, 2 e 3, não foi observada variação significativa na amplitude do P300 ($1,1 \mu V$) na condição de descanso, quando comparada com a condição de cansaço ($1,4 \mu V$) para o caso de estímulo desviante. Esse resultado, contudo, pode ser explicado pelo fato de que, ao realizar o experimento no estado de descanso, o estudante participante 4 relatou ter tido insônia na noite anterior. Vale lembrar que a média de sono dos estudantes participantes do experimento foi de 4 horas de sono em véspera de provas e exames, conforme relato em questionário de triagem A. Acredita-se que, nesse caso, em

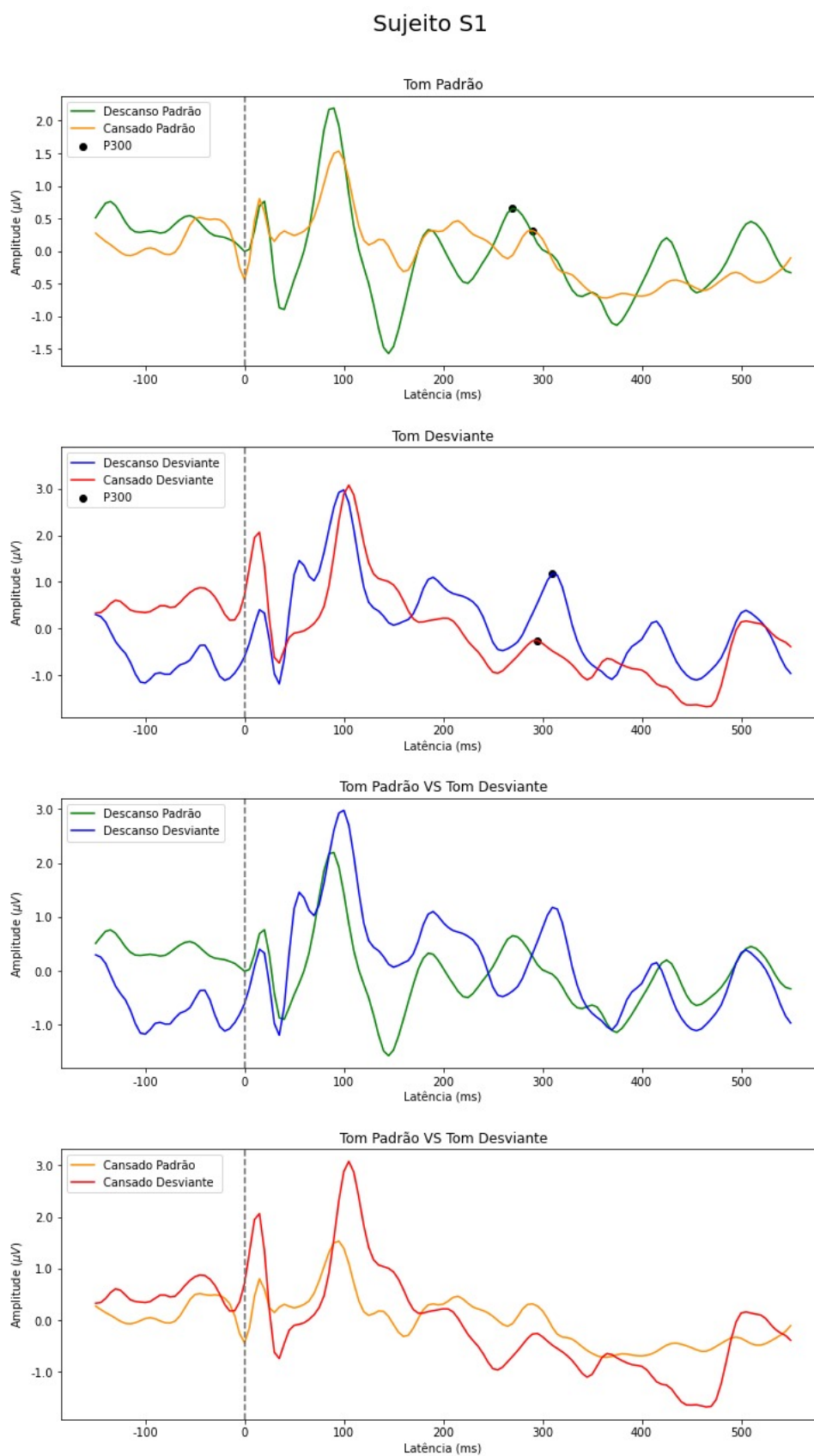


Figura 15 – ERP - Estado de Fadiga não induzida e estado de descanso do participante S1.

Fonte: Elaborada pela autora

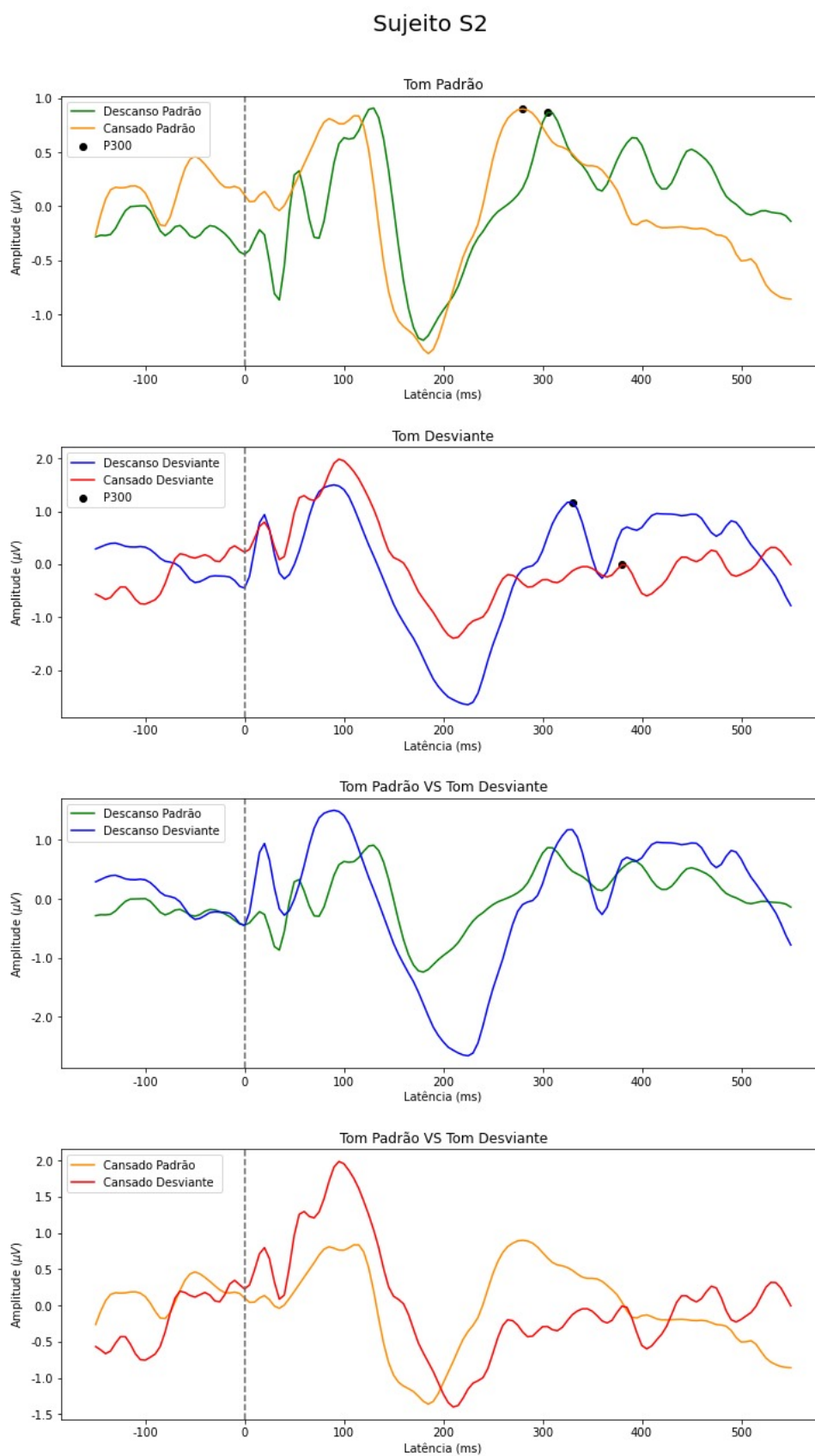


Figura 16 – ERP - Estado de Fadiga não induzida e estado de descanso do participante S2.

Fonte: Elaborada pela autora

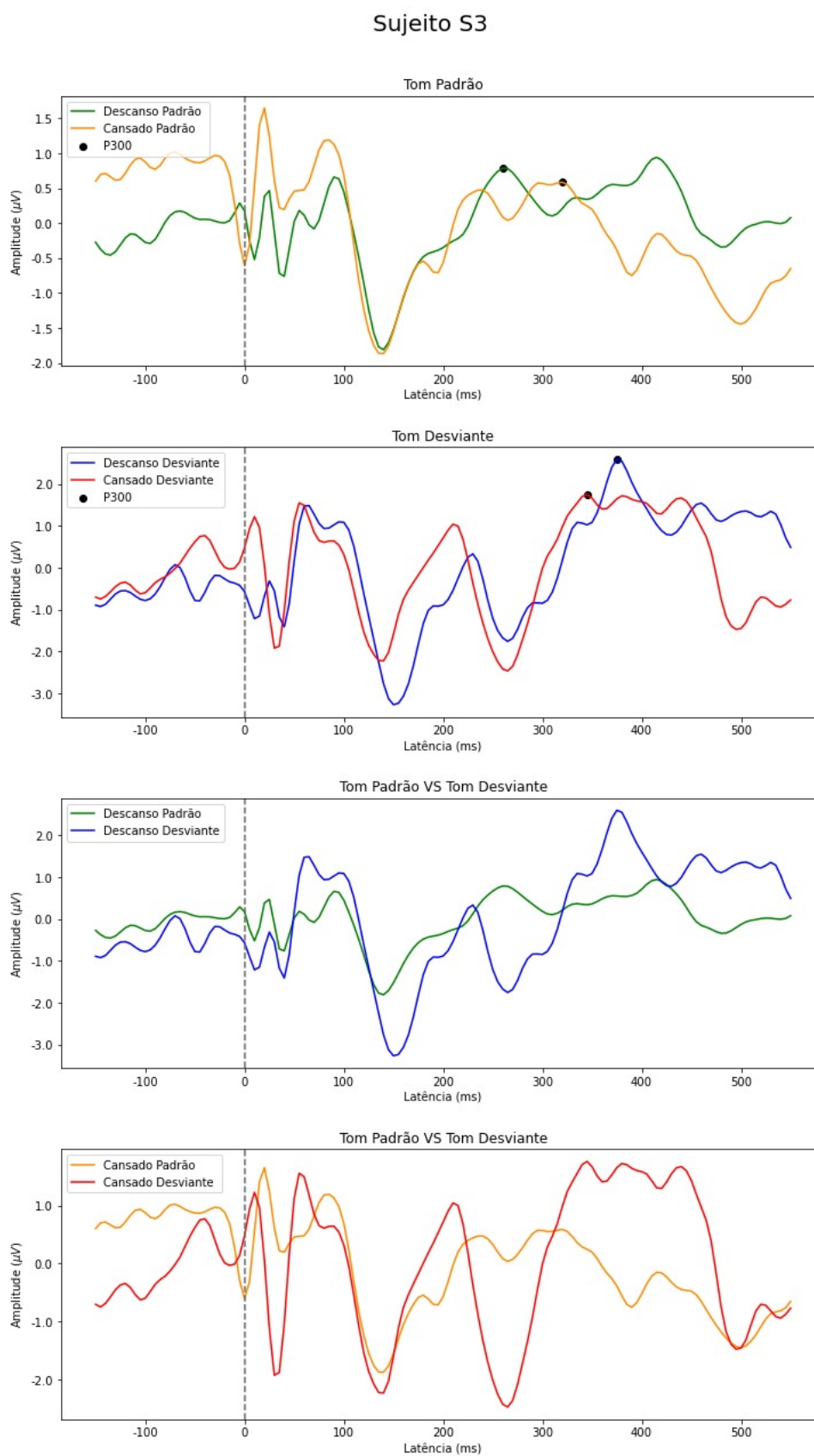


Figura 17 – ERP - Estado de Fadiga não induzida e estado de descanso do participante S3.

Fonte: Elaborada pela autora

especial, a privação de sono tenha afetado mais o participante que a submissão a uma prova difícil, sugerindo que a falta de sono afeta o P300 de forma similar ao cansaço por esforço mental.

4.4 Discussão

Os estudos que induzem a fadiga normalmente utilizam cálculos aritméticos por longos períodos de tempo para garantir maior assertividade do aspecto de fadiga mental. Neste estudo, optou-se por investigar o processo mais natural possível, isto é, analisando participantes em estado de descanso e com fadiga após uma prova, que se considera uma tarefa cognitiva de maior esforço. Sendo assim, diferencia-se dos demais sob o aspecto de se trabalhar a fadiga não induzida. Este estudo limita-se, e tem como indicativo de pesquisas futuras, quanto à investigação com maior número de participantes, tanto com relação ao número de pessoas que responderam aos questionários das escalas psicométricas, quanto ao número de estudantes que participaram do experimento. Os achados da investigação das escalas psicométricas corroboram os da literatura quanto à presença de fadiga, sonolência, e estresse em períodos de exames acadêmicos e se diferencia dos demais quanto ao traçado de correlação entre fadiga, sonolência e estresse, e quanto ao estudo da diferenciação entre os gêneros nesse contexto. Os achados sobre a fadiga e sonolência acumulada no público acadêmico demonstram o quanto este se encontra fadigado, possivelmente em decorrência do acúmulo de tarefas. Entretanto, limita-se quanto a investigação antes e depois de um exame escolar, bem como de uma possível relação causal entre as variáveis. Portanto, sugerem-se maiores investigações sobre essas questões.

Ademais, sugere-se a comparação com outros desenhos experimentais que envolvam mais tempo de coleta de dados de ERP, análise de tempo de resposta e de repouso sob as ondas alfa. Portanto, este estudo faz-se útil como de caráter preliminar para pesquisas futuras envolvendo fadiga mental, atenção e ERP. Sob o aspecto experimental, acredita-se que um protocolo possa ser desenvolvido, a partir deste estudo, com as mesmas condições do experimento: condição passiva, na qual o sujeito participante apenas ouve os estímulos sonoros; e condição ativa, na qual o sujeito participante conta mentalmente os estímulos sonoros. Afinal, além de se confirmar os achados deste estudo de que a contagem de estímulos não interfere no desempenho do P300, uma condição ativa contribui para se evitar sonolência durante a coleta de dados de EEG, pois há ocorrência de recursos atencionais direcionados para a ação de contagem.

Outros achados relevantes deste estudo dizem respeito à amplitude do P300 elicitada pela carga mental da tarefa e a condição de contagem de estímulos. Observou-se que a amplitude do P300 diminui na condição de cansaço quando comparado com a condição de descanso para o caso de estímulos desviantes, o que confirma a literatura. Não

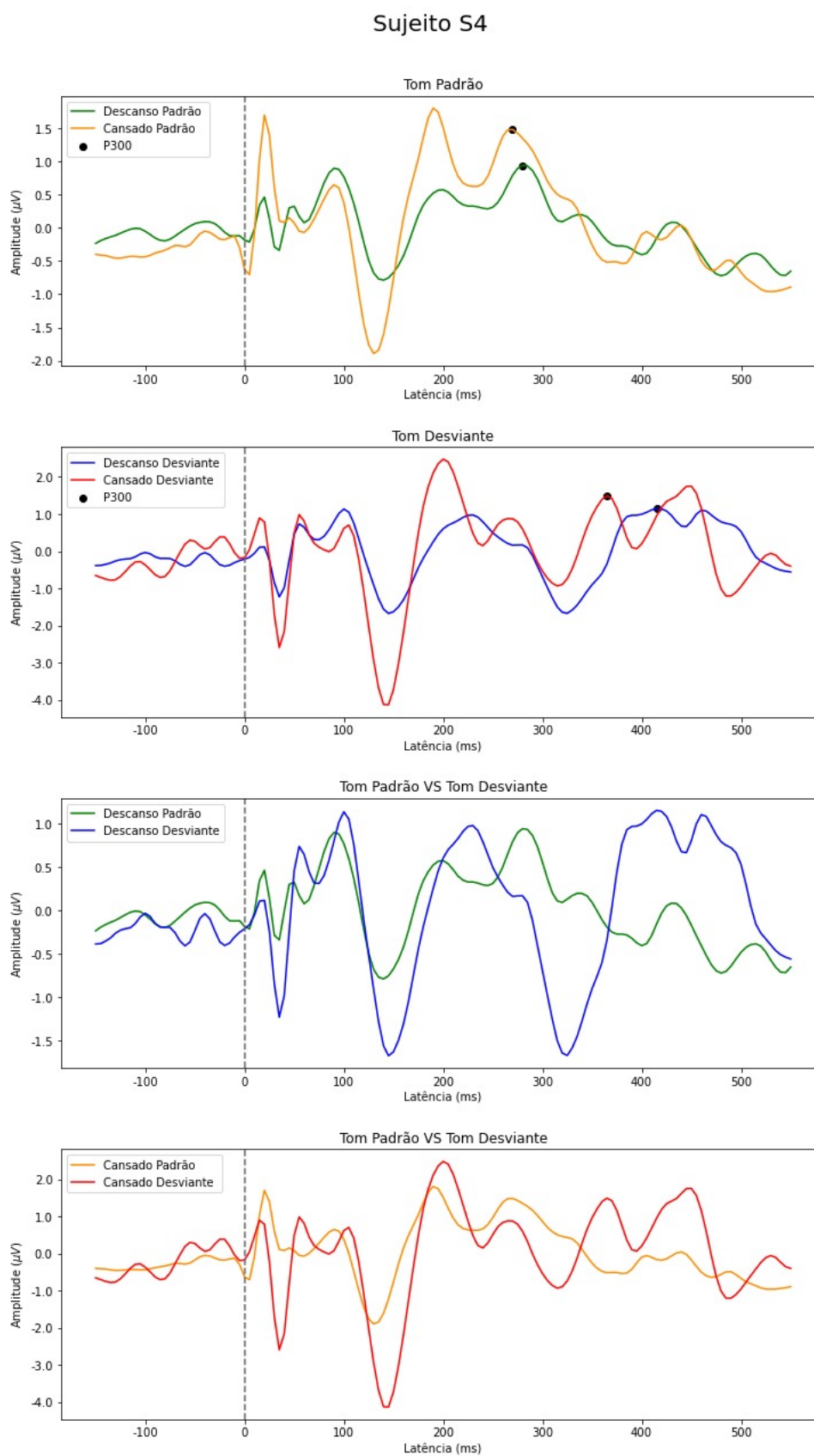


Figura 18 – ERP - Estado de Fadiga não induzida e estado de descanso do participante S4.

Fonte: Elaborada pela autora

foram encontrados resultados significativos para a latência. A redução na amplitude do P300 sugere que o cansaço ou fadiga pode interferir na atenção e no tempo de percepção do participante. Quanto à contagem de estímulos verificou-se ainda que num mesmo tempo da condição passiva, não induz maior fadiga, o que implica dizer que é a detecção da fadiga mental pode ser realizada também na forma não induzida.

O componente P300 de potenciais relacionados a eventos tem sido extensivamente examinado como um indicador neural de atenção e processos cognitivos. Muitos pesquisadores têm se dedicado a investigar a associação entre o P300 e a fadiga mental (CHEN *et al.*, 2021). O componente P300 refere-se a uma deflexão positiva na atividade neural do cérebro, que ocorre aproximadamente 300 milissegundos após a apresentação de um estímulo. O P300 é amplamente aceito como um marcador de carga de trabalho mental e tem sido utilizado para avaliar diversas funções cognitivas, como memória, atenção, concentração e tomada de decisão. Embora ainda ocorram discussões sobre o comportamento da amplitude do P300, alguns estudos consideram que a amplitude do componente P300 diminui à medida que a carga de trabalho mental ou cansaço aumenta, sugerindo uma diminuição dos recursos atencionais disponíveis para a tarefa. Os resultados deste estudo confirmaram essa diminuição no tom desviante nos participantes submetidos ao experimento.

Entretanto, no que tange à contagem de estímulos, na qual se esperava um aumento do P300, observou-se apenas que o cansado desviante era maior que o cansado padrão nos participantes que contaram estímulos, sugerindo que a contagem poderia ter interferido. Contudo, faz-se necessárias maiores investigações. Afinal, como apontado por (JIA; LIN; WANG, 2022), uma pesquisa realizada por especialistas indicou que amplitudes maiores do P300 sugerem uma maior alocação de recursos cognitivos para uma tarefa em andamento. Sendo assim, estudos com dupla tarefa seriam interessantes para se investigar essa atuação do P300. Ademais, diversos estudos demonstraram que o componente P300 é reduzido com o aumento da fadiga mental ou da carga de trabalho mental (JIA; LIN; WANG, 2022). Assim, ao examinarem o efeito da fadiga mental no desempenho da tomada de decisão de risco e preferência de risco em uma tarefa, os autores verificaram que as amplitudes P300 do grupo com fadiga mental são menores do que no grupo sem fadiga.

Normalmente, há uma amplitude diminuída quando o participante ignora estímulos por prestar atenção em outra tarefa, tal como apontam Takács *et al.* (2019), também em casos de fadiga, assim como foi mostrado neste estudo. Outros estudos também têm mostrado que a amplitude de P300 diminui consideravelmente quando o participante não presta atenção ao estímulo particular (TAKÁCS *et al.*, 2019; FRIEDMAN; KAZMERSKI; CYCOWICZ, 1998). Portanto, uma investigação com um protocolo tal como foi sugerido faz-se necessário com um maior número de sujeitos participantes.

5 CONCLUSÃO

Neste estudo, demonstrou-se que a fadiga mental é uma realidade entre estudantes de engenharia. A investigação a partir das análises de ERP mostraram que estudos de EEG podem ser bons biomarcadores para condição de fadiga mental, pois evidenciam de maneira objetiva o funcionamento da atividade cerebral durante o estado fadigado. Sugere-se, no entanto, que sejam associados a outros instrumentos de análise como escalas psicométricas, que se mostram bem subjetivas aos resultados. Observou-se ainda que a fadiga mental, no público analisado, tem correlação com os estados de sonolência e estresse, sobretudo no público feminino. Embora o estresse não tenha sido o foco deste estudo, observou-se a correlação com a fadiga mental.

O estresse pode ser compreendido pela percepção do sujeito sobre uma situação de demanda física ou mental, na qual há certo esforço na execução de tarefas. Considera-se como prejudicial aquele tipo de estresse cujo efeito é nocivo ao organismo, seja por um período longo ou curto. O termo estresse pode ser amplamente discutido sobre as questões emocionais. No entanto, neste estudo, não se objetivou centrar no estresse psíquico ou físico que resulta numa fadiga mental ou física. É sabido que a fadiga humana pode gerar riscos à segurança dos indivíduos que executam atividades de risco. Da mesma forma, a fadiga mental pode prejudicar as funções cognitivas. Nesse caso, é notória a correlação com o estresse emocional tendo em vista que a atividade requer uma alta carga de responsabilidade, aspectos de foco atencional e extrema concentração. Sendo assim, acredita-se que toda essa demanda tenha como efeito direto ou indireto a fadiga humana.

Estudos futuros fazem-se necessários para estabelecer possível relação causal entre as variáveis indicadas, bem como uma investigação mais detalhada sobre a diferenciação entre os gêneros e detalhamento sobre a condição de estresse que possa levar à fadiga nesse público. Nota-se que o comprometimento dessas variáveis pode atuar de forma negativa em vários aspectos cognitivos sob o estado de fadiga.

Ademais, identificou-se que o estado de sonolência pode alterar o comportamento do componente P300 no ERP, sugerindo que, em termos de comprometimento dos recursos atencionais, pode superar ao da fadiga mental por uma sobrecarga inerente a um dia de prova, o qual requer maior esforço cognitivo. Vale lembrar que o foco deste estudo foi analisar os aspectos atencionais. Portanto, o P300, componente mais estudado na literatura, foi o alvo desta investigação, embora também possa haver diferenças em P1, N1 e P2, quanto à amplitude nos estados referentes à fadiga.

Aspectos atencionais, importantes para o desempenho acadêmico, podem sofrer alterações neurofisiológicas sob a condição de fadiga, sonolência e estresse. Obviamente,

uma série de fatores pode influenciar a magnitude dos déficits neurofisiológicos observados. Porém, o foco deste estudo foi investigar como os recursos atencionais podem ser observados, sob a condição de fadiga, a todo o momento para que o sujeito desempenhe as atividades cognitivas, assim como as operações de memória para que os conteúdos sejam acionados no momento de um exame acadêmico, por exemplo. Sob esse aspecto, os resultados obtidos empiricamente e a perspectiva teórica investigada apontam que as alterações neurofisiológicas observadas no ERP, neste estudo, mostram menos amplitude do P300 na condição de fadiga, o que pode indicar comprometimento da funcionalidade das atividades cognitivas.

Conclui-se que a fadiga mental pode não somente trazer incômodo para o sujeito, como também ser a fonte de respostas de erro em uma tarefa, uma vez que afeta aspectos atencionais relevantes para o funcionamento dos processos cerebrais. Tal condição tende a comprometer o bom desempenho acadêmico dos estudantes universitários. Dessa forma, o desempenho acadêmico de qualidade depende do equilíbrio entre o esforço necessário à assimilação aplicação de conhecimento e a fadiga resultante de tal esforço.

REFERÊNCIAS

AI, Y. *et al.* Characteristics analysis for the effect of mental fatigue in monitoring task. *In: SPRINGER. International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 200–208.

AI, Y. *et al.* Characteristics analysis for the effect of mental fatigue in monitoring task. *In: SPRINGER. Advances in Human Error, Reliability, Resilience, and Performance: Proceedings of the AHFE 2017 International Conference on Human Error, Reliability, Resilience, and Performance, July 17–21, 2017, The Westin Bonaventure Hotel, Los Angeles, California, USA 8*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 200–208.

ÅKERSTEDT, T.; GILLBERG, M. Subjective and objective sleepiness in the active individual. *International journal of neuroscience*, Taylor & Francis, v. 52, n. 1-2, p. 29–37, 1990.

ÅKERSTEDT, T. *et al.* Predicting sleep quality from stress and prior sleep—a study of day-to-day covariation across six weeks. *Sleep medicine*, Elsevier, v. 13, n. 6, p. 674–679, 2012.

ALLISON, B. Z.; POLICH, J. Workload assessment of computer gaming using a single-stimulus event-related potential paradigm. *Biological psychology*, Elsevier, v. 77, n. 3, p. 277–283, 2008.

AMADUCCI, C. d. M.; MOTA, D. D. F. d. C.; PIMENTA, C. A. d. M. Fadiga entre estudantes de graduação em enfermagem. *Revista da Escola de Enfermagem da USP*, SciELO Brasil, v. 44, p. 1052–1058, 2010.

BOKSEM, M. A.; MEIJMAN, T. F.; LORIST, M. M. Effects of mental fatigue on attention: an erp study. *Cognitive brain research*, Elsevier, v. 25, n. 1, p. 107–116, 2005.

Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos. Departamento de Ciência e Tecnologia. **ROBIS – Risk of Bias in Systematic Reviews: ferramenta para avaliar o risco de viés em revisões sistemáticas: orientações de uso**. Brasília: Ministério da Saúde, Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos, Departamento de Ciência e Tecnologia, 2017.

BROWN, R. F.; THORSTEINSSON, E. B. Stressful life-events and fatigue in a nonclinical sample. *The Journal of nervous and mental disease*, LWW, v. 197, n. 9, p. 707–710, 2009.

CAMMU, H.; HAENTJENS, P. Perceptions of fatigue—and perceived consequences—among flemish obstetricians-gynaecologists: A survey. *The European Journal of Contraception & Reproductive Health Care*, Taylor & Francis, v. 17, n. 4, p. 314–320, 2012.

CASSIANO, S. K. A fadiga em foco na aviação: Adaptação brasileira da samn perelli scale. *Revista Conexão SIPAER*, v. 8, n. 3, p. 19–28, 2017.

- CASTELLANI, R. M. *et al.* Comportamento do estresse psicobiológico durante semanas de prova e trabalho de conclusão de curso em estudantes universitários:: existe diferença entre gêneros? **ETD-Educação Temática Digital**, v. 24, n. 2, p. 373–391, 2022.
- CHEN, Y. *et al.* Fatigue-related effects in the process of task interruption on working memory. **Frontiers in Human Neuroscience**, Frontiers Media SA, v. 15, p. 703422, 2021.
- CLAYTON, M. S.; YEUNG, N.; KADOSH, R. C. The roles of cortical oscillations in sustained attention. **Trends in cognitive sciences**, Elsevier, v. 19, n. 4, p. 188–195, 2015.
- COHEN, S.; KAMARCK, T.; MERMELSTEIN, R. A global measure of perceived stress. **Journal of health and social behavior**, JSTOR, p. 385–396, 1983.
- COOK, D. B. *et al.* Functional neuroimaging correlates of mental fatigue induced by cognition among chronic fatigue syndrome patients and controls. **Neuroimage**, Elsevier, v. 36, n. 1, p. 108–122, 2007.
- CURCIO, G.; FERRARA, M.; GENNARO, L. D. Sleep loss, learning capacity and academic performance. **Sleep medicine reviews**, Elsevier, v. 10, n. 5, p. 323–337, 2006.
- DEMOUGEOT, L.; PAPAXANTHIS, C. Muscle fatigue affects mental simulation of action. **Journal of Neuroscience**, Soc Neuroscience, v. 31, n. 29, p. 10712–10720, 2011.
- DEMOUGEOT, L.; PAPAXANTHIS, C. Muscle fatigue affects mental simulation of action. **Journal of Neuroscience**, Soc Neuroscience, v. 31, n. 29, p. 10712–10720, 2011.
- DINGES, D. F. An overview of sleepiness and accidents. **Journal of sleep research**, Wiley Online Library, v. 4, p. 4–14, 1995.
- DOERR, J. M. *et al.* Reciprocal relationship between acute stress and acute fatigue in everyday life in a sample of university students. **Biological psychology**, Elsevier, v. 110, p. 42–49, 2015.
- DUNCAN, M. J. *et al.* Mental fatigue negatively influences manual dexterity and anticipation timing but not repeated high-intensity exercise performance in trained adults. **Research in Sports Medicine**, Taylor & Francis, v. 23, n. 1, p. 1–13, 2015.
- DYKE, F. B. *et al.* The efficacy of auditory probes in indexing cognitive workload is dependent on stimulus complexity. **International Journal of Psychophysiology**, Elsevier, v. 95, n. 1, p. 56–62, 2015.
- FERREIRA, L. S.; OLIVEIRA, P. A. d.; BONAVIDES, A. S. Manual do técnico em eeg. **Rio de Janeiro: Revinter**, 2010.
- FLETCHER, A. *et al.* Countermeasures to driver fatigue: a review of public awareness campaigns and legal approaches. **Australian and New Zealand Journal of Public Health**, Wiley Online Library, v. 29, n. 5, p. 471–476, 2005.
- FONSECA, A. *et al.* Brain network changes in fatigued drivers: a longitudinal study in a real-world environment based on the effective connectivity analysis and actigraphy data. **Frontiers in human neuroscience**, Frontiers Media SA, v. 12, p. 418, 2018.

- FONSECA, V. Insucesso escolar: abordagem psicopedagógica das dificuldades de aprendizagem. **Lisboa: Âncora Editora**, 1999.
- FREEMAN, W.; QUIROGA, R. Q. **Imaging brain function with EEG: advanced temporal and spatial analysis of electroencephalographic signals**. [S.l.: s.n.]: Springer Science & Business Media, 2012.
- FRIEDMAN, D.; KAZMERSKI, V. A.; CYCOWICZ, Y. M. Effects of aging on the novelty p3 during attend and ignore oddball tasks. **Psychophysiology**, Wiley Online Library, v. 35, n. 5, p. 508–520, 1998.
- FRITH, U. Reading by eye and writing by ear. *In*: **Processing of visible language**. [S.l.: s.n.]: Springer, 1979. p. 379–390.
- GERGELYFI, M. *et al.* **Dissociation between mental fatigue and motivational state during prolonged mental activity**. **Front Behav Neurosci** **9**: 176. 2015.
- GHANI, U. *et al.* A novel approach to validate the efficacy of single task erp paradigms to measure cognitive workload. **International Journal of Psychophysiology**, Elsevier, v. 158, p. 9–15, 2020.
- GOMES, M. d. M. Bases fisiológicas do eletroencefalograma. **Revista Brasileira de Neurologia**, v. 51, n. 1, 2015.
- GOSSELIN, A.; KONINCK, J. D.; CAMPBELL, K. Disentangling specific inhibitory versus general decision-making processes during sleep deprivation using a go/nogo erp paradigm. **International Journal of Psychophysiology**, v. 141, 04 2019.
- GRAEFF, F. G.; GUIMARÃES, F. S. Fundamentos de psicofarmacologia. *In*: **Fundamentos de psicofarmacologia**. [S.l.: s.n.], 2000. p. 238–238.
- GREELEY, H. P. *et al.* Fatigue estimation using voice analysis. **Behavior research methods**, Springer, v. 39, n. 3, p. 610–619, 2007.
- GREELEY, H. P. *et al.* **Field study evaluation of cepstrum coefficient speech analysis for fatigue in aviation cabin crew**. [S.l.], 2013.
- GUO, Z. *et al.* The impairing effects of mental fatigue on response inhibition: An erp study. **PloS one**, Public Library of Science San Francisco, CA USA, v. 13, n. 6, p. e0198206, 2018.
- HAUBERT, A. *et al.* Relationship of event-related potentials to the vigilance decrement. **Frontiers in psychology**, Frontiers Media SA, v. 9, p. 237, 2018.
- HOPSTAKEN, J. F. *et al.* A multifaceted investigation of the link between mental fatigue and task disengagement. **Psychophysiology**, Wiley Online Library, v. 52, n. 3, p. 305–315, 2015.
- HORAT, S. K. *et al.* Assessment of mental workload: a new electrophysiological method based on intra-block averaging of erp amplitudes. **Neuropsychologia**, Elsevier, v. 82, p. 11–17, 2016.
- IŞOĞLU-ALKAÇ, Ü. *et al.* Event-related potentials during auditory oddball, and combined auditory oddball–visual paradigms. **International Journal of Neuroscience**, Taylor & Francis, v. 117, n. 4, p. 487–506, 2007.

- ITAGI, A. B. H. *et al.* Physical exhaustion induced variations in event-related potentials and cognitive task performance in young adults. **Annals of Neurosciences**, S. Karger AG, v. 25, n. 4, p. 299–304, 2019.
- JANOCHA, A.; MOLEDA, A.; SEBZDA, T. Wpływ deprywacji snu na procesy poznawcze studentów medycyny w czasie sesji egzaminacyjnej. **Medycyna Pracy**, Nofer Institute of Occupational Medicine, v. 74, n. 1, p. 27–40, 2023.
- JAQUESS, K. J. *et al.* Empirical evidence for the relationship between cognitive workload and attentional reserve. **International Journal of Psychophysiology**, Elsevier, v. 121, p. 46–55, 2017.
- JIA, H.; LIN, C. J.; WANG, E. M.-y. Effects of mental fatigue on risk preference and feedback processing in risk decision-making. **Scientific Reports**, Nature Publishing Group UK London, v. 12, n. 1, p. 10695, 2022.
- JOHNS, M. W. Daytime sleepiness, snoring, and obstructive sleep apnea: the epworth sleepiness scale. **Chest**, Elsevier, v. 103, n. 1, p. 30–36, 1993.
- JOHNSTON, D. *et al.* The relationship between depression symptoms, absenteeism and presenteeism. **Journal of affective disorders**, Elsevier, v. 256, p. 536–540, 2019.
- JONG, M. D. *et al.* Age modulates the effects of mental fatigue on typewriting. **Frontiers in Psychology**, Frontiers Media SA, v. 9, p. 1113, 2018.
- KANFER, R. Determinants and consequences of subjective cognitive fatigue. American Psychological Association, 2011.
- KATO, Y.; ENDO, H.; KIZUKA, T. Mental fatigue and impaired response processes: event-related brain potentials in a go/nogo task. **International Journal of Psychophysiology**, Elsevier, v. 72, n. 2, p. 204–211, 2009.
- KILLGORE, W. D. Effects of sleep deprivation on cognition. **Progress in brain research**, Elsevier, v. 185, p. 105–129, 2010.
- KRAJEWSKI, J.; BATLINER, A.; GOLZ, M. Acoustic sleepiness detection: Framework and validation of a speech-adapted pattern recognition approach. **Behavior research methods**, Springer, v. 41, n. 3, p. 795–804, 2009.
- KRAJEWSKI, J. *et al.* Estimating fatigue from predetermined speech samples transmitted by operator communication systems. *In*: UNIVERSITY OF IOWA. **Driving Assessment Conference**. [*S.l.*: *s.n.*], 2009. v. 5, n. 2009.
- KRIGOLSON, O. E. *et al.* Using muse: Rapid mobile assessment of brain performance. **Frontiers in Neuroscience**, Frontiers Media SA, v. 15, p. 634147, 2021.
- LAMTI, H. A. *et al.* When mental fatigue maybe characterized by event related potential (p300) during virtual wheelchair navigation. **Computer methods in biomechanics and biomedical engineering**, Taylor & Francis, v. 19, n. 16, p. 1749–1759, 2016.
- LAMTI, H. A.; KHELIFA, M. M. B.; HUGEL, V. Mental fatigue level detection based on event related and visual evoked potentials features fusion in virtual indoor environment. **Cognitive Neurodynamics**, Springer, v. 13, p. 271–285, 2019.

- LANGNER, R. *et al.* Mental fatigue and temporal preparation in simple reaction-time performance. **Acta psychologica**, Elsevier, v. 133, n. 1, p. 64–72, 2010.
- LAVIDOR, M.; WELLER, A.; BABKOFF, H. How sleep is related to fatigue. **British journal of health psychology**, Wiley Online Library, v. 8, n. 1, p. 95–105, 2003.
- LEE, S.; KIM, J. K. Factors contributing to the risk of airline pilot fatigue. **Journal of air transport management**, Elsevier, v. 67, p. 197–207, 2018.
- LI, F. *et al.* Inter-subject p300 variability relates to the efficiency of brain networks reconfigured from resting-to task-state: evidence from a simultaneous event-related eeg-fmri study. **NeuroImage**, Elsevier, v. 205, p. 116285, 2020.
- LI, G. *et al.* The impact of mental fatigue on brain activity: A comparative study both in resting state and task state using eeg. **BMC neuroscience**, Springer, v. 21, p. 1–9, 2020.
- LI, X.; DUC, B. H. Functional neuroimaging of circadian fatigue. **International journal of computer applications in technology**, Inderscience Publishers, v. 45, n. 2-3, p. 156–162, 2012.
- LIM, J.; DINGES, D. F. A meta-analysis of the impact of short-term sleep deprivation on cognitive variables. **Psychological bulletin**, American Psychological Association, v. 136, n. 3, p. 375, 2010.
- LIMONGI-FRANÇA, A. C.; RODRIGUES, A. L. Stress e trabalho: guia básico com abordagem psicossomática. 1997.
- LIU, J. *et al.* Dissociable effects of reward on p300 and eeg spectra under conditions of high vs. low vigilance during a selective visual attention task. **Frontiers in human neuroscience**, Frontiers, p. 207, 2020.
- LIU, J. *et al.* Dissociable effects of reward on p300 and eeg spectra under conditions of high vs. low vigilance during a selective visual attention task. **Frontiers in Human Neuroscience**, Frontiers Media SA, v. 14, p. 207, 2020.
- LU, W. *et al.* Chinese version of the perceived stress scale-10: A psychometric study in chinese university students. **PloS one**, Public Library of Science San Francisco, CA USA, v. 12, n. 12, p. e0189543, 2017.
- LUCK, S. J. **An introduction to the event-related potential technique**. [*S.l.: s.n.*]: MIT press, 2014.
- MAGNUSON, J. R.; DOESBURG, S. M.; MCNEIL, C. J. Development and recovery time of mental fatigue and its impact on motor function. **Biological psychology**, Elsevier, v. 161, p. 108076, 2021.
- MARCHINI, D. M. F. *et al.* Análise de estresse e qualidade de vida em alunos universitários. **Revista de Administração Unimep**, v. 17, n. 3, p. 141–164, 2019.
- MARCORA, S. M.; STAIANO, W.; MANNING, V. Mental fatigue impairs physical performance in humans. **Journal of applied physiology**, American Physiological Society, 2009.

- MARTA, O. F. D. *et al.* Gender differences in the relationships between sleep disturbances and academic performance among nursing students: A cross-sectional study. **Nurse Education Today**, Elsevier, v. 85, p. 104270, 2020.
- MIZUNO, K. *et al.* Mental fatigue caused by prolonged cognitive load associated with sympathetic hyperactivity. **Behavioral and brain functions**, BioMed Central, v. 7, n. 1, p. 1–7, 2011.
- MOHER, D. *et al.* Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the prisma statement. **Annals of internal medicine**, American College of Physicians, v. 151, n. 4, p. 264–269, 2009.
- MOORE, T. M. *et al.* Neural mechanisms of mental fatigue elicited by sustained auditory processing. **Neuropsychologia**, Elsevier, v. 106, p. 371–382, 2017.
- MOTA, D. D. C. d. F.; CRUZ, D. d. A. L. M. d.; PIMENTA, C. A. d. M. Fadiga: uma análise do conceito. **Acta Paulista de Enfermagem**, SciELO Brasil, v. 18, p. 285–293, 2005.
- MUN, S.; KIM, E.-S.; PARK, M.-C. Effect of mental fatigue caused by mobile 3d viewing on selective attention: An erp study. **International Journal of Psychophysiology**, Elsevier, v. 94, n. 3, p. 373–381, 2014.
- MURATA, A.; UETAKE, A.; TAKASAWA, Y. Evaluation of mental fatigue using feature parameter extracted from event-related potential. **International journal of industrial ergonomics**, Elsevier, v. 35, n. 8, p. 761–770, 2005.
- MURATA, K. *et al.* Accumulation of vdt work-related visual fatigue assessed by visual evoked potential, near point distance and critical flicker fusion. **Industrial health**, National Institute of Occupational Safety and Health, v. 34, n. 2, p. 61–69, 1996.
- NIX, S.; BRUNETTE, S. Rest, shift duration, and air medical crewmember fatigue. **Air Medical Journal**, Elsevier, v. 34, n. 5, p. 289–291, 2015.
- NOMENCLATURE, S. E. P. American electroencephalographic society guidelines for. **Journal of clinical Neurophysiology**, v. 8, n. 2, p. 200–2, 1991.
- PARK, S.; HA, J.; KIM, L. Anti-heartbeat-evoked potentials performance in event-related potentials-based mental workload assessment. **Frontiers in Physiology**, Frontiers Media SA, v. 12, 2021.
- PERGHER, V.; VANBILSEN, N.; HULLE, M. V. The effect of mental fatigue and gender on working memory performance during repeated practice by young and older adults. **Neural Plasticity**, Hindawi Limited, v. 2021, p. 1–10, 2021.
- PFURTSCHELLER, G.; ARANIBAR, A. Occipital rhythmic activity within the alpha band during conditioned externally paced movement. **Electroencephalography and clinical neurophysiology**, Elsevier, v. 45, n. 2, p. 226–235, 1978.
- PHIPPS-NELSON, J.; REDMAN, J. R.; RAJARATNAM, S. M. Temporal profile of prolonged, night-time driving performance: breaks from driving temporarily reduce time-on-task fatigue but not sleepiness. **Journal of sleep research**, Wiley Online Library, v. 20, n. 3, p. 404–415, 2011.

- POLICH, J. Updating p300: an integrative theory of p3a and p3b. **Clinical neurophysiology**, Elsevier, v. 118, n. 10, p. 2128–2148, 2007.
- POUDEL, G. R. *et al.* fmri correlates of behavioural microsleeps during a continuous visuomotor task. *In: IEEE. 2009 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. [S.l.: s.n.], 2009. p. 2919–2922.
- PRISMA Group. **PRISMA Statement**. 2023. Acessado em data de acesso. Disponível em: <http://www.prisma-statement.org/>.
- RAMOS, C. D. *et al.* Análise dos ritmos cerebrais de eletroencefalografia no processo de leitura. **einstein (São Paulo)**, SciELO Brasil, v. 18, 2020.
- REIS, R. S.; HINO, A. A. F.; AÑEZ, C. R. R. Perceived stress scale: reliability and validity study in brazil. **Journal of health psychology**, Sage Publications Sage UK: London, England, v. 15, n. 1, p. 107–114, 2010.
- ROCHA, L. X. d. **Distúrbios do sono: uma viagem pelas diferenças entre gêneros**. 2018. Tese (Doutorado), 2018.
- ROZAND, V. *et al.* Effect of mental fatigue on speed–accuracy trade-off. **Neuroscience**, Elsevier, v. 297, p. 219–230, 2015.
- SAMN, S.; PERELLI, L. Estimating aircrew fatigue: A technique with application to airlift operations. **Technical Report No. SAM-TR-82-21**, p. 29, 12 1982.
- SAMUEL, I. B. H. *et al.* Compensatory neural responses to cognitive fatigue in young and older adults. **Frontiers in Neural Circuits**, Frontiers Media SA, v. 13, p. 12, 2019.
- SCULTHORPE, L. D.; COLLIN, C. A.; CAMPBELL, K. B. The influence of strongly focused visual attention on the detection of change in an auditory pattern. **Brain research**, Elsevier, v. 1234, p. 78–86, 2008.
- SILVA, A. M. da *et al.* Padrão de sono, fadiga e perfil antropométrico de estudantes universitários. **HUMANIDADES E TECNOLOGIA (FINOM)**, v. 19, n. 1, p. 08–19, 2020.
- SMITH, M. R. *et al.* Mental fatigue impairs soccer-specific physical and technical performance. **Medicine & science in sports & exercise**, LWW, v. 48, n. 2, p. 267–276, 2016.
- SOKHADZE, E. M. *et al.* Event-related potentials (erp) in cognitive neuroscience research and applications. **NeuroRegulation**, v. 4, n. 1, p. 14–14, 2017.
- SOLÍS-MARCOS, I.; KIRCHER, K. Event-related potentials as indices of mental workload while using an in-vehicle information system. **Cognition, Technology & Work**, Springer, v. 21, p. 55–67, 2019.
- TAKÁCS, E. *et al.* Cognitive resilience after prolonged task performance: an erp investigation. **Experimental Brain Research**, Springer, v. 237, n. 2, p. 377–388, 2019.
- TAKEDA, Y. *et al.* Electrophysiological assessment of driving pleasure and difficulty using a task-irrelevant probe technique. **Biological psychology**, Elsevier, v. 120, p. 137–141, 2016.

TATUM, W. O. **Handbook of EEG interpretation**. [S.l.: s.n.]: Springer Publishing Company, 2021.

THEORELL-HAGLÖW, J. *et al.* Gender differences in obstructive sleep apnoea, insomnia and restless legs syndrome in adults—what do we know? a clinical update. **Sleep Medicine Reviews**, Elsevier, v. 38, p. 28–38, 2018.

THOMAS, M. *et al.* Neural basis of alertness and cognitive performance impairments during sleepiness. i. effects of 24 h of sleep deprivation on waking human regional brain activity. **Journal of sleep research**, Wiley Online Library, v. 9, n. 4, p. 335–352, 2000.

THORSTEINSSON, E.; BROWN, R. Mediators and moderators of the stressor-fatigue relationship in nonclinical samples. **Journal of psychosomatic research**, v. 66, p. 21–9, 02 2009.

UETAKE, A.; MURATA, A. Assessment of mental fatigue during vdt task using event-related potential (p300). *In*: IEEE. **Proceedings 9th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication. IEEE RO-MAN 2000 (Cat. No. 00TH8499)**. [S.l.: s.n.], 2000. p. 235–240.

URIGÜEN, J. A.; GARCIA-ZAPIRAIN, B. Eeg artifact removal—state-of-the-art and guidelines. **Journal of neural engineering**, IOP Publishing, v. 12, n. 3, p. 031001, 2015.

VOLOSIN, M.; HORVÁTH, J. Task difficulty modulates voluntary attention allocation, but not distraction in an auditory distraction paradigm. **Brain Research**, Elsevier, v. 1727, p. 146565, 2020.

WYLIE, G. *et al.* Using functional connectivity changes associated with cognitive fatigue to delineate a fatigue network. **Scientific reports**, Nature Publishing Group, v. 10, n. 1, p. 1–12, 2020.

XIAO, Y. *et al.* Sustained attention is associated with error processing impairment: evidence from mental fatigue study in four-choice reaction time task. **PloS one**, Public Library of Science San Francisco, CA USA, v. 10, n. 3, p. e0117837, 2015.

XIAO, Y. *et al.* The neuro patterns prior to error responses in long-lasting working memory task: An event-related potential study. **Frontiers in behavioral neuroscience**, Frontiers Media SA, v. 13, p. 277, 2019.

YADON, C. A. *et al.* P50 sensory gating is related to performance on select tasks of cognitive inhibition. **Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience**, Springer, v. 9, p. 448–458, 2009.

YOSHITAKE, H. Relations between the symptoms and the feeling of fatigue. **Ergonomics**, Taylor & Francis, v. 14, n. 1, p. 175–186, 1971.

ZHANG, L. *et al.* Decreased information replacement of working memory after sleep deprivation: evidence from an event-related potential study. **Frontiers in neuroscience**, Frontiers Media SA, v. 13, p. 408, 2019.

Anexo A – Escalas de Fadiga

Figura 19 – Escala de fadiga (aguda) Sam- Perelli

ESCALA DE FADIGA DE SAMN-PERELLI FORMULÁRIO DE PREENCHIMENTO		
Nome:		Nº Registro ANAC:
Nº Coleta:	Data / Hora da Coleta:	A coleta está sendo realizada em um: <input type="checkbox"/> Dia de folga <input type="checkbox"/> Dia de trabalho
Assinale a sentença que descreve como você está se sentindo nesse exato momento :		
Opção	Descrição	
	1. Totalmente alerta, bem desperto, extremamente disposto	
	2. Muito ativo, responsivo, mas não em nível máximo	
	3. Bem, relativamente revigorado	
	4. Um pouco cansado, não totalmente disposto	
	5. Moderadamente cansado, enfraquecido	
	6. Muito cansado, com dificuldade de concentração	
	7. Completamente exausto, incapaz de trabalhar efetivamente	

Fonte: (SAMN; PERELLI, 1982)

Figura 20 – Escala de fadiga (acumulada) Yoshitake

ESCALA DE FADIGA DE YOSHITAKE FORMULÁRIO DE PREENCHIMENTO						
Nome:				Nº Registro ANAC:		
Nº Coleta:	Data / Hora da Coleta:		A coleta está sendo realizada em um: <input type="checkbox"/> Dia de folga <input type="checkbox"/> Dia de trabalho			
Qual nota você dá para os seguintes sintomas? (Esta pesquisa se refere ao seu modo de vida atual)						
SONOLÊNCIA						
ORDEM	SINTOMA	NUNCA	RARAMENTE	ÀS VEZES	MUITAS VEZES	SEMPRE
1	Sinto a cabeça pesada					
2	Sinto moleza no corpo					
3	Sinto moleza nas pernas					
4	Tenho vontade de bocejar durante o trabalho					
5	As minhas ideias não são claras					
6	Estou sonolento					
7	Sinto os olhos cansados					
8	Tenho dificuldade em me movimentar					
9	Tenho dificuldades em me manter de pé					
10	Eu gostaria de ir me deitar um pouco (durante o horário de trabalho)					
CONCENTRAÇÃO						
ORDEM	SINTOMA	NUNCA	RARAMENTE	ÀS VEZES	MUITAS VEZES	SEMPRE
1	Preciso me concentrar mais					
2	Não tenho vontade de falar com ninguém no trabalho					
3	Fico irritado (a) facilmente					
4	Não consigo me concentrar bem					
5	Tenho que pensar outras coisas além do meu trabalho					
6	Minha memória não está boa para o trabalho					
7	Cometo pequenos erros no meu trabalho					
8	Tenho outras preocupações fora meu trabalho					
9	Eu gostaria de estar em boa forma física para o meu trabalho, mas não me sinto em condições					
10	Não posso mais continuar a trabalhar, embora tenha que prosseguir					
PSICOSSOMÁTICOS						
ORDEM	SINTOMA	NUNCA	RARAMENTE	ÀS VEZES	MUITAS VEZES	SEMPRE
1	Sinto dor de cabeça					
2	Ombros pesados					
3	Dores nas costas					
4	Dificuldades em respirar					
5	Boca seca					
6	Voz rouca					
7	Tonturas					
8	Tremores nas pálpebras					
9	Tremores nos membros (braços e pernas)					
10	Sinto-me doente					

Fonte: (YOSHITAKE, 1971)

Anexo B – Escalas de Sonolência

Figura 21 – Escala de Sonolência (acumulada) Epworth

ESCALA DE SONOLÊNCIA DE EPWORTH				
FORMULÁRIO DE PREENCHIMENTO				
Nome:			Nº Registro ANAC:	
Nº Coleta:	Data / Hora da Coleta:	A coleta está sendo realizada em um: <input type="checkbox"/> Dia de folga <input type="checkbox"/> Dia de trabalho		
<p>Qual a probabilidade de você cochilar ou adormecer - e não apenas se sentir cansado - durante as seguintes situações? Esta pesquisa refere-se ao seu modo de vida atual. POR FAVOR, MARQUE UMA CAIXA EM CADA LINHA.</p> <p>1. Nunca cochilaria 2. Pequena chance 3. Chance moderada 4. Alta chance</p>				
Descrição	Chance de cochilar			
	1	2	3	4
1. Sentado e lendo				
2. Vendo TV				
3. Sentado em lugar público, sem atividade (sala de espera, cinema, reunião)				
4. Como passageiro de trem, carro ou ônibus andando uma hora sem parar				
5. Deitado para descansar à tarde, quando as circunstâncias permitem				
6. Sentado e conversando com alguém				
7. Sentado, calmamente, após almoço sem álcool				
8. Se estiver no carro, enquanto pára por alguns minutos no trânsito intenso				

Fonte: (JOHNS, 1993)

Figura 22 – Escala de Sonolência (aguda) Karolinska

ESCALA DE SONOLÊNCIA DE KAROLINSKA		
FORMULÁRIO DE PREENCHIMENTO		
Nome:		Nº Registro ANAC:
Nº Coleta:	Data / Hora da Coleta:	A coleta está sendo realizada em um: <input type="checkbox"/> Dia de folga <input type="checkbox"/> Dia de trabalho
<p>Como estou me sentindo agora? Pode-se marcar qualquer um dos valores de 1 a 9 (não apenas aquele que apresentem descrições), sendo que os que estão sem descrição são estágios intermediários.</p>		
Opção	Descrição	
	1. Extremamente alerta.	
	2.	
	3. Alerta	
	4.	
	5. Nem sonolento, nem alerta.	
	6.	
	7. Sonolento, mas sem dificuldade para permanecer acordado.	
	8.	
	9. Extremamente sonolento, lutando contra o sono.	

Fonte: (ÅKERSTEDT; GILLBERG, 1990)

Anexo C – Escala de Percepção do Estresse

Figura 23 – Escala de estresse

ESCALA DE PERCEPÇÃO DE ESTRESSE-10 (EPS-10)

As questões nesta escala perguntam a respeito dos seus sentimentos e pensamentos durante os **últimos 30 dias** (último mês). Em cada questão **indique a frequência** com que você se **sentiu ou pensou** a respeito da situação.

1. Com que frequência você ficou aborrecido por causa de algo que aconteceu inesperadamente? (considere os últimos 30 dias)
[0].Nunca [1].Quase Nunca [2].Às Vezes [3].Pouco Frequente [4] Muito Frequente
2. Com que frequência você sentiu que foi incapaz de controlar coisas importantes na sua vida? (considere os últimos 30 dias)
[0].Nunca [1].Quase Nunca [2].Às Vezes [3].Pouco Frequente [4] Muito Frequente
3. Com que frequência você esteve nervoso ou estressado? (considere os últimos 30 dias)
[0].Nunca [1].Quase Nunca [2].Às Vezes [3].Pouco Frequente [4] Muito Frequente
4. Com que frequência você esteve confiante em sua capacidade de lidar com seus problemas pessoais? (considere os últimos 30 dias)
[0].Nunca [1].Quase Nunca [2].Às Vezes [3].Pouco Frequente [4] Muito Frequente
5. Com que frequência você sentiu que as coisas aconteceram da maneira que você esperava? (considere os últimos 30 dias)
[0].Nunca [1].Quase Nunca [2].Às Vezes [3].Pouco Frequente [4] Muito Frequente
6. Com que frequência você achou que não conseguiria lidar com todas as coisas que tinha por fazer? (considere os últimos 30 dias)
[0].Nunca [1].Quase Nunca [2].Às Vezes [3].Pouco Frequente [4] Muito Frequente
7. Com que frequência você foi capaz de controlar irritações na sua vida? (considere os últimos 30 dias)
[0].Nunca [1].Quase Nunca [2].Às Vezes [3].Pouco Frequente [4] Muito Frequente
8. Com que frequência você sentiu que todos os aspectos de sua vida estavam sob controle? (considere os últimos 30 dias)
[0].Nunca [1].Quase Nunca [2].Às Vezes [3].Pouco Frequente [4] Muito Frequente
9. Com que frequência você esteve bravo por causa de coisas que estiveram fora de seu controle? (considere os últimos 30 dias)
[0].Nunca [1].Quase Nunca [2].Às Vezes [3].Pouco Frequente [4] Muito Frequente
10. Com que frequência você sentiu que os problemas acumularam tanto que você não conseguiria resolvê-los? (considere os últimos 30 dias)
[0].Nunca [1].Quase Nunca [2].Às Vezes [3].Pouco Frequente [4] Muito Frequente

1

Fonte: (COHEN; KAMARCK; MERMELSTEIN, 1983);(REIS; HINO; AÑEZ, 2010)

Apêndice A – Questionário de Triagem

Figura 24 – Questionário de triagem

QUESTIONÁRIO DE TRIAGEM			
NOME:		Nº COLETA:	
DATA E HORA DA COLETA:		A COLETA ESTÁ SENDO REALIZADA EM UM: <input type="checkbox"/> DIA DE DESCANSO <input type="checkbox"/> DIA DE PROVA	
HISTÓRICO DO SONO			
Informe os horários que você dormiu e acordou nas três últimas principais oportunidades que você teve:			
ÚLTIMA OPORTUNIDADE DE SONO			
Dia da semana:	A que horas você dormiu:		A que horas você acordou:
Qualidade do sono:	<input type="checkbox"/> Excelente	<input type="checkbox"/> Bom	<input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Ruim
PENÚLTIMA OPORTUNIDADE DE SONO			
Dia da semana:	A que horas você dormiu:		A que horas você acordou:
Qualidade do sono:	<input type="checkbox"/> Excelente	<input type="checkbox"/> Bom	<input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Ruim
ANTEPENÚLTIMA OPORTUNIDADE DE SONO			
Dia da semana:	A que horas você dormiu:		A que horas você acordou:
Qualidade do sono:	<input type="checkbox"/> Excelente	<input type="checkbox"/> Bom	<input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Ruim
QUESTIONÁRIO			
1. Idade:			
2. Escolaridade:			
3. Trabalha ? Qual função?			
3. Qual o horário da primeira gravação no dia de prova?			
4. Qual a disciplina da prova?			
5. Faz uso de algum medicamento psiquiátrico? Se sim, Qual?			
6. Possui alguma dificuldade auditiva? Se sim, Qual?			
ATIVIDADE FÍSICA			
Você pratica atividade física? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não			
Se sim, com que frequência? (por semana) <input type="checkbox"/> 1 a 2 dias <input type="checkbox"/> 3 a 5 dias <input type="checkbox"/> 6 a 7 dias			
Praticou no dia da coleta? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não			
Fez uso de alguma das seguintes substâncias no dia da coleta? (mais de uma opção pode ser marcada)			
<input type="checkbox"/> Cafeína <input type="checkbox"/> Energéticos <input type="checkbox"/> Chocolate <input type="checkbox"/> Outras substâncias estimulantes. Informe quais:			

Fonte: Elaborada pela autora