

ANA CLÁUDIA MOTA DE FREITAS



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CAMPUS MINISTRO REIS VELLOSO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOMÉDICAS**

ANA CLÁUDIA MOTA DE FREITAS

**FACILITAÇÃO NEUROMUSCULAR PROPRIOCEPTIVA E A IMAGÉTICA
MOTORA RESULTAM NO MESMO ACOPLAMENTO.**

Parnaíba – PI
Novembro
2018

ANA CLÁUDIA MOTA DE FREITAS

**FACILITAÇÃO NEUROMUSCULAR PROPRIOCEPTIVA E A IMAGÉTICA
MOTORA RESULTAM NO MESMO ACOPLAMENTO.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biomédicas da Universidade Federal do Piauí, *Campus* Ministro Reis Velloso, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências Biomédicas, sob orientação do Prof. Dr. Victor Hugo do Vale Bastos.

Parnaíba – PI
Novembro
2018

**FACILITAÇÃO NEUROMUSCULAR PROPRIOCEPTIVA E A
IMAGÉTICA MOTORA RESULTAM NO MESMO ACOPLAMENTO.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biomédicas da Universidade Federal do Piauí, *Campus* Ministro Reis Velloso, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências Biomédicas.

APROVADA EM ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Victor Hugo do Vale Bastos
Universidade Federal do Piauí – Campus Ministro Reis Velloso (Presidente)

Prof. Dr. Silmar Silva Teixeira
Universidade Federal do Piauí – Campus Ministro Reis Velloso (Membro)

Prof. Dr. Fernando Lopes e Silva Júnior
Universidade Federal do Piauí – Campus Ministro Reis Velloso (Membro)

Prof. Dr. Gildário Dias Lima
Universidade Federal do Piauí – Campus Ministro Reis Velloso (Membro)

EPÍGRAFE

Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar.

Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.

(Madre Teresa de Calcutá)

DEDICATÓRIA

Dedico esta obra aos meus pais (Rosilene Lopes Mota e José Cláudio Gomes de Freitas), minhas irmãs (Juliana e Ana Paula) e em especial ao meu amado marido (Israel Soares Castelo Branco), que tornaram possível vivenciar sonhos tendo-os em minha vida como apoio e como exemplo a seguir.

AGRADECIMENTOS

Gratidão a minha família, a confiança e amor que me ofereceram durante minha trajetória. Ao meu marido Israel, meu alicerce em todos os momentos, o amor que nutre, fortalece e engrandece o meu viver. Sempre serão as minhas maiores riquezas e com o passar do tempo só ficou mais claro que todo o meu sucesso, seja ele profissional ou pessoal, foi devido à dádiva de Deus permitir tê-los em minha vida.

Agradeço também aos meus estimados colegas dos laboratórios LAMCEF e NITLAB. Em especial ao meu orientador Doutor Victor Hugo do Vale Bastos e ao professor Doutor Silmar Silva Teixeira, pela paciência, dedicação e disposição para apontar meus erros e me direcionar da melhor maneira o caminho a se trilhar.

Um abraço especial aos meus amigos Monara, Valécia, Diandra, Gabriela, Francisco Xavier e Vitor Marinho, que foram de importância ímpar nessa caminhada.

A todos, minha gratidão!

RESUMO

A imagética motora (IM) é uma ferramenta na terapêutica, utilizando como estímulo cognitivo no tratamento de doenças que comprometem os sistemas, apresentando ausência ou comprometimento motor por sequelas neurológicas. Estudos com a imagética motora (IM) demonstram que a técnica facilita reabilitação, além de investigar nas habilidades motoras e cognitivas. A IM emprega o estímulo às habilidades cognitivas com intuito de gerar sensações de percepção e movimento, mesmo que a ação motora não seja realizada. Este fato reforça a ativação de áreas corticais relacionadas ao planejamento e execução de ações motoras. Embora a IM seja amplamente utilizada, ainda há lacunas em relação à técnica sobre as áreas corticais, bem como a influência sobre a execução motora. Dessa forma, este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da execução da imagética motora e facilitação neuromuscular proprioceptiva nas respostas neuroelétricas em homens saudáveis. As bandas selecionadas para este estudo são associadas ao controle motor, memória de trabalho, aprendizado, modulações atencionais e integração sensorio-motora na realização de tarefas relacionadas ou não ao ato motor. Os participantes foram classificados por meio do questionário *Revised Movement Imagery Questionnaire* (MIQ) sendo aptos de acordo com o escore a participar do estudo, sendo assim capazes em utilizar a técnica de imagética motora. Participaram do estudo 18 homens hígidos, idade $20 \pm 1,5$ anos, destros segundo o questionário de Oldfield, com capacidade de imagética visual (Capacidade de se visualizar executando o movimento) 22 ± 4 e imagética cinestésica (Capacidade de sentir-se realizando o movimento) $20 \pm 4,5$, segundo o *Revised Movement Imagery Questionnaire*. O estudo de tipo experimental nos quais os dados foram estatisticamente analisados com delineamento threeway ANOVA de medidas repetidas. Os voluntários participaram de um protocolo randomizado, com a tarefa IM ou a tarefa de facilitação neuromuscular proprioceptiva (FNP). Na tarefa de IM o participante imagina a ação motora, uma diagonal de facilitação neuromuscular proprioceptiva (FNP). Na tarefa de facilitação neuromuscular proprioceptiva (FNP), o voluntário executa a diagonal de FNP com movimento real. O resultado demonstrou que não houve diferença na atividade cortical entre FNP e IM, observado apenas efeito principal entre as áreas devido aos resultados encontrados na interação dos mesmos. Os resultados revelaram diferença significativa somente entre as áreas nas bandas alfa e beta, refletindo uma maior exigência cognitiva da memória de trabalho na execução de tarefas cognitivas e motoras. Concluímos descrevendo informações relevantes sobre o desempenho cognitivo e suas correlações com coerência de alfa e beta, bem como com a percepção de esforço mental na ativação de áreas visuais (imagética visual e memória de trabalho) para a execução de diferentes tarefas motoras e cognitivas. Espera-se assim que essas informações contribuam para a compreensão da função do córtex pré-frontal e região occipital em tarefas relacionadas ou não ao ato motor, norteadas pela literatura sobre os reais significados das áreas relacionadas em tarefas cognitivas e motoras.

Palavras-Chave: Eletroencefalograma, Técnicas de Exercício e de Movimento, Cognição.

ABSTRACT

Motor imagery demonstrates a significant tool in therapeutics using cognitive stimulation in the treatment of patients in diseases related to absence or motor. Studies about imaging demonstrate the relationship of relevant factors in rehabilitation, the investigation of abilities and which areas are being stimulated, even on techniques focused on the need and patient profile. Employs the stimulation of cognitive abilities in order to generate sensations of perception and movement, even without the actual action, reinforcing the activation of cortical areas related to the planning and execution of motor actions. Among the applied methods, still find gaps in relation to the specificity of performance before the frequency bands on motor and cognitive techniques, and this influence on the motor execution. This study aimed to understand the cortical behavior in the analysis of spectral activity of coherence band alpha and beta, which are directly associated with motor control, working memory, learning, attentional modulation and its sensory-motor integration in performing related tasks or not to the motor act. Participants were classified through the Revised Movement Imagery Questionnaire (MIQ) questionnaire as being able to participate in the study, feeling or visualizing themselves in the execution of real movements, thus being able to use the technique of motor imagery. Constituting the research, 18 healthy males participated, age 20 ± 1.5 years, according to the questionnaire handed Oldfield with visual imagery capacity (ability to visualize running motion) 22 ± 4 and kinesthetic imagery (ability to feel performing the movement) 20 ± 4.5 , according to the Revised Movement Imagery Questionnaire. The experimental type study was statistically analyzed with Anova threeway delineation of repeated measures. The volunteers participated in a randomized protocol, and can start with a cognitive treatment (motor imagery task - IM), where the participant imagines the real motor action with a motion FNP (Neuromuscular Facilitation) or the engine itself act, running diagonally of FNP. The prospect of this work aims to promote the work of health professionals, whether in cortical activation process under rehabilitative, using imagery as a tool targeting neural stimuli, as well as associate and compare motor tasks with this cognitive technique, due to the results found in the interaction of the same.

Key words: Electroencephalogram, Exercise and Movement Techniques, Cognition.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Representação do sistema somatossensorial.

Figura 2 Posição dos eletrodos segundo o sistema internacional 10/20.

Figura 3 Representação da tarefa motora na diagonal de Facilitação Neuromuscular Proprioceptiva (FNP), abdução-flexão-rotação externa/adução-extensão-rotação interna.

Figura 4 Representação do experimento.

Figura 5 Representação do estímulo visual apresentado na tarefa de Imagética Motora.

Figura 6 Gráfico representando a coerência entre áreas na análise da Banda Alfa.

Figura 7 Gráfico representando a coerência entre áreas na análise da Banda Beta.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EEG Eletroencefalografia

IM Imagética Motora

MT Memória de Trabalho

FNP Facilitação Neuromuscular Proprioceptiva

SNC Sistema Nervoso Central

MIQ-R *Revised Movement Imagery Questionnaire*

BRAMS Escala de Humor do Brasil

ACI Análise de Componentes Independentes

DPE Densidade de Potência espectral

SPSS *Statistical Package for the Social Sciences*

DRE Dessincronização relacionada a eventos

SER Sincronização relacionada a eventos

SUMÁRIO

	Página
CAPÍTULO I	
1.Introdução.....	11
1.1.Justificativa.....	12
1.2.Objetivos.....	12
1.2.1.Objetivo geral.....	12
1.2.2.Objetivos específicos.....	12
1.3.Hipóteses.....	13
1.3.1.Hipótese nula.....	13
1.3.2.Hipótese alternativa.....	13
CAPÍTULO II	14
2.REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1.Facilitação Neuromuscular Proprioceptiva (FNP).....	14
2.2. Imagética Motora (IM)	15
2.3.Repercussões da Imagética Motora (IM) sob registro eletroencefalográfico..	15
2.4. Análises corticais funcionais sob-registro eletroencefalográfico.....	17
2.5. Estudos relacionados às bandas alfa e beta.....	19
CAPÍTULO III	21
3. Materiais e métodos	21
3.1. Local de estudo e questões éticas.....	21
3.3 Experimento.....	21
3.4 Familiarização da técnica FNP	22
3.5 Protocolo da Coleta.....	22
3.6 Protocolo para as técnicas.....	23
3.7 Registro eletroencefalográfico	24
3.8 Análise dos dados	25
3.9 Análise estatística	25
CAPÍTULO IV	26
4. Resultados.....	26
CAPÍTULO V	28

5. Discursão.....	28
5.1 Limitações do estudo.....	31
CAPÍTULO VI.....	32
6. Conclusão	32
CAPÍTULO VII.....	33
7. Produção Científica.....	33
Referências bibliográficas do artigo.....	36
Referências bibliográficas da dissertação	54
ANEXOS	61

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

Efeitos da imagética motora (IM) em pesquisas na neuro-reabilitação têm sido foco frequente de investigações sobre o movimento humano (LAMEIRA et al., 2008; CARVALHO et al., 2013; FUSCO et al., 2016). Autores buscam correlacionar o comportamento cortical com o controle e ativação em seu desempenho motor, buscando evidências durante a formação de uma imagem mental, como também o gerenciamento de comando da ação, interligando o desempenho de determinadas funções e quais seriam seus efeitos (LOTZE e MARTIN, 2006; ZATORRE et al.; 2007 HANAKAWA, 2016).

A imagética apresentou-se como uma técnica neurocognitiva funcional, que influencia no aprimoramento da reorganização neural e uma ferramenta na atuação de programas de reabilitação em doenças neurológicas, utilizando aspectos como o planejamento motor, revelando a possibilidade de estimular a região responsável pelo sistema motor por meio de um estímulo cognitivo, sem executar o movimento, o qual proveu informações que permitem ser acessadas e ativadas “*off-line*” (sem movimento ativo), seja imaginando ou observando ações reais executadas por terceiros, para que seja armazenada em uma memória de trabalho (MT) (DE VRIES E MULDER , 2007).

A integração da MT com a IM demonstra ser uma forma conscientemente de acesso a um arquivo de informações mentais previamente armazenadas, sendo possível de ser manipulada, transformada ou utilizada para direcionar as ações humanas funcionais (YOON et al., 2016; ALLOWAY e ALLOWAY, 2010). Essas interações desenvolvidas são dependentes de organização neural, estando sujeitas a algumas discrepâncias e variabilidades no controle motor, sobretudo em uma determinada tarefa de mentalização do movimento e em sua estratégia de execução (MIZUGUCHI et al., 2014).

Estudos apontam melhor desempenho motor quando se associa protocolos terapêuticos envolvendo práticas motoras à prática mental do ato motor. Isto corresponde a uma representação da ativação de áreas corticais responsáveis pelo planejamento e controle do movimento natural (LAMEIRA et al., 2008; SHUSTER et al., 2012; GAGGIOLI et al., 2013).

Nesse sentido, o objetivo desse estudo foi investigar a imagética por intermédio da leitura da eletroencefalografia (EEG) e seu comportamento espectral da coerência das bandas

alfa e beta em relação a ação motora em uma diagonal de facilitação neuromuscular proprioceptiva (FNP) e sua integração sensório-motor e cognitivo, visando favorecer a atuação de profissionais da saúde, seja no processo de ativação cortical, utilizando a imagética como prática direcionada em programas de reabilitação, como na associação de tarefas motoras com técnicas cognitivas, devido aos resultados encontrados na interação dos mesmos.

1.1 Justificativa

O acoplamento entre áreas corticais, muitas vezes são atribuídas como resultado adaptativo a técnicas reabilitativas em déficits neurológicos. A IM ainda é recente e obscura sobre as variações eletrofisiológicas das bandas de frequência. Sua investigação pode aprimorar a aplicabilidade da execução em uma tarefa cognitiva de reabilitação, resultando no desempenho semelhante a uma tarefa motora. Ademais, as bases eletrofisiológicas podem influenciar as funções na relação inter-hemisférica de áreas correlacionadas com funções motoras. Embora a IM seja amplamente utilizada, ainda há lacunas em relação à técnica sobre as áreas corticais, bem como a influência sobre a execução motora. Os achados deste estudo podem direcionar profissionais para diminuir o tempo de tratamento e como base na análise de funções motoras por estímulos cognitivos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral:

Avaliar os efeitos da execução da imagética motora e facilitação neuromuscular proprioceptiva nas respostas neuroelétricas em homens saudáveis.

1.2.2 Objetivos específicos:

- Esclarecer a correlação entre áreas corticais ativadas na análise da coerência inter-hemisférica.
- Compreender a atividade das bandas alfa e beta entre as condições de Imagética motora e Facilitação neuromuscular proprioceptiva.

1.3. HIPÓTESES

1.3.1 Hipótese nula (H0):

As repercussões eletroencefalográficas da diagonal de FNP comparada com a imagética motora não se diferenciam na avaliação cortical inter e intra-hemisférica, seja em suas bases neurais no desempenho cognitivo ou em suas respostas neurofisiológicas.

1.3.2 Hipótese alternativa (H1):

As repercussões eletroencefalográficas do ato motor em uma diagonal de FNP comparada com a aplicabilidade da imagética motora apresentam respostas neurofisiológicas intra-hemisférica diferenciadas, tendo em vista a interação entre áreas e as associações estudadas não serem semelhantes de acordo com a tarefa desempenhada.

CAPÍTULO II

1. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Facilitação Neuromuscular Proprioceptiva (FNP)

Dentre os tratamentos fisioterapêuticos propostos para o estímulo e recrutamento motor em pacientes com déficits funcionais instalados após doenças neurológicas, encontra-se a Facilitação Neuromuscular Proprioceptiva (FNP). A FNP foi desenvolvida por Herman Kabat (médico) e por Margareth Knott (Fisioterapeuta) em meados de 1953, com o intuito de minimizar sequelas provenientes da Poliomielite. Com base no pressuposto de que o ser humano possui potencial físico a serem explorado e possivelmente estimulado, os pesquisadores desenvolveram movimentos em diagonal preestabelecidos, com intuito de recrutar grupos musculares de forma concêntrica e excêntrica, facilitando as contrações musculares em suas ações (SULLIVAN e PORTNEY, 1980; MORENO et al.; 2009).

O conceito FNP apresenta-se como uma abordagem terapêutica, que trabalha o indivíduo com estímulos positivos e de forma global por meio de contato manual, posicionamento corporal, comando verbal, contato visual, atração e aproximação, resistência e sincronização dos movimentos, proporcionando um efeito de irradiação, o qual estimula a contração dos músculos contralaterais ao início do movimento, participando da evolução clínica de pacientes sob sua adaptação e de forma a influenciar fatores como a neuroplasticidade cortical (SULLIVAN e PORTNEY, 1980; HWANGBO e KIM, 2016).

Pascuel-Leone et al. (2005) afirmam que a neuroplasticidade cortical consiste em modificações que ocorrem naturalmente no sistema nervoso ao longo da vida do ser humano. O cérebro, como uma estrutura dinâmica, onde o estado natural é se integrar as situações impostas, adaptar-se-á como consequência a *inputs* sensoriais (estímulos), como resposta a uma aprendizagem motora que surgem em atividades diariamente atribuídas. Esta capacidade sistêmica é significativa na terapêutica fisioterapêutica para o protocolo com FNP e consequentemente, para a recuperação funcional dos pacientes que sofreram lesões neurológicas. Contudo essas mudanças devem ser estudadas, por muitas vezes passarem de forma imperceptível na evolução clínica de alguns pacientes (PANTEV et al.; 2001; PASCUAL-LEONE et al.; 2005; WANG et al.; 2016).

Sob aspecto cortical, o FNP eleva o potencial motor evocado (sinais elétricos gerados pelo sistema nervoso em resposta a algum estímulo) em relação aos músculos envolvidos no movimento, aumentando sua efetividade na facilitação da execução do movimento (SIMURA e KASAI, 2002). Assim, a técnica de FNP tem sido uma valiosa ferramenta no recrutamento neuromuscular de pacientes com déficits neurológicos, seja de membros superiores, inferiores, tronco, como também para o treino de marcha (SEO; KIM, 2011; PARK e WANG, 2015).

2.2 Imagética motora (IM)

A IM tem sido estudada como uma forma de melhorar o aprendizado motor e restaurar as funções motoras. Ações simples como sentar em um banco, necessita de uma combinação de processos bastante complexos: Calculamos a diferença do espaço até o banco, reunimos as informações do estado atual do nosso próprio corpo, antecipamos que movimentos são necessários até a execução do objetivo final. Essa capacidade de prever e simular ações necessita de múltiplas etapas para executar o movimento, nos inspirando em imagens motoras para início da ativação da ação. Essas reproduções, na ausência de movimentos reais, necessitam de processos altamente complexos (MUNZERT ET AL., 2009; PERRUCHOUD ET AL., 2018; CORBET, 2018).

A IM demonstrou participar de ações integradas nas redes neurais para efetivação do movimento, relacionando os mecanismos nas fases de planejamento, elaboração e acesso a informação, para a execução motora devido às informações previamente armazenadas a partir de uma conservação ou atenuação regulada pelo controle motor exercido pelo sistema nervoso central (SNC), onde ocorre o equilíbrio de ativação ou supressão neuromuscular (ROZAND et al., 2016). Esse desempenho tem sido utilizado como uma técnica na prática do esporte e na área clínica, sendo sua capacidade de ação cognitiva classificada como ensaio ou simulação mental do movimento sem qualquer ação motora efetivada (HANAKAWA, 2015).

2.3 Repercussões da imagética sob-registro do EEG.

As bandas do EEG demonstram mecanismos diferenciados da atividade cortical, caracterizando funções específicas para a ativação e supressão da atividade neural em regiões responsáveis pelo planejamento e ação motora (LLANOS et al., 2013).

No ato de simular mentalmente essas ações, redes neurais administram o controle de ativação e supressão neural, podendo ser avaliado por meio das bandas de frequências, que apresentam alterações devido à padronização sensorial e motora (Yang et al., 2015). Padrões identificados foram classificados em atividade perceptiva, sensório motor e cognitivo no desempenho de sua atividade cortical (ENGEL e FRIES, 2010).

As redes neurais permitem durante o ensaio mental, o recrutamento de áreas de controle do movimento, ao mesmo tempo em que outras áreas são inibidas. Isto foi observado na simulação de marcha em pacientes que sofreram acidente vascular encefálico (AVE), sendo descrito uma ativação das áreas do córtex sensorial do pé e perna e a área sensório-motora do braço, córtex pré-motor e área motora suplementar. Além de selecionar as áreas cerebrais e as bandas de frequência que mais contribui no ensaio mental, destacaram que as bandas alfa, beta e ritmo “Mu”, sendo as frequências mais expressivas na tarefa (Ilanos et al., 2013).

No córtex sensório-motor, pré-motor e área suplementar motora destacou-se os estímulos visuais frequentemente utilizados no planejamento motor, demonstrando ativação do “ritmo Mu” no córtex motor, resposta análoga para os movimentos verdadeiros (ato motor) e simulados (imaginários) (LLANOS et al., 2013).

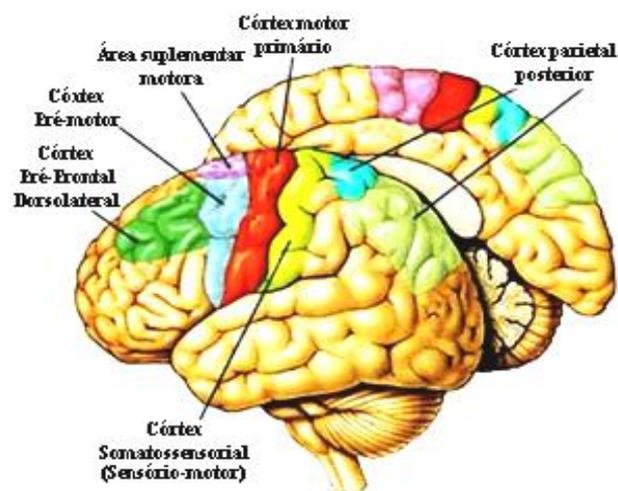


Figura 1. Representação do sistema somatossensorial.
Fonte: Google imagens (saude.culturamix.com/medicina)

Sebate et al., (2012) relata que o ritmo Mu parece exercer uma dupla função: (1) o crescente processo das informações visuais de uma tarefa e (2) o decréscimo do processamento de outras tarefas potencialmente interferentes, conhecida como a hipótese da inatividade.

No estudo de Meirovitch et al., (2015) foi demonstrado durante a execução, visualização e simulação mental do movimento, uma dessincronização das bandas alfa e beta, indicando a conexão da ação e percepção e da atividade cortical motora. Já No córtex sensorial houve uma relação com a excitabilidade cortical devido à acentuada presença da banda cerebral alfa, isto direciona a associação com a facilitação e inibição de processamentos sensoriais (ANDERSON e DING, 2011).

A IM é frequentemente citada na decodificação do planejamento motor do indivíduo, por influenciar alterações eletroencefalográficas com foco principal nas áreas sensório-motoras nas bandas de frequência, como a banda alfa (10Hz) e banda beta (20 Hz), seja por um fenômeno de dessincronização relacionada a eventos (DRE) ou sincronização relacionada a eventos (SRE). Analisados como uma resposta à excitabilidade cortical motora e acoplamento de ação-percepção das redes neurais subjacentes a área primária sensório-motora (NEUPER e PFURTSCHELLER, 2001; PFURTSCHELLER, 2003; YI et al., 2013; LIANG et al., 2016).

2.4 Análises corticais funcionais sob-registro eletroencefalográfico.

A atividade cortical registrada pelo EEG classifica as bandas de frequência e ritmos que podem ser modificados por eventos cognitivos (EMAMI e CHAU, 2018). Na atuação dos neurônios na comunicação do tálamo e o córtex, o EEG demonstra a atividade e o ritmo das ondas cerebrais, de origem periferia-córtex ou córtex-periferia (INUSO et al., 2007), sendo altamente utilizado para analisar eventos neurofisiológicos no mapeamento cortical, por sua significativa capacidade de expor eventos captados por eletrodos corretamente posicionados no escalpo do indivíduo (LIZIO et al., 2011).

Para a captação adequada desses sinais, Klem (1999), descreveram a utilização de eletrodos posicionados em uma distância média de 10 e 20 % (Sistema esse conhecido com Sistema Internacional 10/20), organizado por meio de letras de acordo com as regiões a serem avaliadas, dentre elas: O (occipital), P (parietal), T (temporal), C (central), F (frontal), Fp (Pré- Frontal) e A (Fixados nos auriculares).

Na diferenciação das áreas corticais em uma organização funcional, são utilizados 21 eletrodos onde dois (A1 – A2), são as referências e os demais a captam os sinais de cada área cerebral. Esse mapeamento tem sido utilizado com o intuito de captar da atividade cortical e o comportamento de bandas, com a intenção de beneficiar a qualidade do sinal, evitando ou minimizando o registro de sinais e ruídos (artefatos), oriundos de ações externas, de fonte

mecânica, fisiológica ou eletrônica. As bandas registradas do EEG são diferenciadas por frequências, por suas interações e funções cerebrais. Estes sinais adquiridos são a classificação de acordo com os ritmos cerebrais, definidos em bandas de frequência: Delta (> 4 Hz), Teta (4-8 Hz), Alfa (8-12 Hz) e Beta (< 12 Hz) (INUSO et al., 2007).

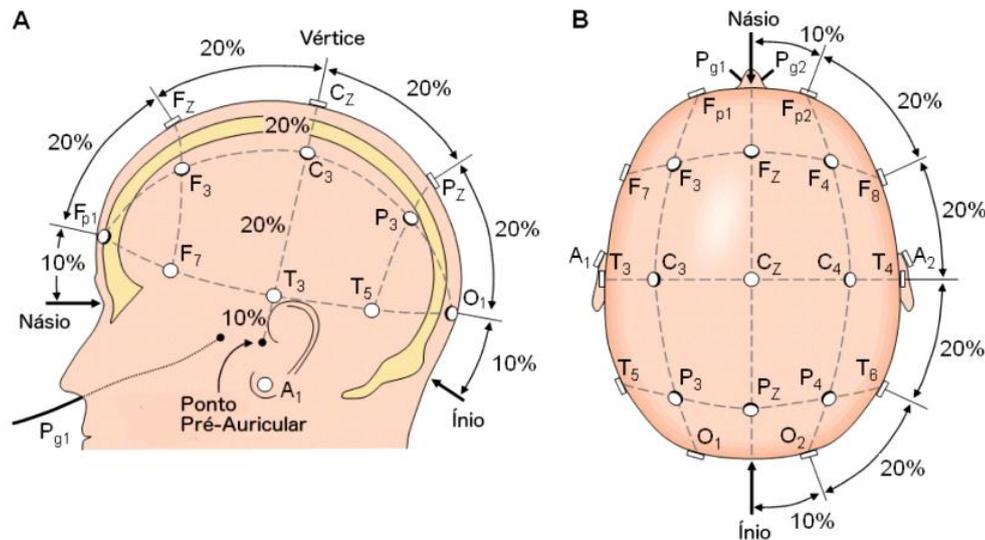


Figura 2. Posição dos eletrodos segundo o sistema internacional 10/20.

A: Vista lateral. **B:** Vista superior. Regiões correspondentes:

A: Auricular; **Pg:** Nasofaríngeal; **Fp:** Frontal Polar; **F:** Frontal; **C:** Central;

T: Temporal; **P:** Parietal; **O:** Occipital.

Fonte: Google imagens (www.semanticscholar.org)

Durante a captação de frequências e nas alterações rítmicas, o sinal do EEG demonstra escalas diferenciadas apresentando frequências de altas sincronizações (gama e beta) e baixas frequências (alfa, delta e teta), que nos fornecem a perspectiva de suas atividades corticais relacionadas (UHLHAAS et al., 2009; LUSTIG; MECK, 2011; YU; BUSHOVA e SVETLIK, 2015).

Diretamente interligada com a atenção, memória e processo cognitivo, a banda alfa se caracteriza em tarefas cognitivas em níveis diferenciados de dificuldade (BASTOS et al., 2004). Já a banda beta se relaciona diretamente com a ação efetiva e o planejamento motor (MACHADO et al., 2014). Na avaliação funcional, durante a execução de tarefas prolongadas, os dados fornecidos pelo EEG são essenciais na avaliação cortical (ZHAO et al., 2016).

2.5 Estudos relacionados às bandas alfa e beta.

Por mais de duas décadas, há evidências que as estruturas neurais relacionadas ao ato motor são ativadas pela observação de um movimento, atribuído diretamente à rede de neurônios espelhos. A rede de neurônios espelhos foi atribuída ao ato motor, por sua ativação tanto no desempenho de uma ação, quanto na observação de outra pessoa sobre a mesma ação relacionada (DI PELLEGRINO et.al., 1992). Na aquisição de uma nova habilidade motora, é crucial então que haja o conhecimento prévio da ação, sendo necessário assim à observação e adaptação do movimento, tendo papel relevante o sistema de neurônios espelhos (MELTZOFF e MOORE, 1977; IACOBONI e DAPRETTO, 2006; WULF, SHEA, e LEWTHWAITE, 2010). No estudo de Mizuno (2018), à atividade cerebral na análise da coerência em adultos, esclareceu as diferenças na conectividade neural em uma tarefa de observação e memorização, onde o participante imita a ação da mão de uma pessoa de primeira perspectiva ou visualmente.

Na coerência da atividade cerebral houve uma modificação que ocorreu entre os sistemas frontal e central, sensório-motor e sistema de neurônios-espelho em regiões com perspectivas visuais dos movimentos dos dedos. A região onde a atividade mudou foi semelhante, tanto na tarefa de imitação e quanto a de observação, comparado com a condição onde o participante observou figuras de uma mão estática. Sob diferentes perspectivas visuais e de ação corporal, as informações foram processadas nas regiões frontal-centrais relacionadas a processos sensório-motores e parcialmente em sistema de neurônios espelhos (MIZUNO et. al., 2018).

As bandas relacionadas com tarefas motoras e de simulação mental podem ser averiguadas por meio da sincronização ou dessincronização. A sincronização sugere que uma população neural oscila de forma sincrônica podendo ser do tipo 1 (vista em estado de repouso ou em estado de inibição funcional) ou do tipo 2 (durante a atividade mental, onde redes neuronais podem começar a oscilar sincronizadas com diferentes frequências) (KLIMESCH, 1996). A sincronização de alfa desempenha um papel ativo para o controle inibitório e tempo de processamento cortical. A dessincronização, entretanto, sugere que durante o processamento de informações, redes neuronais não oscilam em sincronia, sendo assim, a banda alfa refletirá uma liberação gradual de inibição, posteriormente associada com o surgimento de complexas propagações nos processos de ativação (KLIMESCH, SAUSENG e HANSLMAYR, 2006).

Esses tipos de variações na atividade oscilatória sincronizada nas redes cerebrais são cada vez mais reconhecidos como indicativos relevantes em doenças neurológicas, podendo ser relacionadas com déficits de aprendizado e outras funções cognitivas (VOYTEK e KNIGHT, 2015). A potência da banda alfa é frequentemente visualizada uma redução em condições de maior demanda cognitiva, principalmente nas áreas corticais posteriores. A diminuição de alfa posterior representa um perfil geral dos efeitos eletroencefalográficos para aumentar os níveis de recrutamento cognitivo em uma variedade de tarefas de linguagem e também de memória (BARWICK, ARNETT e SLOBOUNOV, 2012).

Já estudos com a banda beta, tem sido evidência na análise do funcionamento cerebral em protocolos que utilizam execução de tarefas motoras (STECKLOW ET AL., 2007). A atividade neural rítmica dentro da banda de frequência beta é modulada durante os movimentos reais e imaginários. Durante a simulação mental de uma ação, populações neuronais específicas que controlam características particulares desse movimento precisam ser selecionadas, enquanto que outras populações neuronais precisam ser suprimidas. Processos que envolvem a simulação mental de ações têm sido consistentemente associados a uma redução da potência da banda beta em regiões sensoriais motoras (BRINKMAN ET AL., 2014).

Em estudos recente apresentado por Doris (2018) relata que a avaliação da coerência da banda beta também tem sido relevante em estudos com pacientes com a doença de Parkinson (DP). Oscilações da banda beta do núcleo subtalâmico são suprimidas quando tratadas pela estimulação cerebral profunda terapêutica (*Deep Brain Stimulation* - DBS) e isto tem sido proposto como relevante para a terapêutica, pois pacientes com DP demonstraram aumento relativo da coerência da banda beta com o córtex motor, sustentando a hipótese de que as alterações motoras observada em desordens de movimentos estão associadas a oscilações específicas em sincronização de bandas entre a saída dos núcleos da base e o córtex motor.

CAPÍTULO III

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Local de estudo e questões éticas.

O estudo foi desenvolvido no Laboratório de Mapeamento Cerebral e Funcionalidade (LAMCEF) da Universidade Federal do Piauí, Campus Ministro Reis Velloso, Piauí, Brasil. Os participantes que estavam dentro dos critérios de inclusão e concordaram em participar do experimento foram esclarecidos quanto ao procedimento experimental e confidencialidade da pesquisa e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Piauí, Nº 1.144.285.

3.2. Sujeitos da amostra e critérios de inclusão.

Dezoito homens hígidos, idade entre 18 e 28 anos, sedentários, 100% destros segundo o questionário de Oldfield, que assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido e que atingirem escore ≥ 15 no *Revised Movement Imagery Questionnaire* (MIQ-R), que avalia se o candidato está apto a se imaginar, sendo incluído na pesquisa. Para a utilização do EEG, os participantes não fizeram uso de drogas psicotrópicas ou psicoativas ou nem tiveram sono inferior ao período de 8h na noite anterior ao experimento. Os voluntários cujos dados apresentaram problemas como artefatos e ruídos no sinal eletroencefalográfico foram excluídos

3.3 Experimento

O experimento foi dividido em duas etapas (3 dias consecutivos). A primeira etapa ocorreu no primeiro dia houve uma familiarização da tarefa motora, orientação sobre como executar a tarefa imagética motora baseada no movimento exercido da tarefa motora. A segunda etapa será composta pelos próximos dois dias foram realizados uma randomização da tarefa (IM e FNP).

3.4 Familiarização da técnica FNP

Os indivíduos permaneceram sentados de frente para uma tela LCD 21, em uma cadeira sem braço. Um vídeo da diagonal de Facilitação Neuromuscular Proprioceptiva (FNP), abdução-flexão-rotação externa/adução-extensão-rotação interna (Figura 1) foi apresentado e em seguida foi solicitado que o indivíduo reproduzisse a diagonal 20 vezes. Nas dez primeiras vezes o terapeuta auxiliou a execução do movimento (*hands on*) e nas últimas dez vezes o movimento foi sem auxílio (*hands off*).

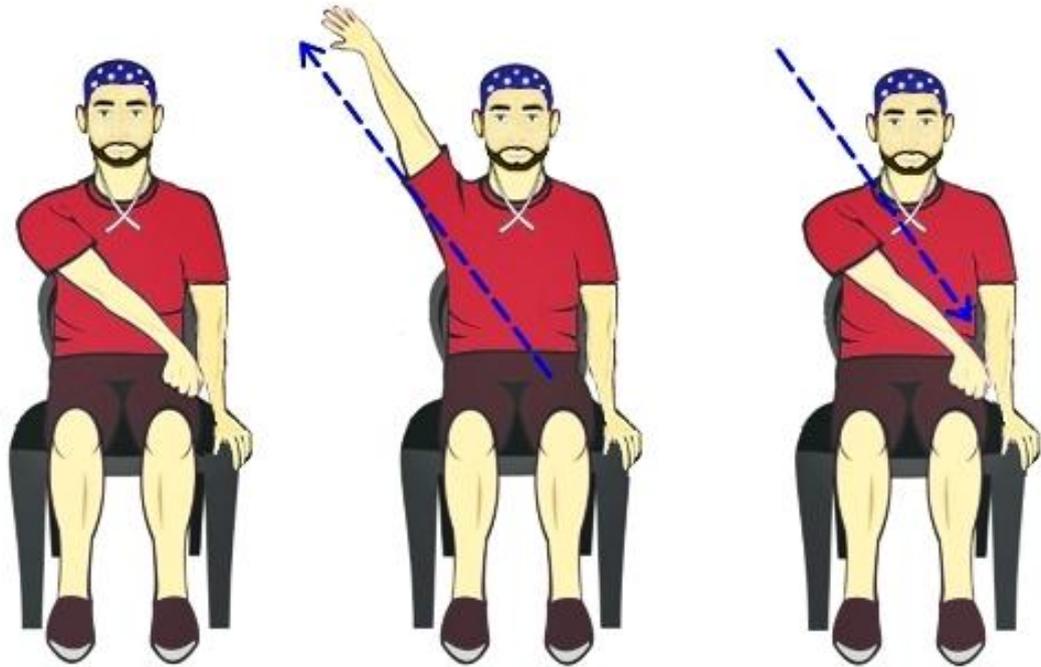


Figura 3. Representação da diagonal de Facilitação Neuromuscular Proprioceptiva (FNP), abdução-flexão-rotação externa/adução-extensão-rotação interna.

3.5 Protocolo da coleta

Em uma sala de baixa luminosidade e temperatura média de 25 graus, os indivíduos permaneceram sentados em uma cadeira sem braço e assistiram ao vídeo utilizado na familiarização da tarefa motora. Antes e após a tarefa foi solicitado que o voluntário respondesse, da forma mais fidedigna possível, a Escala de Humor do Brasil (BRAMS), utilizado para meios de monitorar fatores como estresse e cansaço do participante.

O registro eletroencefalográfico foi realizado de forma contínua iniciando 5 minutos antes da tarefa e finalizando 5 minutos após. Ao todo, o participante permaneceu 40 minutos sentados de frente para um monitor (Figura 2).

1º Dia Familiarização das tarefas

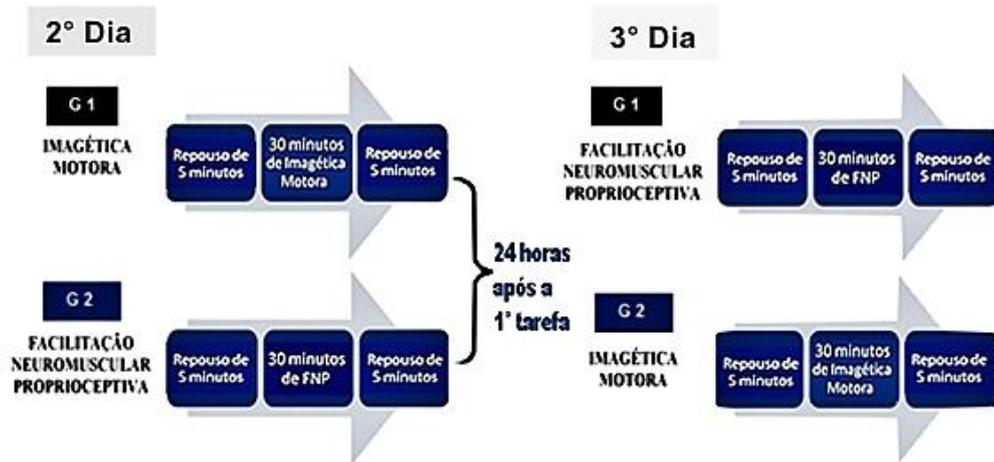


Figura 2: Representação do protocolo do experimento. O primeiro dia consiste em uma familiarização das tarefas e escalas utilizadas. No segundo e terceiro dias foi realizada uma randomização das tarefas Imagética Motora e Facilitação Neuromuscular Proprioceptiva (FNP), onde os participantes iniciam em um dos dois grupos (G1 ou G2) e após 24 horas, executa a tarefa do outro grupo. Cada protocolo durou 40 minutos com registro eletroencefalográfico contínuo. Os 5 minutos anteriores e 5 minutos posteriores à intervenção.

3.6 Protocolos para as técnicas

(1) **Imagética Motora:** Em uma tela preta, um círculo vermelho no centro da tela apareceu a cada 10 segundos (Figura 3). O voluntário foi orientado a se imaginar executando a diagonal abdução-flexão-rotação externa/adução-extensão-rotação interna sempre que aparecesse o círculo no centro da tela. Ao todo, os trinta minutos de simulação mental da manobra foram compostos por 10 Blocos com 18 movimentos (180 trilhas) com intervalo de 10 segundos em sua execução entre os blocos.

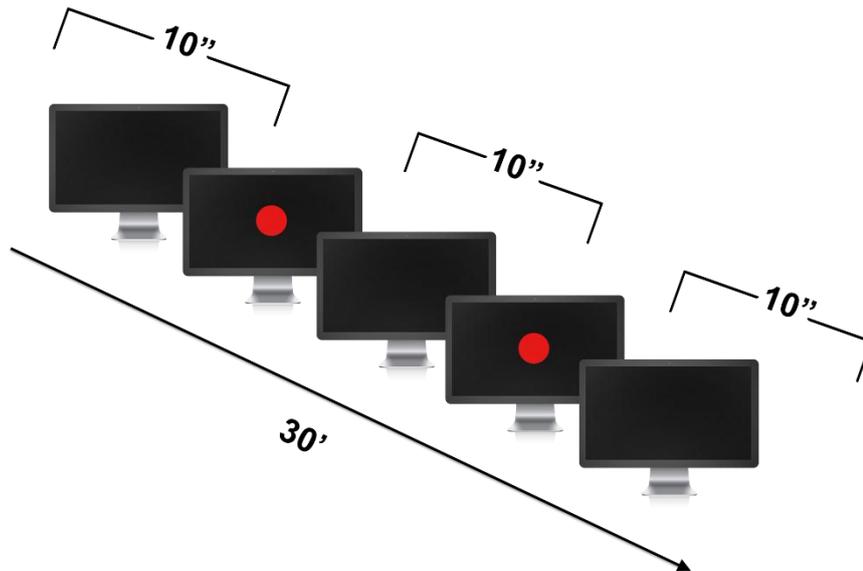


Figura 3: Representação do estímulo apresentado na tarefa de Imagética Motora.

(2) Facilitação Neuromuscular Proprioceptiva (FNP): O indivíduo foi orientado a executar a diagonal abdução-flexão-rotação externa/adução-extensão-rotação interna sempre que aparecesse o círculo vermelho no centro da tela. Ao todo, os trinta minutos de simulação mental da manobra foram compostos por 10 Blocos com 18 movimentos (180 trilhas) com intervalo de 10 segundos em sua execução entre os blocos (Figura 1).

3.7 Registro eletroencefalográfico

A captação do sinal eletroencefalográfico foi feita de forma contínua com o aparelho BrainNet BNT 36 - EEG (EMSA–Instrumentos Médicos, Brasil) constituído por 20 eletrodos dispostos em uma touca elástica de 58-54cm segundo o sistema internacional 10-20. Os eletrodos de referência foram posicionados nos lóbulos auriculares (biauricular) e os eletrodos utilizados para posterior análise serão F3, F4, C3, C4, P3, P4 e O1, O2. A sala de captação teve isolamento de luminosidade, acústica e aterramento elétrico. A impedância da interface pele-eletrodo foi mantida abaixo de 5k Ω . Os dados adquiridos tiveram amplitude total menor que 100mV. O sinal EEG foi filtrado analogicamente entre 0,1 Hz (passa-alta) e 100 Hz (passa-baixa), sendo digitalizado a 400Hz. Com o software de aquisição e controle (desenvolvido em Delphi 5.0), os dados brutos foram filtrados digitalmente: notch de 60 Hz, passa-alta de 0,3 Hz e passa-baixa de 40Hz.

3.8 Análise dos dados

Uma inspeção visual e análise de componentes independentes (ACI) foram aplicadas para identificar e remover todos os artefatos remanescentes, ou seja, piscadas de olhos e movimentos oculares produzidos pela tarefa (DELORME E MAKEIG, 2004; JUNG ET AL., 2000). Os dados de eletrodos individuais que exibirem perda de contato com o escalpo ou alta impedância ($>5K\Omega$) não foram considerados. Um estimador clássico foi aplicado para a densidade de potência espectral (DPE), estimada a partir da Transformada de Fourier, que foi realizada pelo *MATLAB R2009b* (Matwords, Inc.).

3.9 Análise estatística

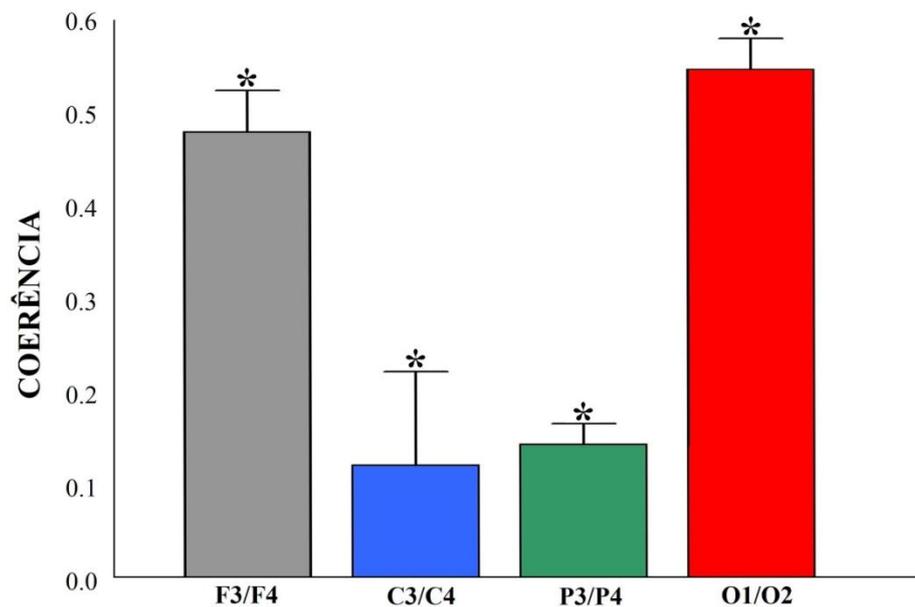
Para a análise estatística foi utilizado o *software Statistical Product and Service Solutions* (IBM SPSS) para Windows versão 20.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, EUA). Foi realizada uma Anova three-way de medidas repetidas para compreender os efeitos das condições Imagética Motora e FNP na análise da coerência eletroencefalográfica das bandas Alfa e Beta nas combinações F3/F4, C3/C4, P3/P4, O1/O2, analisando as médias momento (antes e depois), grupos (FNP e IM) nas áreas citadas. Os dados estavam normalmente distribuídos conforme observado no teste de Shapiro-Wilk ($p>0,05$). Os valores extremos foram avaliados por inspeção do box plot e foram mantidos na análise por não afetarem materialmente os resultados, conforme avaliado por uma comparação dos resultados com e sem os valores extremos. Houve homogeneidade das variâncias, avaliado pelo teste de Levene para igualdade de variâncias ($p>0,05$). Para o efeito da interação de três vias, o teste de esfericidade de Mauchly indicou que o pressuposto da esfericidade foi cumprido.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

Embora o acoplamento intra e inter-hemisférica sejam diferentes, isso não mudou entre a condição FNP e IM na análise das bandas alfa e beta. Relatamos assim que mesmo o indivíduo realizando FNP quanto IM, não houve diferença na atividade cortical, demonstrando apenas grande efeito entre o acoplamento. Não encontramos interação entre associações estudadas e os momentos, observamos apenas o efeito principal entre áreas. Conforme a hipótese do estudo, não foi encontrada nos resultados diferença entre a atividade FNP e a tarefa imagética motora. A análise da coerência em alfa demonstra somente efeito principal para as áreas [$F = (22,1000) = 58,47$; $p > 0,001$; $\eta^2 p = 0,77$; poder = 100%].

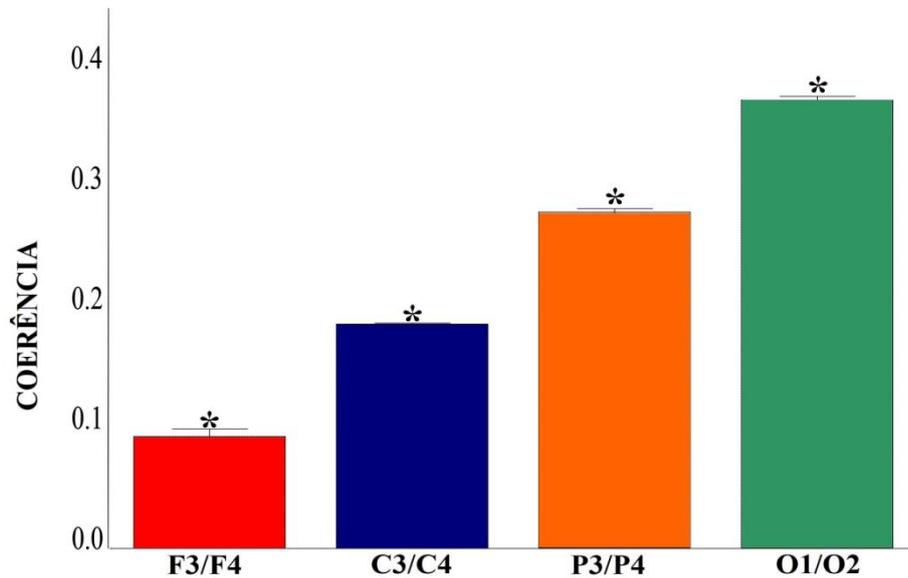
As diferenças entre as áreas em questão seguem no gráfico.



* Diferença significativa.

Figura 5: Efeito principal entre áreas.

Na análise da banda beta, houve diferença estatisticamente significativa entre áreas, com diferença de 85 % das condições em áreas. [$F = (22,1000) = 96,292$; $p > 0,001$; $n^2p = 0,85$; poder = 100%].



* Diferença significativa.

Figura 5: Efeito principal entre áreas.

Com base no gráfico percebe-se que a variação da atividade cortical mediante a carga cognitiva em função das condições específicas do estudo, a área que tem maior ativação mediante aos protocolos de intervenção é a região correspondente ao córtex occipital (córtex visual primário).

5. DISCUSSÃO

O objetivo deste estudo foi esclarecer como as bases neurais se relacionam com o tipo de tarefas cognitivas de imagética motora (IM) e facilitação neuromuscular proprioceptiva (FNP) em indivíduos utilizando a análise eletroencefalográfica. Foi encontrada diferença somente entre áreas na análise da banda alfa, demonstrando que a tarefa demanda a atenção para o desempenho do comando motor e imagético, direcionando maior expressão na região frontal, sendo hipoteticamente justificado por a conectividade entre áreas e o uso da memória de trabalho na execução da tarefa empregada. Essa conectividade tem sido empregada para investigar os mecanismos de recuperação em doenças neurológicas e avaliar o efeito de intervenções específicas de reabilitação (GENTILI et al., 2017).

Hanakawa (2016) apresentou o que a conectividade cortical e a memória como fonte de armazenamento de informações, seria uma ferramenta funcional com a técnica imagética motora (IM). No auxílio da interpretação de resultados durante a análise de imagens motoras, sugerindo estratégias para futuras pesquisas, o autor propôs classificar em tipos e subtipos as informações sobre imagens mentais com base em quatro fatores: controle motor, motoras explícitas ou implícitas, modalidade sensorial e ação.

No controle motor foi observado que a habilidade de construir uma imagem motora e torná-la ação, necessita de primeiramente de mecanismos de planejamento no controle neural para posterior execução desse movimento. Os fatores estão restringidos aos estágios de planejamento, preparação e execução do controle motor (HANAKAWA, 2016). Na fase de planejamento de tarefas motoras são fornecidas apenas informações parciais para calcular o comando motor. Podemos assim correlacionar nos resultados encontrados nos eletrodos F3/F4 da banda alfa na pesquisa, onde ocorre o planejamento e gerenciamento dessas informações parciais para o posterior comando motor. Sugere-se assim que possuía maior modulação de atividade em função das intervenções.

Já na região dos eletrodos F3/F4 da banda beta, por se tratar de também de uma área de integração sensorial, apresentou pouca variação, já que essa região gerencia e distribui as informações, subtendendo-se que apresenta assim, menor influencia em relação às

intervenções, se capacitando para esta função e não na execução de ações motoras. No caso, de todo recrutamento muscular e cognitivo, tanto IM como FNP apresentam na fase de preparação do movimento, na região frontal alfa se destaca e beta reprime, aguardando assim a informação motora concluída e aguardando apenas pela a ativação da ação (NAKAYAMA et al. , 2008). Em processos que envolvem a tarefas de simulação mental de movimentos, encontram-se associados frequentemente a uma redução da potência da banda beta em regiões sensoriais motoras (BRINKMAN et al., 2014).

Vale ressaltar que cada uma destes potenciais que apresentaram manifestações no resultado do estudo, corresponde a áreas específicas do cérebro, onde ressalta nessa fase de recrutamento motor os potenciais relacionados aos eletrodos que estão responsáveis pelos movimentos dos membros superiores referentes ao movimento das mãos, os quais correspondem às posições C3 e C4 no sistema 10/20. O controle motor guiado de forma sensorial começa comumente partindo de um plano motor abstrato (planejamento), acompanhado pela formação de um plano prontamente executável no processo de mapeamento muscular (preparação) e como resultado o movimento físico que acompanham a atividade muscular (execução) (GUILLOT et al., 2012; RAFFIN et al., 2012).

Ademais em relação à consciência e formação de uma imagem motora, Hanakawa (2016) relata a correlação da consciência na participação de uma imagem motora, que pode ser gerada intencionalmente como imagens motoras explícitas ou não intencionais (imagens motoras implícitas), sendo estudadas como parte de um processo sensorio-motorizado. Com o intuito de proteger o conteúdo armazenado na MT, o córtex pré-frontal gerencia o controle *top-down*, cuja função é suprimir informações somatossensoriais irrelevantes para a tarefa de IM (SAVOLAINEN et al., 2011).

Corroborando com os achados de nossos resultados na região parietal da banda beta, um fato relevante foi descrito por Hanakawa e colaboradores (2008), onde foi identificando uma atividade cerebral relacionada à imagética motora nos córtex pré-motor- e córtex parietal, sugerindo um mecanismo neural compartilhado entre as imagens motoras implícitas e explícitas na fase de planejamento no controle motor. Um achado similar posteriormente foi descrito em uma pesquisa, durante uma atividade e posterior comparação de imagens implícitas e explícitas durante a execução de imagética motora no movimento de rotação das mãos, usando mapeamento destas áreas como análise de frequência de sinais de eletroencefalográficos (OSUAGWU e VUCKOVIC, 2014).

No aspecto sensorial existem tipos de experiências sensoriais que podem ser vinculadas com imagens motoras: cinestésica e visual (RIZZOLATTI e SINIGAGLIA, 2010), sendo o aspecto visual o foco principal relacionado aos nossos resultados na região occipital (O1 e O2). Os autores referem a partir de achados sobre a percepção sensorial, que um estímulo induz a ativação das reproduções motoras, fazendo uma análise da informação visual e sobrepondo-se com a imagem da execução do movimento durante a observação do mesmo, trabalhando como neurônios espelhos, relacionado com o processamento motor (THOMPSON e CATMUR, 2017). Saygin et al. (2009) e Vigneswaram et al. (2013) evidenciam que os sistemas neurônios espelhos podem desempenhar um papel importante na imagética motora por meio da supressão do movimento.

A IM recruta a informação de experiências sensoriais estreitamente associadas ao movimento, destacando-se por suas atividades cerebrais na excitabilidade córtico-motor durante a execução (GUILLOTET et al., 2009). Deste modo, estudos sobre a IM têm sido direcionados a atender todos os tipos sensoriais que podem estar vinculados com o movimento e focar como um ponto relevante para futuras investigações (STINEAR et al., 2006). Em relação a ação motora, a imagética divide-se em duas classificações segundo o estudo de Hanakawa (2016): Uma perspectiva de primeira pessoa, onde o ser humano imagina-se executando uma determinada ação, e a outra perspectiva onde o sujeito imagina uma terceira pessoa desempenhando a mesma ação. Os autores sugerem que embora as pesquisas recentes de imagens motoras foquem na perspectiva de primeira pessoa, o contexto da neurociência da imagética motora centraliza-se na perspectiva de terceira pessoa. Essa diferenciação de perspectivas tem sido utilizada em imagens motoras de tipo visual, mas o conceito pode ser de acordo com a teoria, estendido a outras modalidades, como por exemplo, auditivas (DE VRIES e MULDER, 2007; HUMPHRIES et al., 2016).

Ao usar o termo perspectiva, é recrutada uma mudança de percepção do ambiente para uma realidade alternativa, um lugar futuro imaginado referenciado a si mesmo e compartilhando processos similares com outros atos cognitivos na construção mental como em uma simulação (BUCKNER & CARROLL, 2007).

5.1 Limitações do estudo

Neste estudo não houve registro de marcação nas épocas, limitando o a análise da neurodinâmica cortical durante a realização das tarefas, impossibilitando assim a correlação de momentos de sincronizações ou dessincronizações das bandas eletroencefalográficas que

abrangem tarefas cognitivas e motoras. Além disso, sugerem-se para futuros estudos a avaliação eletromiográfica, tendo assim uma visão mais abrangente da ativação neuromuscular durante o movimento e se esta também é recrutada durante a tarefa cognitiva.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi esclarecer como as bases neurais se relacionam com o tipo de tarefas cognitivas de imagética motora (IM) e facilitação neuromuscular proprioceptiva (FNP) em indivíduos utilizando a análise eletroencefalográfica. Encontramos diferença significativa somente entre as áreas nas bandas alfa e beta, refletindo uma maior exigência cognitiva da memória de trabalho na execução de tarefas cognitivas e motoras, embora as duas tarefas não apresentassem diferenças significativas entre elas, onde tanto a banda alfa quanto a banda beta se mantiveram elevadas em ambas as tarefas, apresentando somente a diferenciação entre as áreas.

Concluimos descrevendo informações relevantes sobre o desempenho cognitivo e suas correlações com coerência de alfa e beta, bem como com a percepção de esforço mental na ativação de áreas visuais (imagética visual e memória de trabalho) para a execução de diferentes tarefas motoras e cognitivas. Espera-se assim que essas informações contribuam para a compreensão da função do córtex pré-frontal e região occipital em tarefas relacionadas ou não ao ato motor, norteadas pela literatura sobre os reais significados das áreas relacionadas em tarefas cognitivas e motoras.

CAPÍTULO VII

7. PRODUÇÃO CIENTÍFICA

7.1 Artigo em português

Este artigo foi organizado com os tópicos de acordo com as exigências da revista Clinical Neurophysiology: <https://www.clinph-journal.com>.

Facilitação neuromuscular proprioceptiva e a imagética motora resultam no mesmo acoplamento.

Ana Cláudia Mota de Freitas^{a,*}, Monara Nunes^a, Valécia Carvalho^{b, c}, Samaritana Barros do Nascimento^b, Victor Marinho^{b, c}, Francisco Magalhães^{b, c}, Diandra Martins^a, Maria Gabriela^a, Rayele Santos^{b, c}, Fernando Silva-Junior^b, Silmar Silva Teixeira^b, Marco Orsini^d, Bruna Velasques^e, Pedro Ribeiro^e, Marco Orsini^d, Bruna Velasques^e, Pedro Ribeiro^e, Victor Hugo Bastos^a.

^aLaboratório de Mapeamento Cerebral e Funcionalidade – LAMCEF, Universidade federal do Piauí, Parnaíba, Piauí, Brasil.

^bLaboratório de Neuro-Inovação Tecnológica & Mapeamento Cerebral, – NITLAB, Universidade Federal do Piauí, Parnaíba, Piauí, Brasil.

^cPrograma de Pós-graduação em Biotecnologia – Renorbio, Universidade Federal do Piauí, Teresina, Piauí, Brasil.

^dPrograma de Mestrado Profissional em Ciências Aplicadas em Saúde / UNISUAM, Bonsucesso, Brasil

^eLaboratório de Mapeamento Cerebral e Integração Sensorio-Motora, Instituto de Psiquiatria da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Destaques

- Atividades das bandas alfa e beta entre as condições de Imagética Motora (IM) e Facilitação neuromuscular proprioceptiva (FNP) foram avaliadas em homens saudáveis.
- As atividades corticais entre a tarefa de FNP e IM demonstraram apenas efeito entre o acoplamento.
- O córtex visual primário apresentou maior ativação cortical mediante aos protocolos de intervenção.

Resumo

Objetivo: Avaliar os efeitos da execução da imagética motora (IM) e facilitação neuromuscular proprioceptiva (FNP) nas respostas neuroelétricas em homens saudáveis.

Método: Estudo experimental com amostragem por conveniência, com 18 homens hígidos participaram de um protocolo contrabalanceado. Na tarefa de imagética motora (IM), o participante imagina a ação motora, uma diagonal de facilitação neuromuscular proprioceptiva (FNP). Na tarefa de facilitação neuromuscular proprioceptiva (FNP), o voluntário executa a diagonal de FNP com movimento real. Atividade cerebral foi medida através da eletroencefalografia (EEG) em repouso em regiões frontais, centrais e occipitais do córtex cerebral durante repouso de 5 minutos antes e após tarefa de IM e FNP.

Resultados: Não houve diferença na atividade cortical entre a tarefa de FNP e IM, demonstrando apenas grande efeito entre o acoplamento. Não houve interação entre associações estudadas e os momentos, observamos apenas o efeito principal entre áreas.

Conclusão: O objetivo desse estudo foi investigar a imagética por intermédio da leitura da eletroencefalografia (EEG) e seu comportamento espectral da coerência das bandas alfa e beta em relação a ação motora em uma diagonal de facilitação neuromuscular proprioceptiva (FNP) e sua integração sensório-motor e cognitivo, visando favorecer a atuação de profissionais da saúde, seja no processo de ativação cortical, utilizando a imagética como prática direcionada na em programas de reabilitação, como na associação de tarefas motoras com técnicas cognitivas, devido aos resultados encontrados na interação dos mesmos. Os resultados revelaram diferença significativa somente entre as áreas nas bandas alfa e beta, refletindo uma maior exigência cognitiva da memória de trabalho na execução de tarefas cognitivas e motoras.

Significância: Este estudo descreve informações relevantes sobre o desempenho cognitivo e suas correlações com coerência de alfa e beta, bem como com a percepção de esforço mental na ativação de áreas visuais (imagética visual e memória de trabalho) para a execução de diferentes tarefas motoras e cognitivas.

Palavras-chave: Eletroencefalograma, Técnicas de Exercício e de Movimento, Cognição.

1. Introdução

A Imagética Motora (IM) tem sido amplamente aplicada na aprendizagem de habilidades motoras, reabilitação neurológica, interface cérebro-computador (BCI) e programas de prevenção para idosos para evitar declínios de mobilidade (Nicholson et al., 2018). A IM é definida como um ensaio mental interno de um movimento corporal específico simples ou complexo sem a produção motora real, que é atribuída à atividade cortical. A ativação sensório-motora da rede cortical e subcortical, assim como as estruturas envolvidas na execução motora (Li Fali et al., 2018, Sant`Anna et al., 2014, Lameira et al., 2008). Com o avanço das técnicas de neuroimagem foi possível identificar que a imagética motora e a prática física do movimento são substratos cerebrais de uma proporção similar, ocorrendo ativações centrais autonômicas efetoras durante a IM (Rodrigues et al., 2003). Durante a IM ocorre uma reprodução da tarefa no sistema motor e este processo ativa vias motoras e aprimora a resposta motora por intermédio da aprendizagem com IM visual (Bruno et al., 2018).

Estudos identificaram sinais de atividade muscular durante a IM (Guillot et al., 2010, Dickstein et al., 2005, Kobelt et al., 2018), porém ainda não está claro quais parâmetros aumenta ou inibe a resposta cortical durante o IM. Neste contexto, o Eletroencefalograma (EEG) vem sendo utilizado nas análises de atividade cortical implicadas nos movimentos imaginados e executados (Li Fali et al., 2018, Lameira et al., 2008). Em geral, a investigação da atividade cerebral com os paradigmas do IM baseia-se na potência absoluta das bandas de frequência do EEG, principalmente na banda alfa (8-13 Hz) de áreas parietais e occipitais (Stecklow et al., 2010). A atividade em banda alfa está associada ao esforço mental durante tarefas mentais, e à habituação de ondas cerebrais quando os estímulos são apresentados sequencialmente (Stecklow et al., 2007, Fink et al., 2018). Além disso, atividade da banda beta (14–30 Hz) está associada à ativação cortical em tarefas mentais (Morash et al., 2008).

Grande parte das tarefas motoras utilizadas na investigação com IM e EEG foram simples, indicando a necessidade de mais estudos utilizando tarefas com demandas motoras mais complexas, como a Facilitação Neuromuscular Proprioceptiva (FNP). A FNP é um método que favorece o mecanismo neuromuscular mediante a estimulação dos proprioceptores. Utiliza-se de contração muscular isométrica voluntária máxima seguida pelo relaxamento. A FNP utiliza padrões específicos de movimento em diagonal e espiral, bem como estímulos aferentes para promover o desencadeamento do potencial neuromuscular, obtendo melhores respostas em todo o sistema musculoesquelético. Estes padrões de

movimento são muito semelhantes aos movimentos usados em atividades esportivas e de trabalho (Silva et al., 2015, Ferreira et al., 2015).

Desta forma o presente estudo avaliou os efeitos da execução da IM e do FNP nas respostas em homens saudáveis, através da análise da coerência nas bandas alfa e beta. Hipotetizamos que a atividade cortical demonstrada nos resultados quando os participantes realizarem a diagonal de FNP comparada com a IM não se diferenciam intra-hemisféricamente, seja em suas bases neurais no desempenho cognitivo ou em suas respostas neurofisiológicas.

2. Material e métodos

2.1. Local de estudo e questões éticas.

O estudo foi desenvolvido no Laboratório de Mapeamento Cerebral e Funcionalidade (LAMCEF) da Universidade Federal do Piauí, Campus Ministro Reis Velloso, Piauí, Brasil. Os participantes que estavam dentro dos critérios de inclusão e concordaram em participar do experimento foram esclarecidos quanto ao procedimento experimental e confidencialidade da pesquisa e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Piauí, Nº 1.144.285.

2.2. Sujeitos da amostra e critérios de inclusão.

Dezoito homens hígidos, com amostra estatística não probabilística por conveniência, com idade entre 18 e 28 anos, sedentários, 100% destros segundo o questionário de Oldfield, que assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido e que atingirem score ≥ 15 eliminatório no *Revised Movement Imagery Questionnaire* (MIQ-R), que avalia se o candidato está apto a se imaginar, sendo incluído na pesquisa. Para a utilização do eletroencefalógrafo, os participantes não fizeram uso de drogas psicotrópicas ou psicoativas ou nem tiveram sono inferior ao período de oito horas na noite anterior ao experimento. Os voluntários cujos dados apresentaram problemas como artefatos e ruídos no sinal do EEG foram excluídos.

2.3 Experimento

O experimento foi dividido em duas etapas que ocorreram durante 3 dias consecutivos. A primeira etapa ocorreu no primeiro dia onde foi realizada uma familiarização da tarefa motora e orientações foram dadas sobre como executar a tarefa imagética motora

baseada no movimento exercido da tarefa motora. Enquanto a segunda etapa foi realizada nos dois dias seguintes após a familiarização, onde os participantes participaram randomicamente de duas condições, (1) movimento real de FNP e (2) movimento imaginado de FNP. Tal metodologia se caracterizou como um crossover.

2.3.1 Familiarização da técnica motora de Facilitação Neuromuscular Proprioceptiva.

Os indivíduos permaneceram sentados de frente para uma tela LCD 21, em uma cadeira sem braço. Um vídeo da diagonal de FNP, abdução-flexão-rotação externa/adução-extensão-rotação interna (Fig 1) foi apresentado e em seguida foi solicitado que o indivíduo reproduzisse a diagonal 20 vezes. Nas dez primeiras vezes o terapeuta auxiliou a execução do movimento (*hands on*) e nas últimas dez vezes o movimento foi sem auxílio (*hands off*).

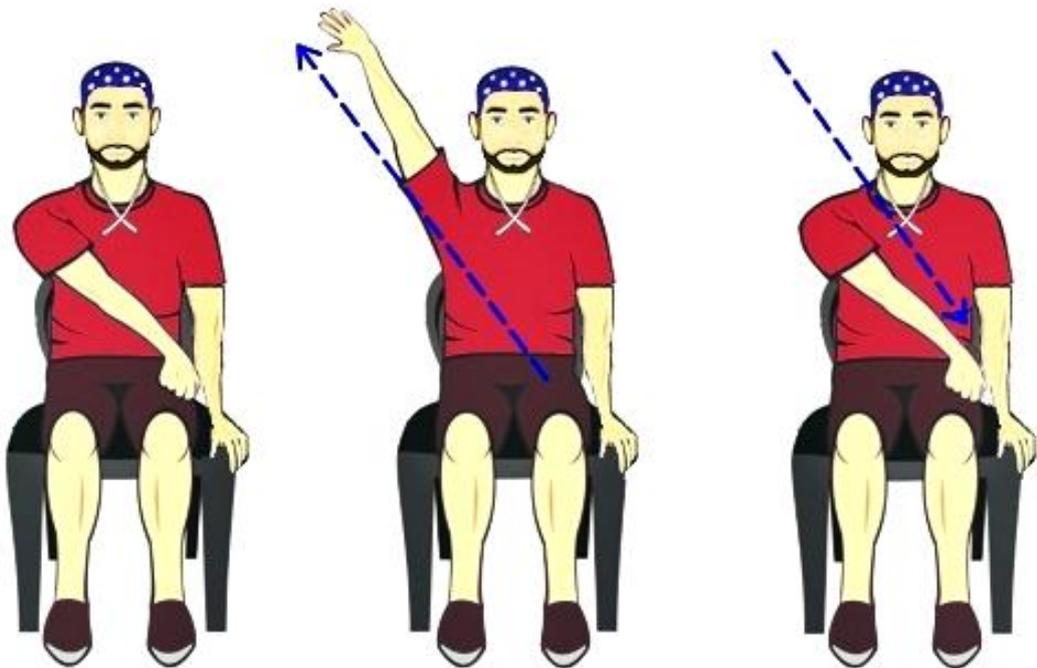


Figura. Representação da diagonal de FNP, abdução-flexão-rotação externa/adução-extensão-rotação interna.

2.3.2 Protocolo experimental

Em uma sala de baixa luminosidade e temperatura média de 25 graus, os indivíduos permaneceram sentados em uma cadeira sem braço e assistiram ao vídeo utilizado na familiarização da tarefa motora. Antes e após a tarefa foi solicitado que o voluntário

respondesse, da forma mais fidedigna possível, a Escala de Humor do Brasil (BRAMS), utilizado para meios de monitorar fatores como estresse e cansaço do participante.

O registro do EEG foi realizado iniciando 5 minutos antes da tarefa e 5 minutos após. Ao todo, o participante permaneceu 40 minutos sentados de frente para um monitor (Figura 2., visto a tarefa durar 30 minutos).



Figura 2: Representação do protocolo do experimento. O primeiro dia consiste em uma familiarização das tarefas e escalas utilizadas. No segundo e terceiro dias foi realizada uma randomização das tarefas Imagética Motora e Facilitação Neuromuscular Proprioceptiva (FNP), onde os participantes iniciam em um dos dois grupos (G1 ou G2) e após 24 horas, executa a tarefa do outro grupo. Cada protocolo durou 40 minutos com registro eletroencefalográfico contínuo. Os 5 minutos anteriores e 5 minutos posteriores à intervenção.

2.3.3 Tarefas Desempenhadas

Imagética Motora: Em uma tela preta, um círculo vermelho no centro da tela apareceu a cada 10 segundos (Fig 3). O voluntário foi orientado a se imaginar executando a diagonal abdução-flexão-rotação externa/adução-extensão-rotação interna sempre que aparecesse o círculo no centro da tela. Ao todo, os trinta minutos de simulação mental da manobra foram compostos por 10 Blocos com 18 movimentos (180 trilhas) com intervalo de 10 segundos em sua execução entre os blocos.

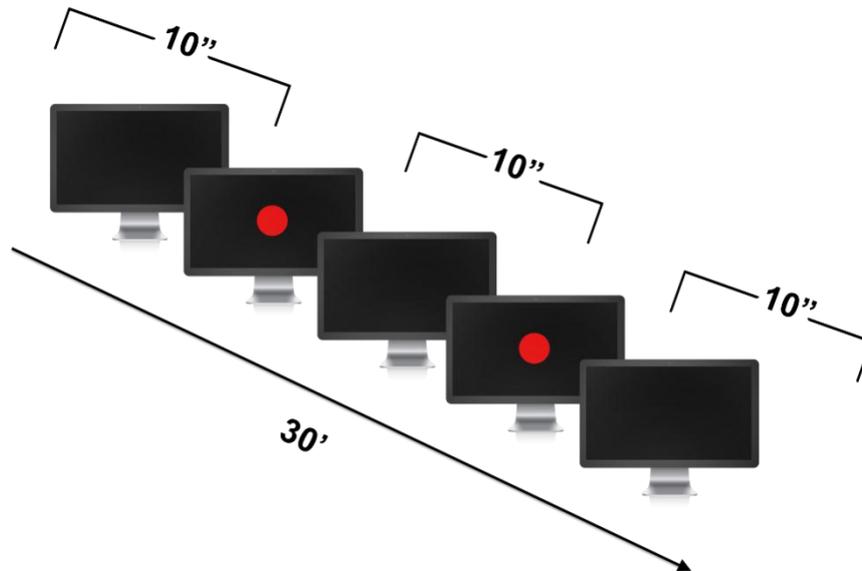


Fig. 3. Representação do estímulo na tarefa de Imagética Motora.

FNP: O indivíduo foi orientado a executar a diagonal abdução-flexão-rotação externa/adução-extensão-rotação interna sempre que aparecesse o círculo vermelho no centro da tela. Ao todo, os trinta minutos de simulação mental da manobra foram compostos por 10 blocos com 18 movimentos (180 trilhas) com intervalo de 10 segundos em sua execução entre os blocos (Fig 1).

2.4. Registro eletroencefalográfico.

A captação do sinal do EEG foi realizada com o aparelho BrainNet BNT 36 - EEG (EMSA–Instrumentos Médicos, Brasil) constituído por 20 eletrodos dispostos em uma touca elástica de 58-54cm segundo o sistema internacional 10-20. Os eletrodos de referência foram posicionados nos lóbulos auriculares (biauricular) e a combinação de eletrodos utilizados para posterior análise da coerência das bandas eletroencefalográfica alfa e beta foram F3/F4, C3/C4, P3/P4 e O1/O2. A sala de captação teve isolamento de luminosidade, acústica e aterramento elétrico. A impedância da interface pele-eletrodo foi mantida abaixo de 5k Ω . Os dados adquiridos tiveram amplitude total menor que 100mV. O sinal EEG foi filtrado analogicamente entre 0,1 Hz (passa-alta) e 100 Hz (passa-baixa), sendo digitalizado a 400Hz. Com o software de aquisição e controle (desenvolvido em Delphi 5.0), os dados brutos foram filtrados digitalmente: notch de 60 Hz, passa-alta de 0,3 Hz e passa-baixa de 40Hz.

2.5. Análise dos dados

Uma inspeção visual e análise de componentes independentes (ACI) foram aplicadas para identificar e remover todos os artefatos remanescentes, ou seja, piscadas de olhos e movimentos oculares produzidos pela tarefa (Delorme e Makeig, 2004, Jung et al., 2000). Os dados de eletrodos individuais que exibirem perda de contato com o escalpo ou alta impedância ($>5K\Omega$) não foram considerados. Um estimador clássico foi aplicado para a densidade de potência espectral (DPE), estimada a partir da Transformada de Fourier, que foi realizada pelo *MATLAB R2009b* (Matwords, Inc.).

2.6. Análise estatística

Para a análise estatística foi utilizado o software Statistical Product and Service Solutions (IBM SPSS) para Windows versão 20.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, EUA). Foi realizada uma Anova three-way de medidas repetidas para compreender os efeitos das condições Imagética Motora e FNP na análise da coerência eletroencefalográfica das bandas Alfa e Beta nas combinações F3/F4, C3/C4, P3/P4, O1/O2, analisando as médias momento (antes e depois), grupos (FNP e IM) nas áreas citadas. Os dados estavam normalmente distribuídos conforme observado no teste de Shapiro-Wilk ($p>0,05$). Os valores extremos foram avaliados por inspeção do box plot e foram mantidos na análise por não afetarem materialmente os resultados, conforme avaliado por uma comparação dos resultados com e sem os valores extremos. Houve homogeneidade das variâncias, avaliado pelo teste de Levene para igualdade de variâncias ($p>0,05$). Para o efeito da interação de três vias, o teste de esfericidade de Mauchly indicou que o pressuposto da esfericidade foi cumprido.

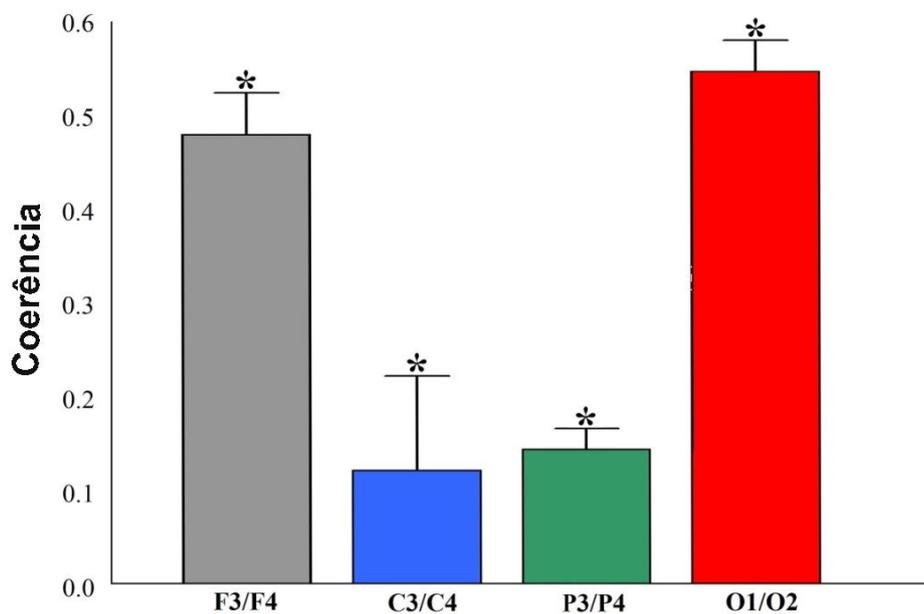
3. Resultados

Embora o acoplamento intra e inter-hemisférica sejam diferentes, isso não mudou entre a condição FNP e IM na análise das bandas alfa e beta. Relatamos assim que mesmo o indivíduo realizando FNP quanto IM, não houve diferença na atividade cortical, demonstrando apenas grande efeito entre o acoplamento. Não encontramos interação entre associações estudadas e os momentos, observamos apenas o efeito principal entre áreas.

3.1. Resultado da análise da coerência da banda alfa

Conforme a hipótese do estudo, não foi encontrada nos resultados diferença entre a atividade FNP e a tarefa imagética motora. A análise da coerência em alfa demonstra efeito principal para as áreas [$F= (22,1000) = 58,47$; $p > 0,001$; $n^2p = 0,77$; poder = 100%].

As diferenças entre as áreas em questão seguem no gráfico.



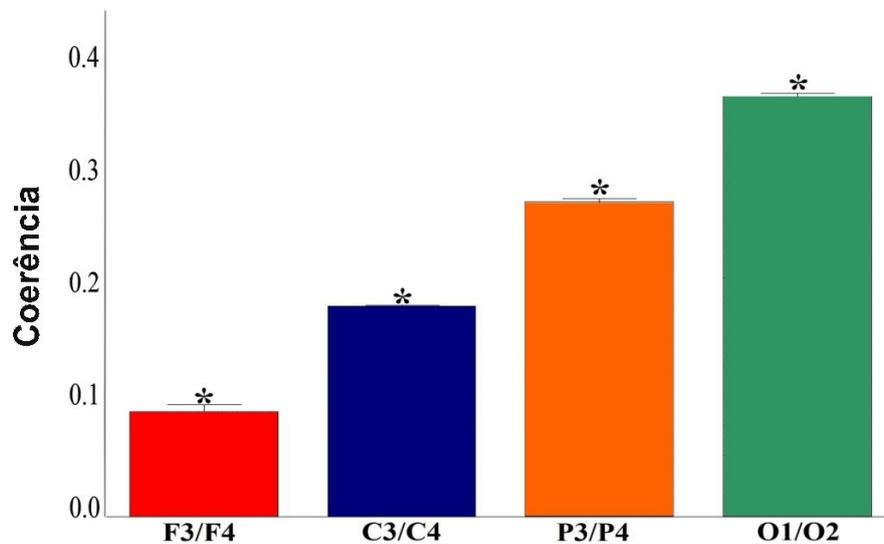
* Diferença significativa.

Fig. 4. Efeito principal entre áreas.

3.2. Resultado da análise da coerência da banda beta

Na análise da banda beta, houve diferença estatisticamente significativa entre áreas, com diferença de 85 % entre as áreas.

[$F= (22,1000) = 96,292$; $p > 0,001$; $n^2p = 0,85$; poder = 100%].



*Diferença significativa.

Fig. 5. Efeito principal entre área.

Com base no gráfico percebe-se que a variação da atividade cortical mediante a carga cognitiva em função das condições específicas do estudo, a área que tem maior ativação mediante aos protocolos de intervenção é a região correspondente ao córtex occipital (córtex visual primário).

4. Discussão

O objetivo deste estudo foi esclarecer como as bases neurais se relacionam com o tipo de tarefas cognitivas de IM e FNP em indivíduos utilizando a análise eletroencefalográfica. Foi encontrada diferença somente entre áreas na análise da banda alfa, demonstrando que a tarefa demanda a atenção para o desempenho do comando motor e imagético, direcionando maior expressão na região frontal, sendo hipoteticamente justificado por a conectividade entre áreas e o uso da memória de trabalho na execução da tarefa empregada. Essa conectividade tem sido empregada para investigar os mecanismos de recuperação em doenças neurológicas e avaliar o efeito de intervenções específicas de reabilitação (Gentili et al., 2015).

Hanakawa (2016) apresentou o que a conectividade cortical e a memória como fonte de armazenamento de informações, seria uma ferramenta funcional com a técnica IM. No

auxílio da interpretação de resultados durante a análise de imagens motoras, sugerindo estratégias para futuras pesquisas, o autor propôs classificar em tipos e subtipos as informações sobre imagens mentais com base em quatro fatores: controle motor, motoras explícitas ou implícitas, modalidade sensorial e ação.

No controle motor foi observado que a habilidade de construir uma imagem motora e torná-la ação, necessita de primeiramente de mecanismos de planejamento no controle neural para posterior execução desse movimento. Os fatores estão restringidos aos estágios de planejamento, preparação e execução do controle motor (Hanakawa, 2016). Na fase de planejamento de tarefas motoras são fornecidas apenas informações parciais para calcular o comando motor. Podemos assim correlacionar nos resultados encontrados nos eletrodos F3/F4 da banda alfa na pesquisa, onde ocorre o planejamento e gerenciamento dessas informações parciais para o posterior comando motor. Sugere-se assim que possuía maior modulação de atividade em função das intervenções.

Já na região dos eletrodos F3/F4 da banda beta, por se tratar de também de uma área de integração sensorial, apresentou pouca variação, já que essa região gerencia e distribui as informações, subtendendo-se que apresenta assim, menor influência em relação às intervenções, se capacitando para esta função e não na execução de ações motoras. No caso, de todo recrutamento muscular e cognitivo, tanto IM como FNP apresentam na fase de preparação do movimento, na região frontal alfa se destaca e beta reprime, aguardando assim a informação motora concluída e aguardando apenas pela a ativação da ação (Abe e Nakayama, 2008). Em processos que envolvem a tarefas de simulação mental de movimentos, encontram-se associados frequentemente a uma redução da potência da banda beta em regiões sensoriais motoras (Brinkman et al., 2014).

Ressalta-se que cada uma destes potenciais que apresentaram manifestações no resultado do estudo, corresponde a áreas específicas do cérebro, onde ressalta nessa fase de recrutamento motor os potenciais relacionados aos eletrodos que estão responsáveis pelos movimentos dos membros superiores referentes ao movimento das mãos, os quais correspondem às posições C3 e C4 no sistema 10/20. O controle motor guiado de forma sensorial começa comumente partindo de um plano motor abstrato (planejamento), acompanhado pela formação de um plano prontamente executável no processo de mapeamento muscular (preparação) e como resultado o movimento físico que acompanham a atividade muscular (execução) (Guillot et al., 2012; Raffin et al., 2012).

Ademais em relação à consciência e formação de uma imagem motora, Hanakawa (2016) relata a correlação da consciência na participação de uma imagem motora, que pode ser gerada intencionalmente como imagens motoras explícitas ou não intencionais (imagens motoras implícitas), sendo estudadas como parte de um processo sensório-motorizado. Com o intuito de proteger o conteúdo armazenado na MT, o córtex pré-frontal gerencia o controle *top-down*, cuja função é suprimir informações somatossensoriais irrelevantes para a tarefa de IM (Savolainen et al., 2011).

Nossos resultados corroborando com os achados de estudos sobre a região parietal da banda beta destaca-se um fato relevante descrito por Hanakawa (2008), onde foi identificando uma atividade cerebral relacionada à imagética motora nos córtex pré-motor e córtex parietal, sugerindo um mecanismo neural compartilhado entre as imagens motoras implícitas e explícitas na fase de planejamento no controle motor. Um achado similar posteriormente foi descrito em uma pesquisa, durante uma atividade e posterior comparação de imagens implícitas e explícitas durante a execução de imagética motora no movimento de rotação das mãos, usando mapeamento destas áreas como análise de frequência de sinais de eletroencefalográficos (Osuagwu e Vuckovic, 2014).

No aspecto sensorial existem tipos de experiências sensoriais que podem ser vinculadas com imagens motoras: cinestésica e visual (Rizzolatti e Sinigaglia, 2010), sendo o aspecto visual o foco principal relacionado aos nossos resultados na região occipital (O1 e O2). Os autores referem a partir de achados sobre a percepção sensorial, que um estímulo induz a ativação das reproduções motoras, fazendo uma análise da informação visual e sobrepondo-se com a imagem da execução do movimento durante a observação do mesmo, trabalhando como neurônios espelhos, relacionado com o processamento motor (Thompson e Catmur, 2017). Saygin et al. (2009) e Vigneswaram et al. (2013) evidenciam que os sistemas neurônios espelhos podem desempenhar um papel importante na imagética motora por meio da supressão do movimento.

A IM recruta a informação de experiências sensoriais estreitamente associadas ao movimento, destacando-se por suas atividades cerebrais na excitabilidade córtico-motor durante a execução (Guillot et al., 2009). Deste modo, estudos sobre a IM têm sido direcionados a atender todos os tipos sensoriais que podem estar vinculados com o movimento e focar como um ponto relevante para futuras investigações (Stinear et al., 2006). Em relação à ação motora, a imagética divide-se em duas classificações segundo o estudo de Hanakawa (2016): Uma perspectiva de primeira pessoa, onde o ser humano imagina-se

executando uma determinada ação, e a outra perspectiva onde o sujeito imagina uma terceira pessoa desempenhando a mesma ação.

Hanakawa (2016) sugeriu que embora as pesquisas recentes de imagens motoras foquem na perspectiva de primeira pessoa, o contexto da neurociência da imagética motora centraliza-se na perspectiva de terceira pessoa. Essa diferenciação de perspectivas tem sido utilizada em imagens motoras de tipo visual, mas o conceito pode ser de acordo com a teoria, estendido a outras modalidades, como por exemplo, auditivas (Devries e Mulder, 2007; Humphries et al., 2016).

Ao usar o termo auto projeção ou perspectiva, é recrutado uma mudança de percepção do ambiente para uma realidade alternativa, um lugar futuro imaginado referenciado a si mesmo e compartilhando processos similares com outros atos cognitivos na construção mental como em uma simulação (Buckner e Carroll, 2007).

4.1 Limitações do estudo

Neste estudo não houve registro de marcação nas épocas, limitando o a análise da neurodinâmica cortical durante a realização das tarefas, impossibilitando assim a correlação de momentos de sincronizações ou dessincronizações das bandas eletroencefalográficas que abrangem tarefas cognitivas e motoras. Além disso, sugerem-se para futuros estudos a avaliação eletromiográfica, tendo assim uma visão mais abrangente da ativação neuromuscular durante o movimento e se esta também é recrutada durante a tarefa cognitiva.

5. Conclusão

O objetivo deste estudo foi esclarecer como as bases neurais se relacionam com o tipo de tarefas cognitivas de IM e FNP em indivíduos utilizando a análise eletroencefalográfica. Encontramos diferença significativa somente entre as áreas nas bandas alfa e beta, refletindo uma maior exigência cognitiva da memória de trabalho na execução de tarefas cognitivas e motoras, embora as duas tarefas não apresentassem diferenças significativas entre elas, onde tanto a banda alfa quanto a banda beta se mantiveram elevadas em ambas as tarefas, apresentando somente a diferenciação entre as áreas.

Concluimos descrevendo informações relevantes sobre o desempenho cognitivo e suas correlações com coerência de alfa e beta, bem como com a percepção de esforço mental na ativação de áreas visuais (imagética visual e memória de trabalho) para a execução de

diferentes tarefas motoras e cognitivas. Espera-se assim que essas informações contribuam para a compreensão da função do córtex pré-frontal e região occipital em tarefas relacionadas ou não ao ato motor, norteadas pela literatura sobre os reais significados das áreas relacionadas em tarefas cognitivas e motoras.

6. Conflito de interesse: Nenhum.

7. Aprovação ética e consentimento para participação

Todos os procedimentos experimentais foram realizados de acordo com os protocolos e os regulamentos éticos estabelecidos pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Piauí (nº 1.610.197) e de acordo com os padrões éticos estabelecidos na Declaração de Helsinque de 1964.

8. Contribuição dos Autores

Concebeu e desenhou o experimento: ACMF, MN, VC, FJ, ST e VH. Realizou os experimentos: ACMF, MN, SBN, DM, VC e MG. Analisou os dados: ACMF, MN, VT, FM e ST. Escreveu o artigo: ACMF, BV, PR, MO, PR, VC, DM, MN, RS, ST, FJ e VB. Encabeçou a análise comportamental e eletrofisiológica: ACMF, MN, FM, VM e ST.

Referências bibliográficas do artigo

1. ANDERSON, KL; DING, M. Attentional modulation of the somatosensory mu rhythm. **Neuroscience**, 180, 165-80, 2011.
2. ANGHINAH, R; BASILE, LI; SCHMIDT, MT; SAMESHIMA, K; GATTAZ, WF. Artefatos biológicos no EEG quantitativo. **Arq Neuropsiquiatr**, 64 (2-A), 264-268, 2006.
3. BARWICK, F; ARNETT, P; SLOBOUNOV, S. EEG correlates of fatigue during administration of a neuropsychological test battery. **Clinical Neurophysiology**, 123, 278–284, 2012.
4. BARWICK, F; ARNETT, P; SLOBOUNOV, S. EEG correlates of fatigue during administration of a neuropsychological test battery. **Clinical Neurophysiology**, 123, 278–284, 2012.
5. BASTOS, V.H; CUNHA, M.; VEIGA, H.; MCDOWELL, K.; POMPEU, F.; CAGY, M.; PIEDADE, R.; RIBEIRO P.. Análise da distribuição de potência cortical em função do aprendizado da datilografia. **Rev.Bras Med Esporte**, 10, 500-504, 2004.
6. BINDER, S; BAIER, PC; MÖLLE, M; INOSTROZA, M; BORN, J; MARSHALL, L. Sleep enhances memory consolidation in the hippocampus-dependent object-place recognition task in rats. **Neurobiology of Learning and Memory**, 97, 213–219, 2012.
7. BOKSEM, MAS; MEIJMAN, TF; LORIST, MM. Effects of mental fatigue on attention: An ERP study. **Cognitive Brain Research**, 25, 107 – 116, 2005.
8. BOKSEM, MAS; MEIJMAN, TF; LORIST, MM. Mental fatigue, motivation and action monitoring. **Biological Psychology**; 72: 123–132.2006.
9. BOKSEM, MAS; TOPS M. Mental fatigue: Costs and benefits. **Brain research reviews**, 59, 125-139, 2008.
10. BRINKMAN, L; STOLK, A; DIJKERMAN, HC; DE LANGE, FP; TONI, I; Distinct Roles for Alpha- and Beta-Band Oscillations during Mental Simulation of Goal-Directed Actions. **J Neurosci**, 34, 14783–14792, 2014.
11. CAO, T; WAN, F; WONG, CM; CRUZ, JN; HU, Y. Objective evaluation of fatigue by EEG spectral analysis in steady-state visual evoked potential-based brain-computer interfaces. **Biomed Eng Online**, 13, 28, 2014.
12. CARVALHO, M.R.; VELASQUES, B.B.; CAGY, M.; MARQUES, J.B.; TEIXEIRA, S.; NARDI, A.E.; PIEDADE, R.; RIBEIRO, P., CAVANAGH, J.F.; FRANK, M.J.. Frontal theta as a mechanism for cognitive control. **Trends Cogn Sci**, 18, 414–421, 2014.

13. CAVANAGH, JF; FRANK, MJ. Frontal theta as a mechanism for cognitive control. **Trends Cogn Sci**, 18, 414-421, 2015.
14. CEBOLLA, A.M.; PETIEAU, M.; CEVALLOS, C.; LEROY, A.; DAN, B.; CHERON, G. Long-Lasting Cortical Reorganization as the Result of Motor Imagery of Throwing a Ball in a Virtual Tennis Court. **Frontiers in Psychology**, 6, 1869, 2014.
15. CORBET, .T; ITURRATE I.; PEREIRA, M.; PERDIKIS, S.; MILLÁN, J.D.R. Sensory threshold neuromuscular electrical stimulation fosters motor imagery performance. **Neuroimage**, 21 de Abril de 2018.
16. COULL, JT; FRITH, CD; FRACKWIAK, RSJ; GRASBY, PM. A fronto-parietal network for rapid visual information processing: a PET study of sustained attention and working memory. **Neuropsychologia**, 34, 1085-1095, 1996.
17. DECETY, J. The neurophysiological basis of motor imagery. **Behavioural Brain Research**, 77, 45-52, 1996.
18. DECETY, J; JEANNEROD, M. Mentally simulated movements in virtual reality does Fitts's law hold in motor imagery? **Behavioural Brain Research**, 72, 127-134, 1995.
19. DI PELLEGRINO, G., FADIGA, L., FOGASSI, L., GALLESE, V; RIZZOLATTI, G. Understanding motor events: A neurophysiological study. **Experimental Brain Research**, (1992) 91(1), 176–180.
20. DORIS D. W.; CORALIE, H.; SVJETLANA M.; JILL, L. O.; NICHOLAS, B. G.; MARTA, S. L.; PHILIP, A. S. Pallidal Deep-Brain Stimulation Disrupts Pallidal Beta Oscillations and Coherence with Primary Motor Cortex in Parkinson's Disease. **Journal of Neuroscience**, Vol. 38, No. 19. (09 May 2018), pp. 4556-4568.
21. CARVALHO, M.R; VELASQUES, B.B.; CAGY, M.; MARQUES, J.B.; TEIXEIRA, S.; NARDI, A.E.; PIEDADE, R.; RIBEIRO, P. Electroencephalographic findings in panic disorder. **Trends psychiatry psychother, Trends Psychiatry Psychother**, 35, 238-51, 2013.
22. EMAMI, ZAHRA; CHAU, TOM. Investigating the Effects of Visual Distractors on the Performance of a Motor. **Clinical Neurophysiology** Aceito em: 11 Março de 2018.
23. GENTILI, R; HAN, CE; SCHWEIGHOFER, N; PAPAXANTHIS, C. Motor learning without doing: trial-by-trial improvement in motor performance during mental training, **J. Neurophysiol**, 104, 774–783, 2010.
24. GENTILI, RJ; PAPAXANTHIS, C. Laterality effects in motor learning by mental practice in right-handers. **Neuroscience**, 297, 231-242, 2015.
25. GENTILI, R.R.J.; KYLE, Jaquess J. ; SHUGGI, Isabelle M.; SHAW, Emma P.; O.H. Hyuk ; L.O., Li-Chuan; TAN, Ying Ying; DOMINGUES, Clayton A.; BLANCO, Justin A.; RIETSCHER, Jeremy C.; MILLER, Matthew W.; HATFIELD, Bradley

- D.; GERGELYFI, M; JACOB, B; OLIVIER, E; ZÉNON, A. Dissociation between mental fatigue and motivational state during prolonged mental activity. **Front Behav Neurosci**, 9, 176, 2015.
26. HANAKAWA, T. Organizing motor imageries. **Neuroscience Research**, 104, 56–63, 2015.
 27. HILTIA, CC; HILTIA, LM; HEINEMANN, D; ROBBINS, T; SEIFRITZ, E; CATTAPAN-LUDEWIGA, K. Impaired performance on the Rapid Visual Information Processing task (RVIP) could be an endophenotype of schizophrenia. **Psychiatry Research**, 177, 60-64, 2010.
 28. HOPSTAKEN, JF; VAN DER LINDEN, D; BAKKER, AB; KOMPIER, MA; LEUNG, YK. Shifts in attention during mental fatigue: Evidence from subjective, behavioral, physiological, and eye-tracking data. **J Exp Psychol Hum Percept Perform**, 42, 878-89, 2016.
 29. HSIEH, LT; RANGANATH, C. Frontal Midline Theta Oscillations during Working Memory Maintenance and Episodic Encoding and Retrieval. **Neuroimage**, 85, doi 10.1016, 2014.
 30. HWANGBO, PIL NEO, KIM, KYOUNG DON. Effects of proprioceptive neuromuscular facilitation neck pattern exercise on the ability to control the trunk and maintain balance in chronic stroke patients. **J. Phys. Ther. Sci.** 28: 850–853, 2016.
 31. IACOBONI, M., & DAPRETTO, M. The mirror neuron system and the consequences of its dysfunction. **Nature Reviews Neuroscience**, (2006). 7(12), 942–951. PubMed doi:10.1038/nrn2024
 32. INUSO, G; FORESTA, F; MAMMONE, N; MORABITO, FC. Brain Activity Investigation by EEG Processing: Wavelet Analysis, Kurtosis and Renyi's Entropy for Artifact Detection. **Proceedings of the 2007 International Conference on Information Acquisition**, 2007.
 33. ISHII, A; TARAKA, M; WATANABE, Y. Neural mechanisms of mental fatigue. **Rev. Neurosci**, 25, 469–47, 2014.
 34. JEANNEROD, M. Mental imagery in the motor context. **Neuropsychologia**, 33, 1419-1432, 1995.
 35. KIROV, VN; WARSAWSKAYA, LV; VOYNOV, VB. EEG after prolonged mental activity. **Int J Neurosci**, 85, 31-43, 1996.
 36. KLEM, GH; LUÈDERS, HO; JASPER, HH; ELGER, C. The ten-twenty electrode system of the International Federation. The International Federation of Clinical Neurophysiology. **Electroencephalogr Clin Neurophysiol Suppl**, 52, 3-6, 1999.
 37. KLIMESCH, W. Memory processes, brain oscillations and EEG synchronization. **International Journal of Psychophysiology**, 24, 61-100, 1996.

38. KLIMESCH, W; SAUSENG, P; HANSLMAYR, S. EEG alpha oscillations: The inhibition–timing hypothesis. **Brain Research Reviews**, 53, 63–88, 2006.
39. LIANG, S; CHOI, K.S; QIN, J; PANG, W.M; WANG, Q.; HENG, P.A. Improving the discrimination of hand motor imagery via virtual reality based visual guidance, **Comput. Methods Programs Biomed.** 132 (2016) 63–74.
40. LIZIO, R.; VECCHIO, F.; FRISONI, G.B.; FERRI, R.; RODRIGUEZ, G.; BABILONI, C. Electroencephalographic rhythms in Alzheimer's disease. **Int J Alzheimers Dis.** 927573, 2011.
41. LLANOS, C; RODRIGUEZ, M; RODRIGUEZ-SABATE, C; MORALES, I; SABATE, M. Um-rhythm changes during the planning of motor and motor imagery actions. **Neuropsychologia**, 51, 1019-1026, 2013.
42. LUO, U; SAJDA, P. Comparing Neural Correlates of Visual Target Detection in Serial Visual Presentations Having Different Temporal Correlations. **Front Hum Neurosci**, 3, 1-11, 2009.
43. LUSTIG, C.; MECK, W.H. Modality differences in timing and temporal memory throughout the lifespan. **Brain Cogn.** 77(2):298-303, 2011.
44. MACHADO, DCD; LIMA, GC; SANTOS, RS; RAMOS, AJB; SOUSA, CCM; SANTOS, RPM; COELHO, KKO; CAGY, M; ORSINI, M; BASTOS, VH. Comparative analysis eletroencephalographic of alpha, beta and gamma bands of a healthy individual and one with hemiparesis. **J Phys Ther Sci**, 26, 801-4,v 2014.
45. MALMIVUO, J.; PLONSEY, R. Bioelectromagnetism: Principles and Aplications of Bioelectric and Biomagnetic Fields. 1. ed. **New York: Oxford University Press**, 1995- ISBN-10: 0195058232 ISBN-13: 978-0195058239.
46. MARCORA, SM; STAIANO, W; MANNING, V. Mental fatigue impairs physical performance in humans. **J Appl Physiol**, 106, 857–864, 2009.
47. MARVIN, M; CHUN, MM; POTTER, MC. A Two-Stage Model for Multiple Target Detection in Rapid Serial Visual Presentation. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, 21, 109-127, 1995.
48. MEIROVITCH, Y; HARRIS, H; DAYAN, E; ARIELI, A; FLASH, T. Alpha and beta band event-related desynchronization reflects kinematic regularities. **J Neurosci**, 35,1627-37, 2015.
49. MELTZER, JA; NEGISHI, M; MAYES, LC; CONSTABLE, RT. Individual differences in EEG theta and alpha dynamics during working memory correlate with fMRI responses across subjects. **Clin Neurophysiol**, 118, 2419–2436, 2007.
50. MELTZOFF, A.N., & MOORE, M.K. Imitation of facial and manual gestures by human neonates. **Science**, (1977). 198(4312), 75–78. PubMed.

51. MICHELS, L; BUCHER, K; LÜCHINGER, R; KLAVER, P; MARTIN, E. Simultaneous EEG-fMRI during a working memory task: modulations in low and high frequency bands. **PLoS ONE**, 7, e39447, 2010.
52. MIZUNO, JUMPEI; KAWAMURA, MASASHI; HOSHIYAMA, MINORU. Brain Activity on Observation of Another Person's Action: A Magnetoencephalographic Study. **Motor Control**, Human Kinetics, 2018.
53. MUNZERT J, LOREY B, ZENTGRAF K. Cognitive motor processes: the role of motor imagery in the study of motor representations. **Brain Res Rev** 2009; 60(2): 306-26.
54. NEALE, C; JOHNSTON, P; HUGHES, M; SCHOLEY, A. Functional Activation during the Rapid Visual Information Processing Task in a Middle Aged Cohort: An fMRI Study. **PLoS One**, 10(10), e0138994, 2015.
55. NEUPER, C., PFURTSCHELLER, G. Event-related dynamics of cortical rhythms: Frequency-specific features and functional correlates, **Int. J. Psychophysiol.** 2001 (41–58).
56. PAGEAUX, B; MARCORA, SM; LEPERS, R. Prolonged mental exertion does not alter neuromuscular function of the knee extensors. **Med. Sci. Sports Exerc.** 2013.
57. PANTEV, C., ENGELIEN, A., CANDIA, V., & ELBERT, T. 'Representational cortex in musicians'. In I. Peretz, & R. Zatorre (Eds.), Oxford University Press. **The Cognitive Neuroscience of Music**, 2003,pp. 382-395.
58. PASCUAL-LEONE A, AMEDI A, FREGNI F, MERABET LB. The plastic human brain cortex. **Annu Rev Neurosci** (2005) 28:377–401.
59. PERRUCHOUD, D., FIORIO, M., CESARI, P., & IONTA, S. Beyond variability: Subjective timing and the neurophysiology of motor cognition. **Brain Stimulation: Basic, Translational, and Clinical Research in Neuromodulation**, (2018). 11(1), 175-180.
60. PFURTSCHELLER, G.. Induced oscillations in the alpha band: Functional meaning, **Epilepsia** 44s12 (2003) 2–8.
61. ROZAND, V; LEBONA, F; STAPLEYC, PJ; PAPAXANTHISA, C; LEPERSA, R. A prolonged motor imagery session alter imagined and actual movement durations: Potential implications for neurorehabilitation. **Behavioural Brain Research**, 297, 67–75, 2016.
62. RUSHWORTH, MF; BEHRENS, TE. Choice, uncertainty and value in prefrontal and cingulate cortex. **Nat Neurosci**, 11, 389-97, 2008.
63. SABATE, M; LLANOSA, C; ENRIQUEZA, E; RODRIGUEZ, M. Mu rhythm, visual processing and motor control. **Clinical Neurophysiology**, 123, 550-557, 2012.

64. SCHEERINGA, R.; PETERSSON, K.M.; OOSTENVELD, R.; NORRIS, D.G.; HAGOORT, P.; BASTIAANSEN, M.C.M.. Trial-by-trial coupling between EEG and BOLD identifies networks related to alpha and theta EEG power increases during working memory maintenance. **Neuroimage**, 2009, 44, 224–1238.
65. SEO, K. C.; KIM, H. A. The effects of ramp gait exercise with PNF on stroke patients dynamic balance. **Journal Physical Therapy Science**. 2015. 27, No. 6.
66. SULLIVAN PE, PORTNEY LG. Electromyographic activity of shoulder muscles during unilateral upper extremity proprioceptive neuromuscular facilitation patterns. **Phys Ther**. 1980; 60(3):283-8.
67. TANAKA, M; ISHII, A; WATANABE, I. Neural Mechanism of Facilitation System during Physical Fatigue. **PLoS One**, 2013.
68. TANAKA, M; SHIGIHARA, Y; ISHII, A; FUNAKURA, M; KANAI, E; WATANABE, Y. Effect of mental fatigue on the central nervous system: an electroencephalography study. **Behav Brain Funct**, 2012.
69. TANAKA, M; WATANABE, Y. Neural compensation mechanisms to regulation motor output during physical fatigue. **Brain Research**, 1395, 46-52, 2011.
70. TANAKA, M; WATANABE, Y. Supraspinal regulation of physical fatigue. **Neuroscience and biobehavioral reviews**, 36, 727-734, 2012.
71. THOMPSON, E. L.; CATMUR, C.. Considering context and variability when observing other minds: Comment on “Seeing mental states: An experimental strategy for measuring the observability of other minds” by Cristina Becchio et al. **Physics of Life Reviews**. 2017- Volume 24, Pages 91-93.
72. UHLHAAS P.J. et al. Neural synchrony in cortical networks: history, concept and current status. **Front Integr Neurosci**. Jul 30; 3:17, 2009.
73. VOYTEK B.; KNIGHT, R.T. Dynamic network communication as a unifying neural basis for cognition, development, aging, and disease. **Biol Psychiatry** (2015) 77:1089-1097.
74. WANG JS, LEE SB, MOON SH, The immediate effect of PNF pattern on muscle tone and muscle stiffness in chronic stroke patient, **J Phys Ther Sci**, 2016.
75. WASCHER, E; RASCHB, B; SÄNGERC, J; HOFFMANN, S; SCHNEIDERA, D; RINKENAUERA, G; HEUERA, H; GUTBERLETD, I. Frontal theta activity reflects distinct aspects of mental fatigue. **Biological Psychology**, 2014. 96, 57– 65.
76. WULF, G., SHEA, C., & LEWTHWAITE, R. Motor skill learning and performance: A review of influential factors. **Medical Education**, (2010), 44(1), 75–84. PubMed
77. YANG, H; GUAN, C; WANG, CC; ANG, KK. Detection of motor imagery of brisk walking from electroencephalogram. **Journal of Neuroscience Methods**, 244, 33–44, 2015.

78. YI, W.; QIU, S.; QI, H.; ZHANG, L.; WAN, B.; MING, D. EEG feature comparison and classification of simple and compound limb motor imagery, *J. Neuroeng. Rehabil.* 10 (2013) 06.
79. YI, W.; QIU, S.; WANG, K.; QI, H.; ZHANG, L.; ZHOU, P.; HE, F.; MING, D. Evaluation of EEG Oscillatory Patterns and Cognitive Process during Simple and Compound Limb Motor Imagery. *PLoS One*, 9: e114853, 2014.
80. YU, V.; BUSHOVA, M.; SVETLIK, V. Phase interactions between EEG rhythms during short time interval perception. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Biologiya*, No. 2, pp. 8–12, 2015.
81. ZHAO, C; ZHAO, M; YANG, Y; GAO, J; RAO, N; LIN, P. The Reorganization of Human Brain Networks Modulated by Driving Mental Fatigue. *IEEE J Biomed Health Inform* 2016.

Referências bibliográficas da dissertação

1. ANDERSON, KL; DING, M. Attentional modulation of the somatosensory mu rhythm. **Neuroscience**, 180, 165-80, 2011.
2. ANGHINAH, R; BASILE, LI; SCHMIDT, MT; SAMESHIMA, K; GATTAZ, WF. Artefatos biológicos no EEG quantitativo. **Arq Neuropsiquiatr**, 64 (2-A), 264-268, 2006.
3. BARWICK, F; ARNETT, P; SLOBOUNOV, S. EEG correlates of fatigue during administration of a neuropsychological test battery. **Clinical Neurophysiology**, 123, 278–284, 2012.
4. BARWICK, F; ARNETT, P; SLOBOUNOV, S. EEG correlates of fatigue during administration of a neuropsychological test battery. **Clinical Neurophysiology**, 123, 278–284, 2012.
5. BASTOS, V.H.; CUNHA, M.; VEIGA, H.; MCDOWELL, K.; POMPEU, F.; CAGY, M.; PIEDADE, R.; RIBEIRO P.. Análise da distribuição de potência cortical em função do aprendizado da datilografia. **Rev.Bras Med Esporte**, 10, 500-504, 2004.
6. BINDER, S; BAIER, PC; MÖLLE, M; INOSTROZA, M; BORN, J; MARSHALL, L. Sleep enhances memory consolidation in the hippocampus-dependent object-place recognition task in rats. **Neurobiology of Learning and Memory**, 97, 213–219, 2012.
7. BOKSEM, MAS; MEIJMAN, TF; LORIST, MM. Effects of mental fatigue on attention: An ERP study. **Cognitive Brain Research**, 25, 107 – 116, 2005.
8. BOKSEM, MAS; MEIJMAN, TF; LORIST, MM. Mental fatigue, motivation and action monitoring. **Biological Psychology**; 72: 123–132.2006.
9. BOKSEM, MAS; TOPS M. Mental fatigue: Costs and benefits. **Brain research reviews**, 59, 125-139, 2008.
10. BRINKMAN, L; STOLK, A; DIJKERMAN, HC; DE LANGE, FP; TONI, I; Distinct Roles for Alpha- and Beta-Band Oscillations during Mental Simulation of Goal-Directed Actions. **J Neurosci**, 34, 14783–14792, 2014.
11. CAO, T; WAN, F; WONG, CM; CRUZ, JN; HU, Y. Objective evaluation of fatigue by EEG spectral analysis in steady-state visual evoked potential-based brain-computer interfaces. **Biomed Eng Online**, 13, 28, 2014.
12. CARVALHO, MR; VELASQUES, BB; CAGY, M; MARQUES, JB; TEIXEIRA, S; NARDI, AE; PIEDADE, R; RIBEIRO, P.
13. CAVANAGH, JF; FRANK, MJ. Frontal theta as a mechanism for cognitive control. **Trends Cogn Sci**, 18, 414–421, 2014.

14. CAVANAGH, JF; FRANK, MJ. Frontal theta as a mechanism for cognitive control. **Trends Cogn Sci**, 18, 414-421, 2015.
15. CEBOLLA, A.M.; PETIEAU, M.; CEVALLOS, C.; LEROY, A.; DAN, B.; CHERON, G. Long-Lasting Cortical Reorganization as the Result of Motor Imagery of Throwing a Ball in a Virtual Tennis Court. **Frontiers in Psychology**, 6, 1869, 2014.
16. CORBET, .T; ITURRATE I.; PEREIRA, M.; PERDIKIS, S.; MILLÁN, J.D.R. Sensory threshold neuromuscular electrical stimulation fosters motor imagery performance. **Neuroimage**, 21 de Abril de 2018.
17. COULL, JT; FRITH, CD; FRACKWIAK, RSJ; GRASBY, PM. A fronto-parietal network for rapid visual information processing: a PET study of sustained attention and working memory. **Neuropsychologia**, 34, 1085-1095, 1996.
18. DECETY, J. The neurophysiological basis of motor imagery. **Behavioural Brain Research**, 77, 45-52, 1996.
19. DECETY, J; JEANNEROD, M. Mentally simulated movements in virtual reality does Fitts's law hold in motor imagery? **Behavioural Brain Research**, 72, 127-134, 1995.
20. DI PELLEGRINO, G., FADIGA, L., FOGASSI, L., GALLESE, V; RIZZOLATTI, G. Understanding motor events: A neurophysiological study. **Experimental Brain Research**, (1992) 91(1), 176–180.
21. DORIS D. W.; CORALIE, H.; SVJETLANA M.; JILL, L. O.; NICHOLAS, B. G.; MARTA, S. L.; PHILIP, A. S. Pallidal Deep-Brain Stimulation Disrupts Pallidal Beta Oscillations and Coherence with Primary Motor Cortex in Parkinson's Disease. **Journal of Neuroscience**, Vol. 38, No. 19. (09 May 2018), pp. 4556-4568, doi:10.1523/jneurosci.0431-18.2018
22. CARVALHO, M.R; VELASQUES, B.B.; CAGY, M.; MARQUES, J.B.; TEIXEIRA, S.; NARDI, A.E.; PIEDADE, R.; RIBEIRO, P. Electroencephalographic findings in panic disorder. **Trends psychiatry psychother, Trends Psychiatry Psychother**, 35, 238-51, 2013.
23. EMAMI, ZAHRA; CHAU, TOM. Investigating the Effects of Visual Distractors on the Performance of a Motor. **Clinical Neurophysiology** Aceito em: 11 Março de 2018.
24. GENTILI, R; HAN, CE; SCHWEIGHOFER, N; PAPAXANTHIS, C. Motor learning without doing: trial-by-trial improvement in motor performance during mental training, **J. Neurophysiol**, 104, 774–783, 2010.
25. GENTILI, RJ; PAPAXANTHIS, C. Laterality effects in motor learning by mental practice in right-handers. **Neuroscience**, 297, 231-242, 2015.
26. GENTILI, R.R.J.; KYLE, Jaquess J. ; SHUGGI, Isabelle M.; SHAW, Emma P.; O.H. Hyuk ; L.O, Li-Chuan; T.A.N., Ying Ying; DOMINGUES, Clayton A.; BLANCO,

- Justin A.; RIETSCHER, Jeremy C.; MILLER, Matthew W.; HATFIELD, Bradley D.; GERGELYFI, M; JACOB, B; OLIVIER, E; ZÉNON, A. Dissociation between mental fatigue and motivational state during prolonged mental activity. **Front Behav Neurosci**, 9, 176, 2015.
27. HANAKAWA, T. Organizing motor imageries. **Neuroscience Research**, 104, 56–63, 2015.
28. HILTIA, CC; HILTIA, LM; HEINEMANN, D; ROBBINS, T; SEIFRITZ, E; CATTAPAN-LUDEWIGA, K. Impaired performance on the Rapid Visual Information Processing task (RVIP) could be an endophenotype of schizophrenia. **Psychiatry Research**, 177, 60-64, 2010.
29. HOPSTAKEN, JF; VAN DER LINDEN, D; BAKKER, AB; KOMPIER, MA; LEUNG, YK. Shifts in attention during mental fatigue: Evidence from subjective, behavioral, physiological, and eye-tracking data. **J Exp Psychol Hum Percept Perform**, 42, 878-89, 2016.
30. HSIEH, LT; RANGANATH, C. Frontal Midline Theta Oscillations during Working Memory Maintenance and Episodic Encoding and Retrieval. **Neuroimage**, 85, doi 10.1016, 2014.
31. HWANGBO, PIL NEO, KIM, KYOUNG DON. Effects of proprioceptive neuromuscular facilitation neck pattern exercise on the ability to control the trunk and maintain balance in chronic stroke patients. **J. Phys. Ther. Sci.** 28: 850–853, 2016.
32. IACOBONI, M., & DAPRETTO, M. The mirror neuron system and the consequences of its dysfunction. **Nature Reviews Neuroscience**, (2006). 7(12), 942–951. PubMed doi:10.1038/nrn2024
33. INUSO, G; FORESTA, F; MAMMONE, N; MORABITO, FC. Brain Activity Investigation by EEG Processing: Wavelet Analysis, Kurtosis and Renyi's Entropy for Artifact Detection. **Proceedings of the 2007 International Conference on Information Acquisition**, 2007.
34. ISHII, A; TARAHA, M; WATANABE, Y. Neural mechanisms of mental fatigue. **Rev. Neurosci**, 25, 469–47, 2014.
35. JEANNEROD, M. Mental imagery in the motor context. **Neuropsychologia**, 33, 1419-1432, 1995.
36. KIROV, VN; WARSAWSKAYA, LV; VOYNOV, VB. EEG after prolonged mental activity. **Int J Neurosci**, 85, 31-43, 1996.
37. KLEM, GH; LUÈDERS, HO; JASPER, HH; ELGER, C. The ten-twenty electrode system of the International Federation. The International Federation of Clinical Neurophysiology. **Electroencephalogr Clin Neurophysiol Suppl**, 52, 3-6, 1999.
38. KLIMESCH, W. Memory processes, brain oscillations and EEG synchronization. **International Journal of Psychophysiology**, 24, 61-100, 1996.

39. KLIMESCH, W; SAUSENG, P; HANSLMAYR, S. EEG alpha oscillations: The inhibition–timing hypothesis. **Brain Research Reviews**, 53, 63–88, 2006.
40. LIANG, S; CHOI, K.S; QIN, J; PANG, W.M; WANG, Q.; HENG, P.A. Improving the discrimination of hand motor imagery via virtual reality based visual guidance, **Comput. Methods Programs Biomed.** 132 (2016) 63–74.
41. LIZIO, R.; VECCHIO, F.; FRISONI, G.B.; FERRI, R.; RODRIGUEZ, G.; BABILONI, C. Electroencephalographic rhythms in Alzheimer's disease. **Int J Alzheimers Dis.** 927573, 2011.
42. LLANOS, C; RODRIGUEZ, M; RODRIGUEZ-SABATE, C; MORALES, I; SABATE, M. Um-rhythm changes during the planning of motor and motor imagery actions. **Neuropsychologia**, 51, 1019-1026, 2013.
43. LUO, U; SAJDA, P. Comparing Neural Correlates of Visual Target Detection in Serial Visual Presentations Having Different Temporal Correlations. **Front Hum Neurosci**, 3, 1-11, 2009.
44. LUSTIG, C.; MECK, W.H. Modality differences in timing and temporal memory throughout the lifespan. *Brain Cogn.* 77(2):298-303, 2011.
45. MACHADO, DCD; LIMA, GC; SANTOS, RS; RAMOS, AJB; SOUSA, CCM; SANTOS, RPM; COELHO, KKO; CAGY, M; ORSINI, M; BASTOS, VH. Comparative analysis eletroencephalographic of alpha, beta and gamma bands of a healthy individual and one with hemiparesis. **J Phys Ther Sci**, 26, 801-4,v 2014.
46. MALMIVUO, J.; PLONSEY, R. Bioelectromagnetism: Principles and Aplications of Bioelectric and Biomagnetic Fields. 1. ed. **New York: Oxford University Press**, 1995- ISBN-10: 0195058232 ISBN-13: 978-0195058239.
47. MARCORA, SM; STAIANO, W; MANNING, V. Mental fatigue impairs physical performance in humans. **J Appl Physiol**, 106, 857–864, 2009.
48. MARVIN, M; CHUN, MM; POTTER, MC. A Two-Stage Model for Multiple Target Detection in Rapid Serial Visual Presentation. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, 21, 109-127, 1995.
49. MEIROVITCH, Y; HARRIS, H; DAYAN, E; ARIELI, A; FLASH, T. Alpha and beta band event-related desynchronization reflects kinematic regularities. **J Neurosci**, 35,1627-37, 2015.
50. MELTZER, JA; NEGISHI, M; MAYES, LC; CONSTABLE, RT. Individual differences in EEG theta and alpha dynamics during working memory correlate with fMRI responses across subjects. **Clin Neurophysiol**, 118, 2419–2436, 2007.
51. MELTZOFF, A.N., & MOORE, M.K. Imitation of facial and manual gestures by human neonates. **Science**, (1977). 198(4312), 75–78. PubMed doi:10.1126/science.198.4312.75

52. MICHELS, L; BUCHER, K; LÜCHINGER, R; KLAVER, P; MARTIN, E. Simultaneous EEG-fMRI during a working memory task: modulations in low and high frequency bands. **PLoS ONE**, 7, e39447, 2010.
53. MIZUNO, JUMPEI; KAWAMURA, MASASHI; HOSHIYAMA, MINORU. Brain Activity on Observation of Another Person's Action: A Magnetoencephalographic Study. **Motor Control**, Human Kinetics, 2018.
54. MUNZERT J, LOREY B, ZENTGRAF K. Cognitive motor processes: the role of motor imagery in the study of motor representations. **Brain Res Rev** 2009; 60(2): 306-26.
55. NEALE, C; JOHNSTON, P; HUGHES, M; SCHOLEY, A. Functional Activation during the Rapid Visual Information Processing Task in a Middle Aged Cohort: An fMRI Study. **PLoS One**, 10(10), e0138994, 2015.
56. NEUPER, C., PFURTSCHELLER, G. Event-related dynamics of cortical rhythms: Frequency-specific features and functional correlates, **Int. J. Psychophysiol.** 2001 (41–58).
57. PAGEAUX, B; MARCORA, SM; LEPERS, R. Prolonged mental exertion does not alter neuromuscular function of the knee extensors. **Med. Sci. Sports Exerc.** 2013.
58. PANTEV, C., ENGELIEN, A., CANDIA, V., & ELBERT, T. 'Representational cortex in musicians'. In I. Peretz, & R. Zatorre (Eds.), Oxford University Press. **The Cognitive Neuroscience of Music**, 2003, pp. 382-395.
59. PASCUAL-LEONE A, AMEDI A, FREGNI F, MERABET LB. The plastic human brain cortex. **Annu Rev Neurosci** (2005) 28:377–401.
60. PERRUCHOUD, D., FIORIO, M., CESARI, P., & IONTA, S. Beyond variability: Subjective timing and the neurophysiology of motor cognition. **Brain Stimulation: Basic, Translational, and Clinical Research in Neuromodulation**, (2018). 11(1), 175-180.
61. PFURTSCHELLER, G.. Induced oscillations in the alpha band: Functional meaning, **Epilepsia** 44s12 (2003) 2–8.
62. ROZAND, V; LEBONA, F; STAPLEYC, PJ; PAPAXANTHISA, C; LEPERSA, R. A prolonged motor imagery session alter imagined and actual movement durations: Potential implications for neurorehabilitation. **Behavioural Brain Research**, 297, 67–75, 2016.
63. RUSHWORTH, MF; BEHRENS, TE. Choice, uncertainty and value in prefrontal and cingulate cortex. **Nat Neurosci**, 11, 389-97, 2008.
64. SABATE, M; LLANOSA, C; ENRIQUEZA, E; RODRIGUEZ, M. Mu rhythm, visual processing and motor control. **Clinical Neurophysiology**, 123, 550-557, 2012.

65. SCHEERINGA, R.; PETERSSON, K.M.; OOSTENVELD, R.; NORRIS, D.G.; HAGOORT, P.; BASTIAANSEN, M.C.M. Trial-by-trial coupling between EEG and BOLD identifies networks related to alpha and theta EEG power increases during working memory maintenance. **Neuroimage**, 2009, 44, 224–1238.
66. SEO, K. C.; KIM, H. A. The effects of ramp gait exercise with PNF on stroke patients dynamic balance. **Journal Physical Therapy Science**. 2015. 27, No. 6.
67. SULLIVAN PE, PORTNEY LG. Electromyographic activity of shoulder muscles during unilateral upper extremity proprioceptive neuromuscular facilitation patterns. **Phys Ther**. 1980; 60(3):283-8.
68. TANAKA, M; ISHII, A; WATANABE, I. Neural Mechanism of Facilitation System during Physical Fatigue. **PLoS One**, 2013.
69. TANAKA, M; SHIGIHARA, Y; ISHII, A; FUNAKURA, M; KANAI, E; WATANABE, Y. Effect of mental fatigue on the central nervous system: an electroencephalography study. **Behav Brain Funct**, 2012.
70. TANAKA, M; WATANABE, Y. Neural compensation mechanisms to regulation motor output during physical fatigue. **Brain Research**, 1395, 46-52, 2011.
71. TANAKA, M; WATANABE, Y. Supraspinal regulation of physical fatigue. **Neuroscience and biobehavioral reviews**, 36, 727-734, 2012.
72. THOMPSON, E. L.; CATMUR, C.. Considering context and variability when observing other minds: Comment on “Seeing mental states: An experimental strategy for measuring the observability of other minds” by Cristina Becchio et al. **Physics of Life Reviews**. 2017- Volume 24, Pages 91-93.
73. UHLHAAS P.J. et al. Neural synchrony in cortical networks: history, concept and current status. **Front Integr Neurosci**. Jul 30; 3:17, 2009.
74. VOYTEK B.; KNIGHT, R.T. Dynamic network communication as a unifying neural basis for cognition, development, aging, and disease. **Biol Psychiatry** (2015) 77:1089-1097.
75. WANG JS, LEE SB, MOON SH, The immediate effect of PNF pattern on muscle tone and muscle stiffness in chronic stroke patient, **J Phys Ther Sci**, 2016.
76. WASCHER, E; RASCHB, B; SÄNGERC, J; HOFFMANNA, S; SCHNEIDERA, D; RINKENAUERA, G; HEUERA, H; GUTBERLETD, I. Frontal theta activity reflects distinct aspects of mental fatigue. **Biological Psychology**, 2014. 96, 57– 65.
77. WULF, G., SHEA, C., & LEWTHWAITE, R. Motor skill learning and performance: A review of influential factors. **Medical Education**, (2010), 44(1), 75–84. PubMed.

78. YANG, H; GUAN, C; WANG, CC; ANG, KK. Detection of motor imagery of brisk walking from electroencephalogram. **Journal of Neuroscience Methods**, 244, 33–44, 2015.
79. YI, W.; QIU, S.; QI, H.; ZHANG, L.; WAN, B.; MING, D. EEG feature comparison and classification of simple and compound limb motor imagery, *J. Neuroeng. Rehabil.* 10 (2013) 06.
80. YI, W; QIU, S; WANG, K; QI, H; ZHANG, L; ZHOU, P; HE, F; MING, D. Evaluation of EEG Oscillatory Patterns and Cognitive Process during Simple and Compound Limb Motor Imagery. **PLoS One**, 9: e114853, 2014.
81. YU, V.; BUSHOVA, M.; SVETLIK, V. Phase interactions between EEG rhythms during short time interval perception. **Vestnik Moskovskogo Universiteta. Biologiya**, No. 2, pp. 8–12, 2015.
82. ZHAO, C; ZHAO, M; YANG, Y; GAO, J; RAO, N; LIN, P. The Reorganization of Human Brain Networks Modulated by Driving Mental Fatigue. **IEEE J Biomed Health Inform** 2016.

ANEXOS

ANEXO I

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Título do estudo: Realizar um ato motor ou imaginar resulta no mesmo acoplamento neural.

Pesquisador responsável: Victor Hugo do Vale Bastos.

Instituição/Departamento: Universidade Federal do Piauí – CMRV/Fisioterapia

Telefone para contato: (86) 9942-0054

Local da coleta de dados: Laboratório de Mapeamento Cerebral e Funcionalidade da Universidade Federal do Piauí – CMRV

Você está sendo convidado a participar de uma pesquisa. Você precisa decidir se quer participar ou não. Por favor, não se apresse em tomar a decisão. Leia atentamente o que se segue e pergunte ao responsável pelo estudo qualquer dúvida que você tiver. Após ser esclarecido sobre as informações a seguir, no caso de aceitar fazer parte do estudo, assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma delas é sua e a outra é do pesquisador responsável. Em caso de recusa você não será penalizado de forma alguma e você tem o direito de retirar o termo de consentimento a qualquer momento.

Neste trabalho serão escolhidos indivíduos com idade entre 18 e 28 anos com o objetivo esclarecer como as bases neurais do esforço mental se relacionam com o tipo de tarefas cognitivas de atenção sustentada utilizando a eletroencefalografia com foco na análise da coerência. O experimento será realizado em três dias consecutivos. O primeiro será para uma familiarização das tarefas e questionários utilizados neste estudo. Os próximos dois dias o participante poderá (1) participar de um protocolo de 30 minutos de atividade motora executando a diagonal de Facilitação Neuromuscular Proprioceptiva com registro eletroencefalográfico 5 minutos antes, durante e 5 minutos após a tarefa ou (2) participar de um protocolo de 30 minutos de Imagética Motora com registro eletroencefalográfico 5 minutos antes, durante e 5 minutos após a tarefa.

Os riscos relacionados com a participação nesta pesquisa poderão estar implicados na presença de fadiga durante as tarefas realizadas, porém este resultado é esperado visto estarem se submetendo a uma atividade mental até então desconhecida e tendem a voltar ao seu estado inicial por se tratarem de sujeitos jovens e hígidos. Os benefícios relacionados com a participação nesta pesquisa podem ser traduzidos pelos ganhos nos aspectos cognitivos e funcionais proporcionados pelos protocolos traçados.

Se você concordar em participar do estudo, seu nome e identidade serão mantidos em sigilo. A menos que requerido por lei ou por sua solicitação, somente o pesquisador e a

equipe do estudo terão acesso a suas informações para verificar as informações do estudo. Ciente e de acordo com o que foi anteriormente exposto, eu _____RG _____ou CPF _____estou de acordo em participar desta pesquisa, assinando este consentimento em duas vias, ficando com a posse de uma delas.

Parnaíba (PI), _____ de _____ de 2016.

Assinatura

Pesquisador Responsável

Se você tiver alguma consideração ou dúvida sobre a ética da pesquisa, entre em contato: Comitê de Ética em Pesquisa - UFPI. Campus Universitário Ministro Petrônio Portella- Bairro Ininga. Pró Reitoria de Pesquisa - PROPESQ. CEP: 64.049-550 - Teresina – PI. **Telefone:** 86 3237-2332. **E-mail:** cep.ufpi@ufpi.br **Web.:** www.ufpi.br/cep

ANEXO II

INVENTÁRIO DE DOMINÂNCIA LATERAL DE EDIMBURGO (OLDFIELD, 1971)

Por favor, indique sua preferência no uso das mãos nas seguintes atividades pela colocação do sinal + na coluna apropriada. Onde a preferência é tão forte que você nunca usaria a outra mão a menos que fosse forçado a usá-la, coloque ++. Se em algum caso a mão utilizada é realmente indiferente, coloque + em ambas as colunas.

Algumas das atividades requerem ambas as mãos. Nestes casos a parte da tarefa, ou objeto, para qual preferência manual é desejada é indicada entre parênteses.

Por favor, tente responder a todas as questões, e somente deixe em branco se você não tiver qualquer experiência com o objeto ou tarefa.

		Esquerda	Direita
1	Escrever		
2	Desenhar		
3	Arremessar		
4	Uso de tesouras		
5	Escovar os dentes		
6	Uso de faca (sem garfo)		
7	Uso de colher		
8	Uso de vassoura (mão superior)		
9	Acender um fósforo (mão do fósforo)		
10	Abrir uma caixa (mão da tampa)		

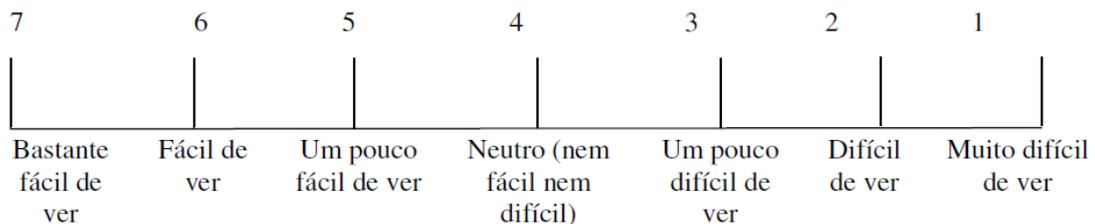
ANEXO III

MIQ-R (*REVISED MOVEMENT IMAGERY QUESTIONNAIRE*) EM PORTUGUÊS

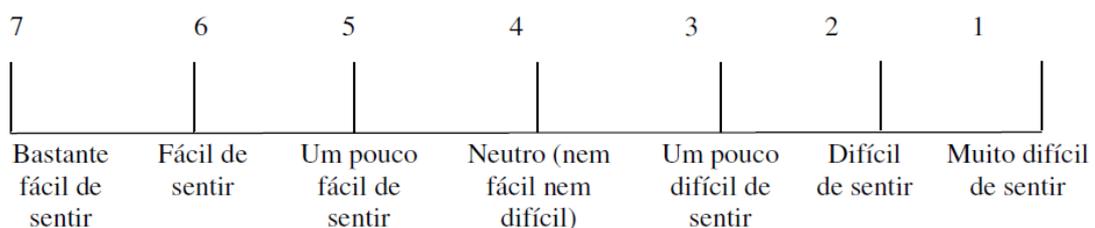
Cada um dos seguintes enunciados descreve uma ação ou movimento particular. Ouça cada enunciado cuidadosamente e então execute o movimento como descrito. Somente execute o movimento uma única vez após o comando “execute o movimento agora”. Após executar o movimento retorne à posição de partida anterior à execução, exatamente como se esperasse para executar o movimento uma segunda vez. Então, dependendo das questões que serão solicitadas para a sua execução: (1) forme uma imagem a mais clara e nítida possível do movimento executado, (2) preste atenção para sentir-se realizando o movimento sem executá-lo efetivamente.

Somente inicie as tarefas mentais solicitadas após os comandos “Feche os olhos e se veja AGORA” ou “Feche os olhos e se sinta AGORA”. Após ter completado o teste mental proposto classifique em fácil/difícil com relação a sua habilidade na execução de acordo com as escalas abaixo.

Escala de Imagética Visual



Escala de Imagética Cinestésica



Início do teste

1	Posição inicial	Permaneça de pé com os pés juntos e os braços ao longo do corpo
	Ação	Em 1 segundo será solicitado que execute o seguinte movimento: Flexione seu joelho direito o máximo possível de maneira que você permaneça de pé apoiado na perna esquerda. Com a perna direita retorne à posição inicial de apoio com ambos os pés no solo Execute o movimento AGORA. 10 segundos

	Tarefa mental	<p>Assuma a posição inicial.</p> <p>Em 1 segundo você será instruído a se sentir executando o movimento anterior sem o realizar de fato, da maneira mais clara e nítida possível.</p> <p>Feche os olhos e sinta-se executando AGORA. 10 segundos</p> <p>Agora, classifique a facilidade/dificuldade encontrada na realização desta tarefa mental. 10 segundos</p>
2	Posição inicial	Permaneça de pé com as suas mãos ao longo do corpo
	Ação	<p>Em 1 segundo você será instruído a realizar o seguinte movimento:</p> <p>Curve-se para baixo e então salte em linha reta para cima o mais alto possível com ambos os braços estendidos acima da cabeça.</p> <p>Aterrisse com os pés afastados e abaixe os braços até que retornem à posição ao longo do corpo</p> <p>Execute o movimento AGORA. 10 segundos</p>
	Tarefa Mental	<p>Assuma a posição inicial.</p> <p>Em 1 segundo você será instruído a se visualizar realizando a tarefa anterior sem o realizar de fato, da maneira mais clara e nítida possível.</p> <p>Feche seus olhos e se visualize executando AGORA. 10 segundos</p> <p>Agora, classifique a facilidade/dificuldade encontrada na realização desta tarefa mental. 10 segundos.</p>
3	Posição inicial	Estenda o braço de sua mão não-dominante para o lado do corpo de maneira que ele fique paralelo ao solo com a palma da mão para baixo.
	Ação	<p>Em 1 segundo você será instruído a realizar o seguinte movimento:</p> <p>Mova seu braço para frente do corpo permanecendo paralelo ao solo. Mantenha seu braço estendido durante o movimento executando vagorosamente.</p> <p>Execute o movimento AGORA. 10 segundos.</p>
	Tarefa Mental	<p>Assuma a posição inicial,</p> <p>Em 1 segundo você será instruído a se sentir executando o movimento anterior sem o realizar de fato.</p> <p>Feche seus olhos e se sinta executando AGORA. 10 segundos.</p> <p>Agora, classifique a facilidade/dificuldade encontrada na realização desta tarefa mental. 10 segundos.</p>
4	Posição inicial	Permaneça com seus pés afastados e seus braços completamente estendidos acima da cabeça
	Ação	<p>Em 1 segundos você será instruído a realizar o seguinte movimento:</p> <p>Lentamente curve seu corpo para frente pela cintura tentando alcançar o dedão do pé ou o solo com a ponta dos dedos das mãos e então retorne a posição inicial permanecendo ereto com seus braços estendidos sobre a</p>

		cabeça. Execute o movimento AGORA. 10 segundos
	Tarefa mental	Assuma a posição inicial. Em 1 segundo você será instruído a se visualiza realizando a tarefa anterior da maneira mais clara e nítida possível. Feche seus olhos e se visualize AGORA. 10 segundos. Agora, classifique a facilidade/dificuldade encontrada na realização desta tarefa mental. 10 segundos,
5	Posição inicial	Permaneça com os pés unidos e os braços ao longo do corpo.
	Ação	Em 1 segundo você será instruído a realizar o seguinte movimento: Curve-se para baixo e então salte em linha reta para cima o mais alto possível com os braços estendidos acima da cabeça. Aterrisse com os pés afastados e abaixe os braços até que retornem à posição ao longo do corpo. Realize o movimento AGORA. 10 segundos.
	Tarefa Mental	Assuma a posição inicial. Em 1 segundo você será instruído a se sentir executando o movimento anterior sem o realizar de fato. Feche seus olhos e se sinta executando AGORA. 10 segundos. Agora, classifique a facilidade/dificuldade encontrada na realização desta tarefa mental. 10 segundos.
6	Posição inicial	Permaneça com seus pés e pernas unidos e seus braços ao longo do corpo.
	Ação	Em 1 segundo será solicitado a execução do seguinte movimento: Flexione seu joelho direito o máximo possível de maneira que você permaneça de pé apoiado na perna esquerda com a perna direita totalmente flexionada. Finalmente abaixe sua perna direita até que retorne à posição inicial de apoio com ambos os pés.
	Tarefa mental	Assuma a posição inicial. Em 1 segundo você será instruído a se sentir executando o movimento anterior sem o realizar de fato. Feche seus olhos e sinte-se executando AGORA. 10 segundos. Agora, classifique a facilidade/dificuldade encontrada na realização desta tarefa mental. 10 segundos.
7	Posição inicial	Permaneça com os pés unidos e os braços ao longo do corpo.
	Ação	Em 1 segundo você será instruído a realizar o seguinte movimento: Lentamente curve seu corpo para frente pela cintura tentando alcançar o dedão do pé ou o solo com a ponta dos dedos das mãos e então retorne à posição inicial permanecendo ereto com seus braços estendidos sobre a

		cabeça. Execute o movimento AGORA. 10 segundos.
	Tarefa mental	Assuma a posição inicial. Em 1 segundo você será instruído a se sentir executando o movimento anterior sem o realizar de fato. Feche seus olhos e se sinta executando AGORA. 10 segundos. Agora, classifique a facilidade/dificuldade encontrada na realização desta tarefa mental. 10 segundos.
8	Posição inicial	Estenda o braço de sua mão não-dominante para o lado do corpo de maneira que ele fique paralelo ao solo com a palma da mão para baixo.
	Ação	Em 1 segundo você será instruído a realizar o seguinte movimento: Mova seu braço para frente do corpo permanecendo paralelo ao solo. Mantenha seu braço estendido durante o movimento e execute vagarosamente. Execute o movimento AGORA. 10 segundos.
	Tarefa mental	Assuma a posição inicial. Em 1 segundo você será instruído a se sentir executando o movimento anterior sem o realizar de fato. Feche seus olhos e se sinta executando AGORA. 10 segundos. Agora, classifique a facilidade/dificuldade encontrada na realização desta tarefa mental. 10 segundos.