

# Investigação da coerência da atividade elétrica cerebral após reabilitação com Imagética Motora em AVC

LCP. da Silva\*; CCSC. Paz\*\*; AMFL. Miranda de Sá\*; CJ. Tierra-Criollo\*

\*LAPIS/PEB – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil

\*\*Departamento de Fisioterapia - UNB, Brasília, Brasil

e-mail: coutinhol@peb.ufrj.br

**Abstract** – *Stroke is caused by a lack of blood supply in a particular region of the brain that may be a consequence of clot formation, narrowing or rupture of the blood vessel. Motor imagery (IM) is a technique used in the motor rehabilitation of individuals with motor deficit. The investigation of cortical activity related to this technique contributes to the understanding of the neurophysiological mechanisms involved during rehabilitation. The objective of this study was to investigate changes in cortical activity related to MI rehabilitation in hemiparetic individuals after stroke, before and after training with MI. EEG signals from nine post-stroke volunteers who underwent training with MI were analyzed at 2 different conditions: 1 week before MI training (PRM) and 1 month after training (follow-up). The magnitude squared of coherence (MSC) were evaluated. The delta band presented the highest MSC values, mainly in frontal and central regions.*  
**Palavras-chave:** *Motor imagery, stroke, EEG, magnitude squared coherence, MSC.*

## Introdução

O Acidente vascular cerebral (AVC) afeta cerca de 15 milhões de pessoas anualmente, sendo que um terço dos indivíduos apresentam alguma seqüela neurológica permanente. Essa doença apresenta elevada incidência e prevalência, gerando seqüelas que levam ao comprometimento motor e limitações funcionais. Por esse motivo, faz-se necessário identificar técnicas de reabilitação motora que favoreçam a reorganização cortical e a recuperação funcional destes indivíduos [1,2]. Uma dessas técnicas para reabilitação após AVC é a imagética motora (IM).

A IM é definida como simulação mental de movimentos sem que o movimento ocorra realmente [3]. A IM leva à ativação das mesmas regiões corticais que a execução do movimento, principalmente as área motora e áreas do córtex somatossensorial [4]. Estudos têm considerado a IM um instrumento terapêutico importante para facilitar a recuperação motora em indivíduos após AVC, principalmente devido às seqüelas da doença,

em especial a hemiparesia, que torna difícil a movimentação ativa, dificultando a sua reabilitação motora. [2,5].

Os sinais de eletroencefalografia (EEG) são utilizados na avaliação de processos sensoriais e cognitivos. A ativação cortical relacionada a processo ou evento identificada em sinais de EEG é um dos principais métodos de análise eletrofisiológica. Em indivíduos sem disfunções neurológicas, estudos analisam as respostas somatossensoriais utilizando a técnica da Magnitude quadrática da coerência (MSC) [6]. A MSC avalia o quanto há de dependência linear entre os componentes harmônicos do estímulo (ou tarefa motora) e a resposta cerebral. Em indivíduos após AVC, esses padrões corticais têm sido pouco avaliados, necessitando de novos estudos para entender como e com que grau a IM influencia na atividade elétrica cerebral desses indivíduos [5].

O objetivo deste trabalho foi investigar mudanças na atividade cortical com base na MSC do EEG relacionada à reabilitação com IM em indivíduos hemiparéticos após AVC.

## Materiais e métodos

Sinais de EEG de indivíduos após AVC foram registrados, por um dos autores do presente trabalho, de acordo com o protocolo aprovado pelo Comitê de Ética da Universidade Federal de Minas Gerais (ETIC 467/08). Os sinais de EEG foram analisados na Universidade Federal do Rio de Janeiro, por outro autor do trabalho.

**Participantes:** Participaram 9 voluntários (5 mulheres) com idades variando entre 23 e 54 anos (média de  $42,2 \pm 12,2$  anos) com tempo de AVC variando de 7 a 24 meses (média de  $13 \pm 6,5$  meses), sendo 5 indivíduos destros. Os critérios de inclusão no trabalho foram: ter idade entre 20 e 60 anos; ter diagnóstico de AVC unilateral há mais de seis meses; participar de programa de fisioterapia convencional para fortalecimento e alongamento dos músculos do membro superior parético desde a fase aguda do AVC; ter comprometimento do seu lado dominante; não ter déficit cognitivo (score < 18 no Mini exame de saúde mental – MESM); e

demonstrar habilidade para realizar flexão ativa de pelo menos 10° a partir da posição neutra de punho, de metacarpofalangeana e interfalangeana do polegar [2]. Os participantes não faziam uso de qualquer medicamento que interferisse no sinal de EEG.

**Reabilitação:** Os indivíduos realizaram reabilitação motora (RM), que consistiu de intervenção fisioterápica convencional (IFC) associada à IM. A reabilitação foi realizada por um profissional de fisioterapia durante 4 semanas (30 minutos por sessão, 3 vezes por semana). A IFC deu ênfase no alongamento dos músculos flexores e fortalecimento dos músculos flexores e extensores do ombro, cotovelo e punho, em adição aos músculos escapulares. As tarefas de IM foram em perspectiva de primeira pessoa (onde o indivíduo imagina realizar os movimentos) e selecionadas de acordo com o objetivo do indivíduo, sendo específicas para cada indivíduo. Por exemplo, o indivíduo #1 focou em pegar copo e lata (1ª semana), manipular objetos (2ª semana), usar talheres (3ª semana) e pentear cabelo (4ª semana), já o indivíduo #9 focou em abrir e fechar potes apertados, dirigir, usar talheres e abotoar roupas e calçar sapatos nas 1ª, 2ª, 3ª e 4ª semanas, respectivamente. As tarefas foram de intensidade crescente, iniciando com tarefas mais simples e evoluindo para tarefas mais complexas, tendo como foco o alcance e a apreensão de determinados objetos [2].

**Aquisição dos sinais de EEG:** O indivíduo foi posicionado em uma poltrona confortável, mantendo os membros superiores apoiados. Sinais de EEG registrados uma semana antes da RM (PRM) e um mês depois do final da reabilitação (*follow-up*) foram analisados. Em cada sessão de registro foram coletados: (1) 15 minutos de EEG espontâneo; (2) 15 minutos de execução do movimento apreensão da mão dominante (T1) e (3) 15 minutos de IM da apreensão da mão dominante (T2). O sinal de EEG foi registrado em 17 eletrodos posicionados conforme o sistema internacional 10-20. Utilizou-se um amplificador de sinais biológicos BrainNET BNT-36, com filtro passa-alta e passa-baixa de 0,1 Hz e 100 Hz, respectivamente, filtro *notch* de 60 Hz e frequência de amostragem de 600 Hz.

**Protocolo experimental:** O registro dos sinais de EEG utilizou protocolo similar a Santos Filho et al. (2009) (Figura 1).

Dois LEDs, um vermelho e um amarelo, foram colocados no ângulo de visão do voluntário e utilizados como indicador da ordem das tarefas motoras (T1 e T2). O LED vermelho foi acionado 4

segundos antes da tarefa motora, permanecendo ligado até o início da tarefa. O LED amarelo foi acionado 3 segundos após o acionamento do LED vermelho, estando ligado por 1 segundo até o início da tarefa motora. Os LEDs possuíam funções distintas no protocolo: o LED vermelho foi utilizado para fazer com que o participante focasse a sua atenção no procedimento e o LED amarelo indicava momento de preparação para tarefa. No final dos 4 segundos ambos os LEDs foram desligados indicando a ordem de realização da tarefa. Os indivíduos realizavam a tarefa após o apagamento de ambos os LEDs.

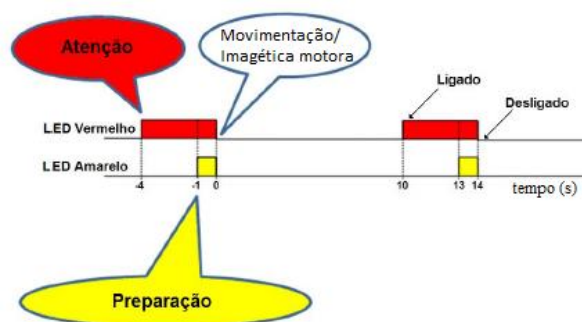


Figura 1. Protocolo de aquisição dos sinais de EEG adaptado de Santos Filho et al 2009

**Análise dos sinais:** Os sinais de EEG foram filtrados com um passa-faixa (0,1-40 Hz) *Butterworth* de 2ª ordem. Os sinais de EEG foram segmentados (Figura 1) em trechos de 14 s (-4 a 10 s) sincronizados com a execução da tarefa motora (t=0 s). O intervalo (-1 e 3 s) onde se espera a resposta relacionada à tarefa motora foi selecionado [6]. Os trechos considerados com artefatos (identificados visualmente) foram rejeitados. Finalmente, estimou-se a magnitude quadrática da coerência (MSC). O sinal de EEG de um dos indivíduos foi excluído por estar altamente contaminado por artefatos.

**Magnitude Quadrática da Coerência (MSC):** a MSC foi proposta como uma maneira de testar a presença de respostas evocadas por um estímulo no sinal de EEG [6,7]. A função coerência entre dois sinais  $x(n)$  e  $y(n)$  é definida como o espectro da correlação cruzada entre os sinais e quantifica a dependência linear entre os componentes harmônicos destes sinais. Sendo  $y(n)$  idêntico em todos os trechos do sinal e  $x(n)$  o sinal de EEG captado do escalpo, a MSC pode ser definida por:

$$MSC(f) = \frac{|\sum_{i=1}^M X_i(f)|^2}{M \sum_{i=1}^M |X_i(f)|^2} \quad (1)$$

sendo  $X_i(f)$  a Transformada Discreta de Fourier

(DFT) do  $i$ -ésimo trecho do sinal  $x(n)$  e  $M$  o número total de trechos do sinal. Para a hipótese nula de ausência de coerência entre os sinais  $x(n)$  e  $y(n)$ , a MSC segue uma distribuição beta com os seguintes parâmetros [7]:

$$MSC(f) \sim \beta(1, M - 1) \quad (2)$$

sendo  $\beta_{1,(M-1)}$  a distribuição beta padrão com parâmetros de forma 1 e  $M-1$ . O valor crítico de MSC para um nível de significância  $\alpha$ , considerando para o teste de hipótese nula para a ausência de estímulo é calculado por:

$$MSC_{crit} = 1 - \alpha^{M-1} \quad (3)$$

Na ausência de resposta ao evento, a MSC tende assintoticamente a 0 quando  $M$  tende a infinito. A presença de resposta sincronizada com o evento, na frequência  $f$  é esperada para valores  $MSC(f) > MSC_{crit}$ .

A soma das MSCs ( $S\_MSC$ ) de  $N$  componentes (na banda com maiores valores de MSC) foi utilizada para inferir sobre diferenças intra-indivíduos entre PRM e *follow-up*. Considerou-se as  $N$  componentes independentes, sendo a sua soma aproximada a uma normal com média ( $\mu$ ) e variância ( $\sigma^2$ ) para obter o  $S\_MSC_{crit}$ :

$$\mu = N \frac{1}{1+(M-1)} \quad (4)$$

$$\sigma^2 = N \frac{1(M-1)}{(1+M)[1+(M-1)]^2} \quad (5)$$

## Resultados

Utilizaram-se  $M=50$  trechos considerados sem artefato de cada indivíduo, levando a um  $MSC_{crit}$  (eq. 3) igual a 0,0593.

As regiões corticais que apresentaram incremento dos valores de MSC, nos 8 indivíduos, foram as regiões frontais e centrais (Figura 2 – exemplifica F4). A banda delta (<4 Hz) foi a que concentrou estes valores, seja para T1 (Figura 2 a - movimento) ou T2 (Figura 2 b - imaginação), em ambas as condições (PRM em azul e *follow-up* em vermelho).

A  $S\_MSC$  para a banda delta foi obtida com as 12 componentes na faixa de frequência de 0 a 3,5 Hz, sendo o  $S\_MSC_{crit}$  igual a 0,3566. Construíram-se gráficos em rede para cada indivíduo, com os valores do  $S\_MSC$  para cada derivação. Dos 8 indivíduos, 6 apresentaram a  $S\_MSC$  maior na condição PRM do que na *follow-up* (Figura 3 a). Dois (2) indivíduos apresentaram

o inverso: *follow-up* maior que PRM (Figura 3 b).

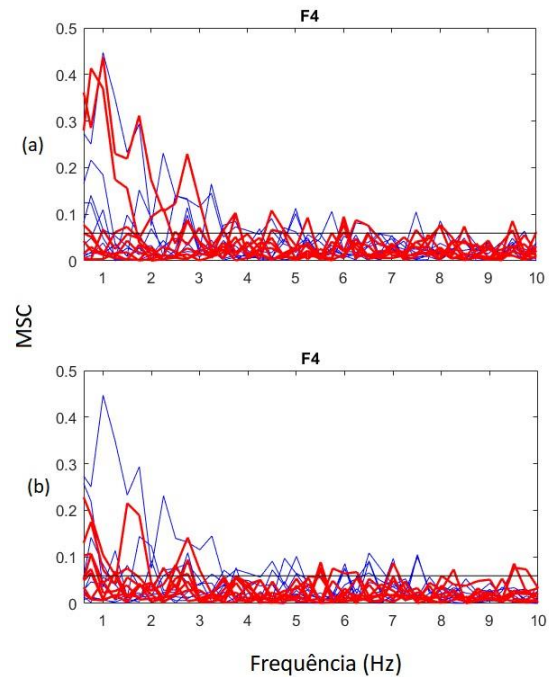


Figura 2 Valores de MSC dos 8 indivíduos da (a) T1 e (b) T2 de prensão da mão dominante para os eletrodos F4. A condição PRM está representada em azul; em vermelho está representada a condição *follow-up*. O  $MSC_{crit}$  ( $M = 50$  trechos) está representado pela linha horizontal.

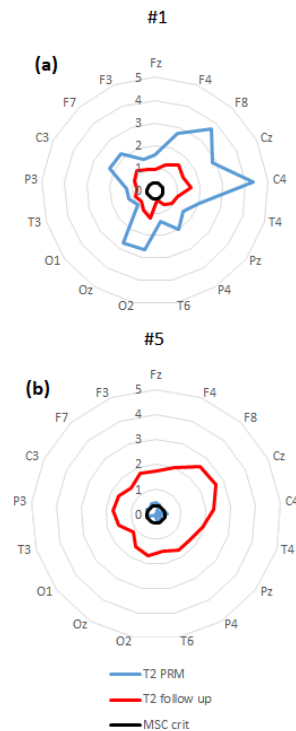


Figura 3. Gráfico em rede com S\_MSC da banda delta: (a) maior em PRM (azul) correspondente ao indivíduo #1; (b) maior no *follow-up* (vermelho) correspondente ao indivíduo #5. O S\_MSC *crit* está representado em preto

## Discussão

Estudos recentes mostraram a influência aguda da RM com IM sobre a atividade cortical [8,9]. Page et al (2009), por ressonância magnética funcional, encontrou aumento de atividade na área pré-motora e no córtex motor primário em indivíduos após AVC [8]. Paz et al (2012) encontraram valores aumentados de MSC na banda delta em indivíduos sem disfunções neurológicas após treinamento com IM [9]. O treinamento com IM incrementou os valores de MSC na condição *follow-up*, que apresentou valores maiores que a condição PRM. A banda delta está relacionada à realização de tarefas mentais, principalmente à dificuldade da tarefa e à inibição de estímulos não relacionados ao desempenho da tarefa [10]. Valores maiores da coerência podem relacionar-se com o aumento da eficiência neural e favorecimento do aprendizado motor devido ao controle cortical inibitório [2].

Os resultados do presente trabalho mostraram que a banda delta também apresentou aumento nos valores de MSC durante execução da tarefa motora em indivíduos após AVC. Em relação às condições, a hipótese inicial era de que, nos indivíduos após AVC, o treinamento com IM tivesse efeito similar ao ocorrido em indivíduos normais (MSC em *follow-up* maior que MSC em PRM) [8]. Surpreendentemente, não houve incremento da MSC na condição *follow-up* após treinamento com IM, embora tenha ocorrido melhora motora nos indivíduos após AVC. Os indivíduos apresentaram melhora motora, avaliada por Teste de Destreza Manual Minnesota (TDMM) e velocidade da marcha. Os escores desses testes apresentaram ganhos entre as condições PRM e *follow-up*, como mostrado por Paz (2012) [2]. Os resultados sugerem que a tarefa motora em PRM foi mais sincronizada ao estímulo que em *follow-up*. Estudos futuros com análise de novos parâmetros, analisados dinamicamente no tempo, serão necessários para o entendimento dos mecanismos fisiológicos envolvidos.

## Conclusões

Este trabalho avaliou a dinâmica da atividade elétrica cortical após RM com IM em indivíduos após AVC. A banda delta foi a faixa de frequência

que apresentou maiores valores de MSC, principalmente nas regiões frontal e central do escalpo. A condição PRM apresentou valores maiores de S\_MSC do que a *follow-up* na maioria dos indivíduos após AVC. Esses resultados são diferentes dos esperados em indivíduos sem disfunção motora.

## Agradecimentos

Agradecimentos aos órgãos de fomento CNPq, CAPES e FINEP pelo apoio financeiro que possibilitou o desenvolvimento do trabalho.

## Referências

- [1] WHO | Stroke, Cerebrovascular accident; Disponível em: <[http://www.who.int/topics/cerebrovascular\\_accident/en/](http://www.who.int/topics/cerebrovascular_accident/en/)>. Acesso em: 15 de nov. de 2016.
- [2] Paz, CCSC., Teixeira-Salmela, LF., Tierra-Criollo, CJ. The addition of functional task-oriented mental practice to conventional physical therapy improves motor skills in daily functions after stroke. *Braz J Phys Ther.* 17(6):564-571, 2013
- [3] Jeannerod, M. The representing brain: Neural correlates of motor intention and imagery. *Behavioral and Brain Sciences*, 17 (2):187-245, 1994.
- [4] Jackson PL et al. Potential role of mental Practice using motor imagery in neurologic rehabilitation. *Archives of Physical Medicine Rehabilitation.* 82: 1133-41, 2001.
- [5] Sharma, N., Pomeroy, V.M., Baron, J.C. Motor Imagery A Backdoor to the Motor System After Stroke? *Stroke* 37:1941-1952, 2006.
- [6] Santos Filho, SA. Magnitude Quadrática da Coerência na Detecção da Imaginação do Movimento para Aplicação em Interface Cérebro-Máquina. [Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica] – Departamento de Engenharia Elétrica: Universidade Federal de Minas Gerais; 2010.
- [7] Miranda de Sá, AM., Felix, LB., Infantosi AF. A matrix-based algorithm for estimating multiple coherence of a periodic signal and its application to the multichannel EEG during sensory stimulation. *IEEE Trans Biomed Eng.* 51(7):1140-6, 2004.
- [8] Page et al. Cortical plasticity following motor skill learning during mental practice in stroke. *Neurorehabil Neural Repair.* 23(4):382-8, 2009.
- [9] Paz CCSC et al. A influência aguda da prática mental sobre as oscilações corticais delta – um estudo piloto. *Rev. Bras. Eng. Biom.*, 28(4): 375-386, 2012.
- [10] Harmony T et al. Do specific EEG frequencies indicate different processes during mental calculation? *Neuroscience Letters.* 266:25-8, 1999.