

VERIFICANDO INDÍCIOS COGNITIVOS UTILIZANDO A VARIABILIDADE DE FREQUÊNCIA CARDÍACA

Fabiana S. Sgobbi – UFRGS:fabianasgobbi@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-4118-2942>

Liane M. R. Tarouco - UFRGS:liane@penta.ufrgs.br,
<https://orcid.org/0000-0002-5669-588X>

Resumo

O objetivo deste estudo foi investigar uma das medidas neurofisiológicas. Neste caso a variabilidade da frequência cardíaca (VFC) durante a realização de atividades em mundos virtuais em alunos do primeiro ano do ensino médio, a fim de verificar indícios cognitivos durante a execução de tais tarefas. A pesquisa contou com 15 participantes com idade entre 15 e 16 anos. Para registrar a VFC foi utilizado um monitor cardíaco, da marca Polar modelo A300, para coletar os dados durante as tarefas propostas na pesquisa (utilizando experimentos em um mundo virtual). Os resultados mostram um aumento no tempo de resposta da memória de trabalho, e podemos concluir que o uso dessa tecnologia pode ajudar a analisar evidências cognitivas reais no tempo de execução de tarefas específicas. É relevante desenvolver estudos nessa área de modo a criar uma ferramenta prática e operacional capaz de auxiliar na análise de dados neurofisiológicos, para que possam ser aplicados em pesquisas futuras como forma de corroborar os resultados.

Palavras chaves: Cognição, Variabilidade de Frequência Cardíaca, neurofisiologia.

VERIFYING COGNITIVE INDICATION USING HEART RATE VARIABILITY

Abstract.

The purpose of this study was to investigate one of the neurophysiological measures. In this case, the heart rate variability (HRV) during the performance of activities in virtual worlds in first year high school students, to verify cognitive evidence during the execution of such tasks. The survey had 15 participants aged between 15 and 16 years. To record HRV, a cardiac monitor, Polar model A300, was used to collect data during the tasks proposed in the research (using experiments in a virtual world). The results show an increase in the working memory response time, and we can conclude that the use of this technology can help to analyze real cognitive evidences in the execution time of specific tasks. It is relevant to develop studies in this area to create a practical and operational tool capable of assisting in the analysis of neurophysiological data, so that they can be applied in future research as a way of corroborating the results.

Keywords: Cognition, Heart Rate Variability, Neurophysiology.

1- Introdução

Estamos vivenciando uma era em que a educação a distância, está crescendo em proporções gigantescas, e devido à pandemia (COVID, 19) praticamente todos os cursos de diferentes faixas etárias se viram diante deste desafio, escolher e utilizar novas ferramentas digitais de ensino aprendizagem. Existem inúmeras metodologias que

postulam a avaliação de softwares e a escolha de um em detrimento de outro, dependendo das características de cada sistema, bem como, do seu contexto de uso (Santos et al., 2021). Todavia precisamos de ferramentas que nos auxiliem, à distância, como mensurar a cognição dos alunos afim de ensinar novas aprendizagens.

A cognição é a capacidade de perceber e inferir informação baseada em experiências vivenciadas. Também pode-se dizer que é a manifestação do processamento neuronal (Boogert, et al., 2018). Há diferentes estudos que focam em mensurar a capacidade cognitiva no desempenho de diferentes habilidades (por exemplo, atenção seletiva, lógica e raciocínio, velocidade de processamento) e seus mecanismos adjacentes a estas habilidades (tais como herança genética, o ambiente físico, o entorno social e a personalidade).

A avaliação cognitiva computadorizada tem revolucionado a forma de medir o desempenho cognitivo, além de permitir identificar diferentes funções cognitivas, responsáveis pela regulação de diferentes comportamentos específicos (Rubin et al., 2017).

Pesquisas atuais apontam resultados promissores ao utilizarem medidas fisiológicas de usuários, como, por exemplo, frequência cardíaca, pressão arterial, condutância da pele, atividade neurofisiológica, entre outras, como suporte à avaliação das metodologias tradicionais. Essas medidas são obtidas, geralmente, através de dispositivos sensoriais eletrônicos (Thayer e Drury, 2021). Em caso de avaliação de materiais para serem utilizados em EAD, esta ferramenta seria uma opção a mais para validar as escolhas. Buscamos com esta pesquisa indicar um novo paradigma de construção de software para aferir cognição.

As medidas neurofisiológicas, podem ser registradas através de eletroencefalograma (EEG). Essas, por muitos anos foram utilizados exclusivamente para fins clínicos, na constatação de patologias (Rasheed et al., 2021). Atualmente, já existem empresas como a Neurosky (2022) e Emotiv (2022), que disponibilizam no mercado uma série de produtos, tais como EEGs portáteis de baixo custo, voltados à aquisição e processamento de medidas neurofisiológicas. A Variabilidade de Frequência Cárdica é a medida utilizada no sistema neurovisceral (Thayer e Lane, 2000), tal modelo aborda como a conexão cérebro-coração ocorre e as implicações que ela tem no gerenciamento das nossas emoções, esse modelo estabeleceria uma rede de estruturas neurais relacionadas à regulação fisiológica, cognitiva e emocional. Desta forma esta pesquisa irá utilizar as medições neurofisiológicas com intuito de averiguar indícios cognitivos durante a utilizando de mundos virtuais, servindo como suporte para pesquisas de avaliação cognitivas, e ainda, em neurociência.

Esta pesquisa vem corroborar com Thayer e Lane (2021); Sgobbi et al. (2019); e outros no sentido de que quanto maior o VFC maior será a cognição e atenção.

2- Fundamentação teórica

Esta pesquisa foi embasada pelo Modelo Neurovisceral que utiliza a Variabilidade de Frequência Cardíaca (VFC), ele descreve um conjunto de diferentes estruturas neurais envolvidas na cognição, afeto e regulação de autonomia que se associam a VFC e a performance cognitiva (Thayer e Lane, 2007). Este modelo foi proposto em meados da década de 90 por Julian Thayer como produto das investigações acerca do nervo vago (responsável pela atividade parassimpática) e da atividade cardíaca para compreensão do

funcionamento do SNA (sistema nervoso autônomo) e sua relação com o SNC (sistema nervoso central) (de Oliveira Matos et al., 2020). Estudos sobre o nervo vago têm apontado para uma estreita ligação entre ativação vagal, inibição simpática, regulação autonômica saudável, adaptabilidade ao meio e bom desempenho em tarefas executivas. As funções executivas são responsáveis por coordenar e integrar o espectro da tríade neuro funcional da aprendizagem. Vale dizer que isso revela a necessidade da criação de um modelo integrado de desenvolvimento tanto emocional quanto cognitivo.

A diminuição da atividade vagal, por outro lado, tem indicado vulnerabilidade ao estresse, aumento das respostas emocionais, ansiedade, baixo desempenho em tarefas executivas e pouca adaptabilidade ambiental. Thayer e Lane (2000) apontam que durante situações de apelo emocional, o sistema simpático, excitatório, prevalece sobre o parassimpático, diminuindo o tônus vagal e o indicador HF (alta frequência). A capacidade de identificar situações de apelo emocional, reagir a elas de forma adequada e retornar ao estado de homeostase, inibindo a excitação simpática é característica de boa regulação afetiva, esta habilidade também se associa a altos índices de VFC, em repouso (Saul e Valenza, 2021).

Do ponto de vista cognitivo, o modelo neurovisceral propõe que o aumento da VFC, provocado pela estimulação parassimpática, através do nervo vago, está intimamente relacionado, ao melhor desempenho em tarefas relacionadas ao uso das funções executivas, já que ocorre melhor adaptação do organismo às demandas ambientais. Por outro lado, a disfunção do nervo vago acentua a atividade simpática e reduz a parassimpática, comprometendo a flexibilidade cognitiva e o desempenho em tarefas de tomada de decisão, atenção, planejamento e organização (Thayer et al., 2021).

Regulação cognitiva. As relações entre Variabilidade de Frequência Cárdica e regulação cognitiva são várias, neste artigo iremos falar apenas de três (Thayer et al., 2009):

Memória de trabalho A memória de trabalho ou operacional é um componente cognitivo que permite o armazenamento temporário de informação e está presente em diversas de nossas tarefas diárias, tais como ler e resolver problemas. Ela é essencial para outras tarefas cognitivamente mais complexas, pois, conscientemente, processa e gerencia informações que serão cruciais para o aprendizado, o raciocínio e a compreensão. Embora seja limitada, desta forma, a memória de trabalho é o fio condutor do conhecimento e, quanto mais o aprendizado mais é utilizada.

Flexibilidade mental permite você se adaptar rapidamente às alterações ou novas situações, quanto melhor a VFC, maior a flexibilidade mental.

Atenção sustentada - A atenção sustentável pode definir-se como a **capacidade do nosso cérebro em centrar em um foco de atencional durante um longo período.** A atenção sustentável é um tipo de atenção que nos permite centrarmos numa atividade durante o tempo necessário para realizá-la, mesmo na presença de distrações. Dividem-se em vigilância (detectar o aparecimento de um estímulo) e na concentração (fixar a atenção num estímulo ou atividade). Esta habilidade cognitiva é muito importante porque nos permite ser eficientes no nosso dia a dia.

3- Metodologia da pesquisa

Pesquisa de cunho qualitativo em relação à abordagem, como estratégia de pesquisa foi escolhido o estudo de caso com propósito exploratório (Souza, 2011). Os

participantes da pesquisa foram selecionados por acessibilidade e conveniência, escolhidos intencionalmente, os adolescentes de 15 a 16 anos, com mesmo grau de instrução, visto que atividade envolve o conteúdo curricular de física, sobre magnetismo (todos os participantes estavam cursando o primeiro ano do ensino médio). Todos os indivíduos se declararam saudáveis e ausentes de doenças neurológicas e psiquiátricas diagnosticadas até o momento da coleta e sem uso contínuo de medicamentos psiquiátricos (como para depressão e ansiedade), pois pode modificar a VFC e estados cognitivos.

Foram selecionados 15 participantes, o número decorre do número limitado de frequencímetro, a pesquisa ocorreu durante os plantões de dúvidas. Foi preciso que professora entrasse em contato com os alunos e fizesse o convite para participar da pesquisa, com autorização dos pais, para irem até à escola, com hora agendada.

A participação foi inteiramente voluntária e somente com concordância do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, conforme a resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde, assinado pelos pais e/ou responsáveis dos alunos, visto que eram menores.

4 - Tecnologias

Para coleta de dados deste trabalho consideramos utilizar uma alternativa mais compacta e econômica como os sensores de fita de eletrodos (estes são colocados no tórax). Estes sensores garantem a mesma confiabilidade de dados do sinal ECG (Eletrocardiograma) dos dispositivos convencionais mais complexos. Por exemplo, o caso do sensor Polar Verity Sense (Cilhoroz et al., 2020) sendo comparado na análise das métricas da VFC no domínio do tempo e da frequência, onde os autores da pesquisa, concluíram que o sensor de fita consegue entregar resultados consistentes durante os estados de relaxamento e exercício. Esta categoria de sensores, especificamente os da família Polar, mostraram ótimo desempenho em diversos experimentos. Além de se tratar de um método não intrusivo e não invasivo.

Durante a etapa de análise de dados foram utilizados diversos *softwares*. A descrição e a finalidade de cada um, no escopo da pesquisa, serão explicitadas a seguir:

O software Polar Precision Performance acompanha o monitor cardíaco Polar e tem por finalidade receber os dados da unidade de armazenamento e exportar os intervalos de tempo entre cada batimento cardíaco (RR) para análise. Ele gera os dados brutos do tempo de cada intervalo RR no formato de uma coluna com n linhas, sendo n o número de intervalos entre batimentos durante a coleta.

Todos os dados foram migrados para uma planilha eletrônica onde os pesquisadores puderam inferir os resultados.

O Kubios HRV (2022) é um software avançado utilizado para a análise da variabilidade da frequência cardíaca (VFC). O software suporta vários formatos de entrada, para dados de eletrocardiograma (ECG) e de intervalo RR (mede os intervalos entre duas ondas) de batimento a batimento. Ele inclui um algoritmo de detecção QRS (são todos os intervalos e adjacentes que resultam da ação vagal) adaptável e ferramentas para correção de artefatos, remoção de tendências e seleção de amostras de análise. O software calcula todos os parâmetros de VFC de domínio de tempo e domínio de frequência comumente usados e vários parâmetros não lineares. Existem várias

configurações de análise ajustáveis, através das quais os métodos de análise podem ser otimizados para diferentes dados.

Dados derivados do Software HRV e nesta tabela também temos as siglas dos confidentes de cálculos e utilizados na análise.

Variáveis	Descrição	Base fisiológica
RR	média dos intervalos	Sujeita a alterações no nível de modulação do SNA. O SNS atua diminuindo o tempo entre os intervalos RR enquanto o SNP aumenta o tempo entre os intervalos RR
SDNN	Desvio-padrão da média dos intervalos R-R de todos os batimentos normais consecutivos	A atuação do nervo vago, de rápida resposta regula o comportamento cardíaco, modificando os intervalos RR de acordo com as demandas imediatas do ambiente.
RMSSD	Representa a raiz quadrada da média dos quadrados das diferenças entre intervalos R-R normais sucessivos	A atuação do nervo vago, de rápida resposta regula o comportamento cardíaco, modificando os intervalos RR de acordo com as demandas imediatas do ambiente
LF%	Apresenta a porcentagem que define em baixa frequência (0,04 a 0,15 Hz)	Associado a ativação simpática e parassimpática
HF%	Apresenta a porcentagem que define alta frequência (0.15 –0.4Hz)	Associado a ativação parassimpática e boa regulação autônômica.
LF/HF(%)	Razão entre a porcentagem entre a baixa e alta frequência	Associado a ativação simpática e parassimpática
pNN	Porcentagem de intervalos R – R sucessivos diferindo mais de 50 ms	
D2	Dimensão de Correlação	Indicador da interação do sistema nervoso simpático com o parassimpático

Tabela: Descrição dos dados oferecidos pelo aplicativo e derivados.

Com o Kubios HRV Analyses foram investigados indicadores da análise linear e não linear. Os dados foram organizados e tabulados com a planilha eletrônica e todas as análises utilizaram um intervalo de confiança de 95% com alfa 0.05.

5 - Procedimentos

Logo após os pesquisadores explicarem os objetivos da pesquisa, os participantes foram equipados com o sensor(frequencímetro), capaz de medir e armazenar a frequência cardíaca. A pesquisa foi realizada individualmente, em uma sala da instituição onde eles estudam, local onde na ocasião da coleta de dados, se encontrava vazio (sem a presença

de alunos ou funcionários, devido ao horário agendado de plantão), o que facilitou a atenção sustentada.

Para realizar o experimento no mundo virtual, foi solicitado que o aluno acessasse em seu aparelho telefônico (celular), o endereço eletrônico, onde está hospedado o experimento.

Neste endereço há também um material teórico sobre imantação, algumas fotos ilustrativas e alguns vídeos educativos sobre o assunto, trata-se de um ambiente para ensinar aprendizagem. Nesta a etapa foi uma experiência concreta, onde buscou-se identificar os subsunçores, segundo Ausubel, que servirão de alicerce para a construção da nova aprendizagem. Para tanto, foi utilizado como organizador prévio, a apresentação de vídeos e figuras sobre o assunto, assim como pequenos textos também estavam disponíveis na página da *Web*, cujo objetivo foi potencializar os subsunçores já existentes nos participantes (Ausubel, 2012).

Em linhas gerais todos os participantes, tiveram muita facilidade em utilizar a cinta com sensor A3 e acessar o experimento no mundo virtual. Inclusive teve 4 alunos que tinham sistema IOS (sistema operacional móvel da Apple) e funcionou perfeitamente.

A escolha de experimentos virtuais, ocorreu no intuito de inserir simulações como ferramenta alternativa no ensino de Física, contribuindo para a formação de um estudante crítico e experimentalista, além disso, é uma atividade mais atrativa e dinâmica, proporcionando uma maior abstração dos fenômenos estudados com uma melhor contextualização das tarefas reais (Sgobbi, et al., 2017). O aplicativo escolhido faz parte de um projeto de UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, este compartilha objetos de aprendizagem, esta é tendência internacional. A construção de repositórios interoperáveis de objetos educacionais permitindo o desenvolvimento de sistemas de aprendizagem adaptativos para prover aos estudantes situações de aprendizagem e apoio em qualquer momento e a partir de qualquer lugar.

O experimento 1, consiste em acionar uma alavanca, que irá aproximar uma barra imantada em uma bússola e observar o que acontece com a bússola. Os pesquisadores questionaram por que isso acontece, com base nos conhecimentos de imantação que o participante teve acesso anteriormente. É prudente esclarecer que tais participantes já haviam estudado tal conteúdo curricular no ensino regular.

Na sequência temos a foto da tela do aplicativo do experimento 1.



Figura1 – Experimento de imantação.

Como dito anteriormente, os participantes tiveram acesso a dois experimentos no mundo virtual, podendo interagir com eles.

O experimento 2, também foi sobre magnetismo e deslocamento de elétrons. Os participantes deveriam acionar a alavanca e observar o que acontece com alinhamento dos ímãs quando passar a corrente elétrica e o que acontece com a moeda.

Na sequência temos a foto do segundo experimento.

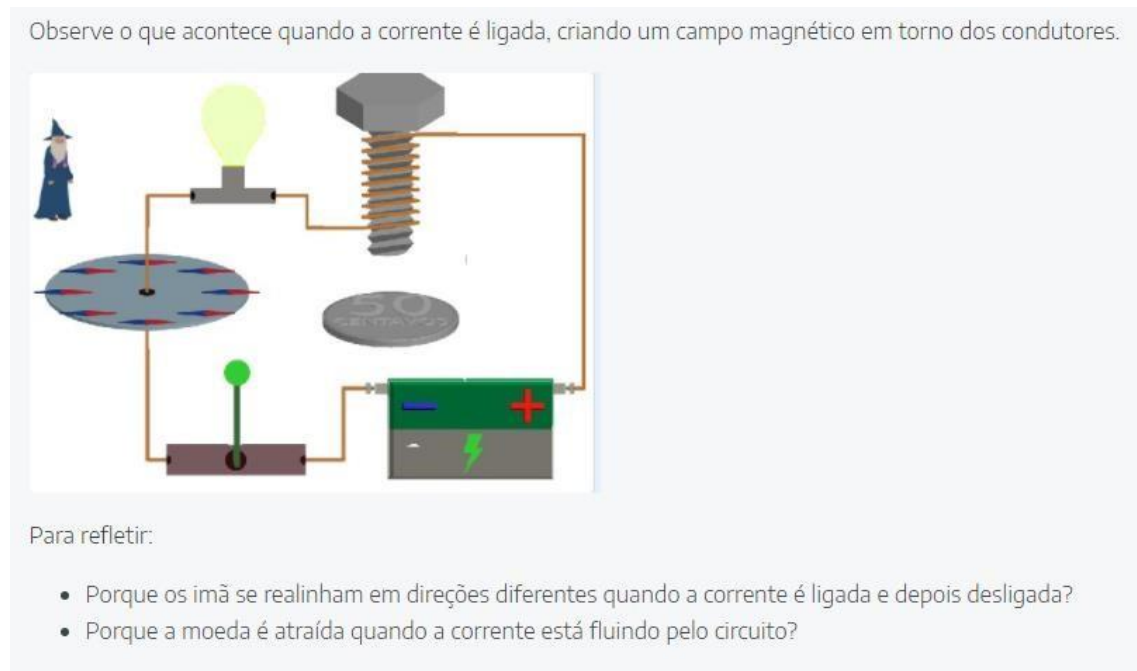


Figura 2 - Experimento envolvendo magnetismo

Durante a execução de toda essa atividade o aluno foi monitorado o uso do sensor, em cada fase, cada vez que ele respondia uma das perguntas (entre às três que aparecem nas figuras) os pesquisadores falavam um número, o que o participante deveria apresentar a soma no final da atividade, este ruído cognitivo foi criando intencionalmente, de modo a medir a Atenção Sustentada, estes momentos foram cuidadosamente marcados (hora/tempo/relógio) como pontos de análise de Atenção Sustentada, esta intervenção foi necessária, porque não havia elementos naturais que pudesse tirar o foco, e era um aspecto que pesquisa estava questionando.

6 - Resultados e conclusões

Nesta pesquisa buscamos indícios cognitivos por meio medidas neurofisiológicas, para tanto, foi escolhida a variabilidade de frequência cardíaca. Foram analisados 3 aspectos da regulação cognitiva: memória de trabalho, flexibilidade mental e atenção sustentada.

A partir dos registros da frequência cardíaca, extraímos o VFC usando os dados, do intervalo entre batimentos que foram exportados para o software Kubios. Os artefatos foram removidos usando o filtro baixo automático fornecido pelo software. Calculamos os parâmetros de domínio de tempo e frequência. As seguintes bandas de frequência foram utilizadas para definir HF com Fast Fourier Transform: 0,15 Hz a 0,40 Hz [5]. Para avaliar a atividade do sistema parassimpático. Embora o foco da pesquisa não seja como

é calculado a Variabilidade de Frequência Cardíaca, achamos prudente elucidar os processos utilizados, mesmo que não haja espaço para exposição dos dados.

Foram considerados 3 momentos, para haver parâmetros de comparação:

(M1) Momento 1 - Antes de começar a atividade.

(M2) Momento 2 - Durante a atividade.

(M3) Momento 3 - Durante a atividade com interrupções.

A análise da variabilidade da frequência cardíaca pode ser conduzida no domínio do tempo, domínio da frequência e usando análises não lineares. No domínio do tempo, é possível calcular: (a) o desvio padrão de todos os intervalos R – R (SDNN) que revela os componentes responsáveis pela variabilidade no período de registro; e (b) a raiz quadrada da média do desvio padrão sucessivo (RMSSD) e a porcentagem de intervalos RR regulares consecutivos nos seios da face acima de 50 ms (pNN50) que devem refletir o tom vagal (é uma medida da atividade do nervo vago para avaliar a saúde do sistema nervoso autônomo) (Thayer e Lane, 2000; Laborde et al., 2017).

Os dados apontam que a memória de trabalho aumentou, de M1 para M2 e manteve com variação de 65% a 17%, M2 para M3, isso ocorreu em aproximadamente 70%, onde os 30% restantes não apresentaram aumento significativo de memória de trabalho. Na primeira atividade teve uma variação média de 14,5%. Os dados permitiram indicar que os diferentes momentos produziram respostas diferentes estatisticamente. Segundo Thayer (2007) a VFC eficaz varia em função das diferentes tarefas, onde quanto maior a VFC maior o nível de cognição.

A flexibilidade cognitiva, sendo a capacidade de alternância de objetos ou estímulos diante situações em que o plano inicial não ocorre de forma bem-sucedida, sendo necessária a adaptação a demanda ambiental. Esta função está relacionada com o córtex frontal, especialmente com o córtex cingulado anterior, importante no monitoramento das funções executivas e das respostas do sistema neurovegetativo a situação de dor ou ameaça. Assim, envolve conexões do sistema nervoso central e modulação autonômica, com regulação simpática e parassimpática (Jung et al., 2019). Para MCDuff (2014) e pesquisados, os neurônios do sistema autônomo adaptam-se durante a maturação do cérebro de maneira contínua aos diferentes estímulos ambientais, emocionais, fisiológicos e cognitivos, possibilitando novas respostas, tomada de decisão e flexibilidade cognitiva.

Desta forma, podemos inferir que a flexibilidade cognitiva, nesta pesquisa foi baixa, visto que os participantes que acertaram as 3 questões de física, não acertaram a somatória final, trazendo indícios de baixa flexibilidade cognitiva, o que corrobora com os dados oriundos do sensor, que aferiu 11,25% de coeficiente de transição de VFC (dentre todos os participantes, houve uma variação de 2% a 3,5%). Tal dado vem ao encontro com a baixa atenção sustentada, houve um índice de 5,7% a 12,5%, em relação ao coeficiente de VFC, o que infere em termos um baixo índice de atenção sustentada.

Desta forma os resultados indicaram um aumento de tempo de resposta em memória de trabalho, pode-se inferir que o uso de tal tecnologia é capaz de auxiliar a análise de indícios cognitivos reais em tempo de execução de uma determinada tarefa. Observou-se ainda aumento gradativo nos indicadores da análise linear (SDNN e pNN50). Ocorreu aumento destes mesmos indicadores durante tarefas executivas, sugerindo aumento parassimpático e associando-se ao modelo neurovisceral. Na análise não linear ocorreu aumento do D2(coeficiente de VFC), contudo, ao comparar o D2 da linha de base e entre a tarefa de memória de trabalho foi observada aumento deste

indicador. Pode-se inferir que, o uso de medidas fisiológicas como a variabilidade de frequência cardíaca, podem nos apresentar vários indícios cognitivos, visto que analisando os dados tem-se o aumento esperado de atenção.

Concluimos que a VFC está relacionada à demanda cognitiva, assim como afirma Thayer (2021), isso nos direciona a um novo paradigma de construção de software para aferir cognição, que já sendo utilizado na Universidade de Cambridge (CANTAB), a utilização de sensores para aferir estado de cognição.

Referências

- AUSUBEL, DAVID PAUL. The acquisition and retention of knowledge: A cognitive view. Springer Science & Business Media, 2012.
- BOOGERT, N. J., MADDEN, J. R., MORAND-FERRON, J., THORNTON, A. Measuring and understanding individual differences in cognition. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 373, n. 1756, p. 20170280, 2018.
- CANTAB - <https://www.cambridgecognition.com/cantab/>. Acesso dia 15 de novembro 2022.
- CILHOROS, B., GILES, D., ZALESKI, A., TAYLOR, B., FERNHALL, B., & PESCATELLO, L. Validation of the Polar V800 heart rate monitor and comparison of artifact correction methods among adults with hypertension. *PloS one*, 15(10), e0240220, 2020.
- DE OLIVEIRA MATOS, F., VIDO, A., GARCIA, W. F., LOPES, W. A., PEREIRA, A; A neurovisceral integrative study on cognition, heart rate variability, and fitness in the elderly. *Frontiers in aging neuroscience*, v. 12, p. 51, 2020.
- JUNG, WOOKYOUNG; JANG, KUK-IN; LEE, Seung-Hwan. Heart and brain interaction of psychiatric illness: a review focused on heart rate variability, cognitive function, and quantitative electroencephalography. *Clinical Psychopharmacology and Neuroscience*, v. 17, n. 4, p. 459, 2019.
- KUBIOS. KUBIOS 2021. Disponível em <http://www.kubios.com/>. Acesso em 21 junho 2022
- LABORDE, S., MOSLEY, E., & THAYER, J. F. . Heart rate variability and cardiac vagal tone in psychophysiological research—recommendations for experiment planning, data analysis, and data reporting. *Frontiers in psychology*, 8, 213, 2017.
- MCDUFF, D., GONTAREK, S., & PICARD, R. . Remote measurement of cognitive stress via heart rate variability. 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (pp. 2957-2960). IEEE.(2014)
- MOTIV. EMOTIV. 2022. Disponível em: <<http://www.emotiv.com/>>. Acesso em: 21 maio. 2022.
- RASHEED, M. A., CHAND, P., AHMED, S., SHARIF, H., HOODBHOY, Z., SIDDIQUI, A., & HASAN, B. S.. Use of artificial intelligence on Electroencephalogram (EEG) waveforms to predict failure in early school grades in children from a rural cohort in Pakistan. *Plos one*, 16(2), e0246236, 2021.
- RUBIN, T. N., KOYEJO, O., GORGOLEWSKI, K. J., JONES, M. N., POLDRACK, R. A., & YARKONI, T.. Decoding brain activity using a large-scale probabilistic functionalanatomical atlas of human cognition. *PLoS computational biology*, 13(10), e1005649, 2017

- SANTOS, R., GONÇALVES, L., SILVA, B., PORTELA, C., FARIAS, F. Método para Seleção de Softwares de Apoio ao Processo Ensino-Aprendizagem de Disciplinas de Programação. In Anais do XXIX Workshop sobre Educação em Computação (pp. 368377). SBC (2021, July)
- SAUL, J. PHILIP; VALENZA, GAETANO. Heart rate variability and the dawn of complex physiological signal analysis: methodological and clinical perspectives. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, v. 379, n. 2212, p. 2 , 2021.
- SGOBBI, F., TAROUCO, L., REATEGUI, E.. The pedagogical use of the Internet of things as a lever of behavior change in obese individuals; 2017 IEEE International Conference on Internet of Things (iThings). Exeter-UK, 2017.
- SGOBBI, FABIANA SANTIAGO; TAROUCO, LIANE MARGARIDA ROCKENBACH; HERPICH, FABRÍCIO. O uso de frequencímetro para inferir indícios cognitivos em alunos adultos. *RENOTE*, v. 17, n. 1, p. 134-143, 2019.
- SOUZA, CAIO MOTTA LUIZ DE. Entre o planejamento estratégico formal e informal: um estudo de caso exploratório sobre a prática de estratégia nas organizações. *Revista de Administração Contemporânea*, v. 15, p. 855-876, 2011.
- THAYER, J. F., HANSEN, A. L., SAUS-ROSE, E., JOHNSEN, B. H. Heart rate variability, prefrontal neural function, and cognitive performance: the neurovisceral integration perspective on self-regulation, adaptation, and health. *Annals of Behavioral Medicine*, 37(2), 141-153, 2009.
- THAYER, JULIAN F.; DRURY, ROBERT LOUIS. Heart Rate Variability in Assessing Community COVID-19. *Frontiers in Neuroscience*, v. 15, p. 646, 2021.
- THAYER, JULIAN F.; LANE, RICHARD D. A model of neurovisceral integration in emotion regulation and dysregulation. *Journal of affective disorders*, v. 61, n. 3, p. 201216, 2000.
- THAYER, JULIAN F.; LANE, RICHARD D. The role of vagal function in the risk for cardiovascular disease and mortality. *Biological psychology*, v. 74, n. 2, p. 224-242, 2007.
- THAYER, JULIAN F.; MATHER, MARA; KOENIG, JULIAN. Stress and aging: A neurovisceral integration perspective. *Psychophysiology*, v. 58, n. 7, p. e13804, 2021.