

# Atividade cortical em EEG dependente do tempo e frequência induzida pelo discurso e tarefa multissensorial em cego durante aulas de Física

*Cortical activity in frequency and time dependent EEG induced by speech and multisensorial task in blind during physic classes*

Fernando Henrique Alves Benedito<sup>1</sup>  
Crisman Santos<sup>2</sup>  
Bruno Calhiari<sup>3</sup>  
Marcela Buzati<sup>4</sup>  
Carla Komatsu Machado<sup>5</sup>  
Simone Galbiati Terçariol<sup>6</sup>  
Edval Rodrigues de Viveiros<sup>7</sup>

## RESUMO

Este estudo objetivou identificar indícios de aprendizagem conceitual em indivíduo cego, em atividades didáticas envolvendo Ensino de Física em dois momentos diferentes: 1º o indivíduo ouvia uma explicação e 2º manuseava um objeto de aprendizagem se manifestando verbalmente a respeito do mesmo. O estudo foi desenvolvido na forma de um quase experimento. Foram gravadas as atividades corticais temporais e occipitais utilizando-se uma interface cérebro-computador de 14 canais. Concluiu-se que as modalidades de entrada de informações, como a tátil e a proprioceptiva, além da auditiva no segundo momento, quando comparado com o 2º momento, mostrou fortes indícios de aprendizagem do tipo conceitual, notadamente em regiões de atividade neuronal Alpha, Delta e Theta quando o normal seria apenas o aparecimento de ritmo Beta.

1 Fisioterapeuta, Engenheiro Mecatrônico, Orientador de Estágio no UniSALESIANO – Araçatuba, SP.

2 Discente no curso de Engenharia da computação UniSALESIANO – Araçatuba, SP.

3 Discente no curso de Engenharia Mecatrônica do UniSALESIANO – Araçatuba, SP.

4 Discente no curso de Engenharia Elétrica do UniSALESIANO – Araçatuba, SP.

5 Fisioterapeuta. Professora Mestre, coordenadora e docente do curso de Fisioterapia no Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba-SP. Mestrado em Fisiologia do Sistema Estomatognático pela UNICAMP- Piracicaba.

6 Fisioterapeuta, Professora mestre do curso de Fisioterapia do UniSALESIANO – Araçatuba, SP.

7 Físico, Professor Doutor dos cursos de Engenharia do UniSALESIANO – Araçatuba, SP.

**Palavras-Chave:** Teoria dos Campos Conceituais; Interface cérebro-computador; tecnologias assistivas; Neurociência Cognitiva.

### **ABSTRACT**

This study aimed to identify evidence of conceptual learning in blinds during didactic activities on physics teaching at two different times: in a first moment, the individual listened to an explanation and then fingered a learning object, inclusive manifesting verbally about the same. This study was developed in the form of quasi-experiment. The cortical, temporal and occipital activities were recorded utilizing 14 channels brain-computer interface. We concluded that in the addition of information entry modalities like the tactile and the proprioceptive, beyond the auditory in the second moment, when compared to explanation hearing time, we obtained strength evidence of conceptual learning, notably in areas of neuronal activity on Alpha, Delta and Theta range when it would be common only appearing the Beta range.

**Key words:** Assistive technology, brain-computer interface, cognitive neuroscience, conceptual field theory.

### **Introdução**

Os mecanismos neurocognitivos envolvidos em processos de aprendizagem conceitual despontam discussões teóricas acirradas. Entre tantas, destacam-se as grandes escolas formadas em torno dos trabalhos de Stephen Kosslyn (2005, 1994) e Zenon Pylyshyn (2007). O primeiro defende que a estrutura cognitiva é algo do tipo semiótico, já Pylyshyn propõe haver estruturas biológicas que sustentam a formação do pensamento.

Na verdade, ambas as concepções possuem seu valor teórico e experimental, já que evidenciam o chamado processo de “incorporação cognitiva”, “mente incorporada”, ou “unwelt” que, segundo Bouyer (2008), explicam como os mecanismos tidos como exclusivamente ‘mentais’ se incorporam na forma de ‘modus operandi’.

*As metáforas conceituais, ou esquema-imagens (“image-schemata”) não são estruturas arbitrárias, mas sim embasadas na experiência física e cultural dos operadores. A estrutura de seus conceitos espaciais emerge de sua experiência espacial, ou seja, sua interação com o ambiente físico na produção. Os conceitos da produção que emergem dessa forma são os conceitos vividos ou vivenciados nas mais fundamentais experiências (BOUYER, 2008, p.138).*

Esta discussão, tomada para o campo da Didática das Ciências (Física, Matemática, Biologia) é de vital importância, pois busca conhecer como os indivíduos (alunos) aprendem conceitos considerados teóricos, transpondo-os a operações concretas operacionais do tipo motoras. É o que Gérard Vergnaud discute em sua Teoria dos Campos Conceituais (VERGNAUD, 1990), e que o Pierre Pastré transpôs para sua Didactique Professionnelle (PASTRÉ et al., 2006), ao utilizar-se dos chamados ‘esquemas’, ‘conceitos-em-ação’ e ‘teoremas-em-ação’ propostos por Vergnaud que, na verdade, é uma herança piagetiana, assim como traz também a rica contribuição de Lev Vigotsky para os mecanismos do pensamento e linguagem.

Toda esta discussão, trazida e reinterpretada para a neurociência, traz como desafio entender as bases neurais do processamento da fala e da linguagem e suas relações com as assimetrias corticais, além de suas associações, pela natureza multissensorial de nosso cérebro, e como tudo isto participa direta e indiretamente nos processos de aprendizagem conceitual. A todo o momento interagimos com objetos, ondas mecânicas e eletromagnéticas, sabores e odores; e essa natureza fornece informações complementares e redundantes sobre os objetos, as quais podem acelerar e acurar o seu reconhecimento em várias circunstâncias (AFTANAS, 2002; POEPPPEL, 1996).

Ainda sem tradução para o português, *crossmodal* é a interação entre duas ou mais modalidades sensoriais, sejam elas de atenção, percepção, reconhecimento, etc. Nessa última modalidade, estudos têm demonstrado que as informações táteis, auditivas e visuais podem ativar áreas corticais associadas que antes acreditava-se ser de modalidades específicas (POEPPEL, 1996).

Muitos estudos são dirigidos na busca pelo entendimento dos mecanismos cerebrais para reconhecimento de objetos e aprendizagem, e muitos avanços se obtiveram através da verificação da plasticidade cortical *crossmodal* e/ou somatossensória na acuidade espacial tátil e de aprendizagem em estudos com indivíduos cegos (WONG, 2011; VIVEIROS, 2013).

Ainda, tendo em vista os caminhos do entendimento dos mecanismos mente/cérebro deve-se relacionar dois grandes debates nos campos da neurociência (localizacionista versus distribucionista) e da filosofia da mente (computacionalismo versus conexionismo), ambos são amplamente discutidos, mas aqui prestigiou-se a abordagem sobre a teoria distribucionista e dos modelamentos conexionistas (DIAS, 2015; NICOLELIS, 2011), em virtude de que tal enfoque parece fornecer bases epistemológicas mais robustas para os propósitos, da pesquisa, já que se trata de fenômenos de aprendizagem conceitual de natureza complexa.

Assim, a partir do conceito distribucionista de que “qualquer tipo de informação processada pelo cérebro envolve o recrutamento altamente distribuído de populações de neurônios” intensificaram-se as pesquisas que aliam os conceitos: *intermodal*, *multimodal* e *crossmodal*. As relações equivalentes intermodais espaciais e temporais fornecem uma base importante para o entendimento das unidades multimodais, ou seja, é a integração de diferentes modalidades sensoriais como visão, audição, tato, olfato, propriocepção e paladar (LEWKOWICZ, 1999;

SPENCE, 2011).

A neuroplasticidade descrita em alguns estudos de acuidade tátil em cegos de nascença mostra a dinâmica do sistema nervoso central (resultados de imagens funcionais, comportamentais e anatômicas), e a presença de caminhos corticais polissinápticos entre o córtex somatosensório e o córtex visual. Essas respostas crossmodais no córtex visual foram verificadas por PTITO (2008) quando estimulou todo o córtex occipital por estimulação magnética transcraniana (*Transcranial Magnetic Stimulation*) em nascidos cegos e outros vendados como controle.

Enquanto os que foram vendados relataram ver apenas fosfenos (lampejos luminosos) após a aplicação do estímulo, alguns dos nascidos cegos relataram sensações táteis nos dedos. Esse resultado sugere também uma nova evidência de que a atividade do lobo occipital em cegos se adapta à expressão qualitativa, característica de sua nova fonte de entrada, e a intensidade da sensação parece estar relacionada com o número de horas de leitura Braille por dia. PASCUAL-LEONE (1993) também verificou, por um método semelhante, que a leitura Braille está associada à expansão da representação do córtex sensoriomotor do dedo leitor. CAMPBELL (2008), em sua revisão das bases neurais do processamento do discurso audiovisual, verificou que todos os níveis linguísticos são influenciados pela visão de dois principais modos de processamento: um modo *complementar* por onde a visão fornece informação mais eficientemente do que só ouvindo; e o modo *correlacionado*, por onde a visão parcialmente duplica a informação sobre um padrão articulatorio dinâmico.

Portanto, ambos os modos *complementares* e *correlacionados* hipoteticamente podem ser expressões correlatas às percepções e reconhecimentos *crossmodais*, e a interação de outras modalidades sensoriais podem ser consideradas na soma de estímulos de entrada como, objeto desse estudo, o estímulo tátil pelo manuseio de um objeto.

A ponderar a expansão da representatividade cortical às várias entradas de informações, a capacidade de resolução de problemas através das correspondências *crossmodais*, da congruência espaço-temporal e da semântica, este estudo objetivou apresentar alguns achados da atividade do córtex visual e auditivo em EEG na atenção à explicação da forma de um objeto a um indivíduo cego em comparação à atenção a uma segunda explicação associada ao manuseio de outro objeto.

## **Metodologia**

Os dados analisados neste estudo foram parte dos resultados obtidos na tese de Viveiros (2013), sendo que o participante, um indivíduo do sexo feminino, praticamente cego de nascença, assinou um termo de consentimento livre e esclarecido, projeto aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa da Faculdade de Ciências da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, de Bauru (2012). A apresentação da análise desenvolvida no presente trabalho é parte das atividades de pesquisa prevista no trabalho de iniciação científica, intitulado “Adaptação e automação de prótese biônica de membro superior através de interface cérebro-máquina”, desenvolvido pelo programa PIBIT/CNPq convênio Unisaesiano.

A atividade cortical foi gravada por uma interface cérebro-computador (ICC) da marca Emotiv Epoc, na versão “Research”, escolhido pela característica de operar de forma não invasiva (NICOLELIS, 2011).

Para realização do experimento com a ICC com o sujeito da pesquisa foi necessário o treinamento neurocognitivo, sob as condições impostas pela ergonomia cognitiva, considerando-se características de usabilidade, utilidade e dimensão cognitiva (ABRAHÃO, 2005), e seguindo o Protocolo Ecolig apresentado em Miguel (2010). O registro em áudio e vídeo de todos os eventos seguiu a seguinte ordem: a) Planilha com script

de registro de parâmetros ‘usabilidade’, ‘navegação em espaços virtuais’ e ‘carga cognitiva’, respectivamente, com base nas normas acima mencionadas; b) Aplicação da técnica da “amostragem proposital” (*purposive sampling*) através de observação de eventos significativos de registro, e outros procedimentos descritos em Viveiros (2013).

Aplicou-se uma solução salina nos eletrodos da ICC posicionada sobre o escalpo do participante. Durante mais de cinco minutos a participante permaneceu ouvindo instruções sobre determinado conceito físico, enquanto a atividade elétrica cerebral era gravada pela ICC. O registro da atividade elétrica cerebral foi realizado pelo software “Testbench” e, posteriormente, lido pelo software “Emo3D BrainMap Premium”. Posteriormente, adotando-se a metodologia de um quase experimento, o mesmo sujeito de pesquisa ouviu explicações teóricas, podendo ainda manusear um objeto de aprendizagem, que consistiu de montagens didáticas realizadas com LEGO.

Para análise estatística dos sinais EEG foi feita uma inspeção visual do sinal para verificação de sua qualidade, incidência de ruídos e quantidade de artefatos. Com o software *LabChart Reader* pôde-se realizar essa inspeção, filtragem e realizar cópias dos sinais que se apresentavam com aspectos regulares, com aproximação da normalidade. Isolaram-se também os canais T7 e O1, tanto do primeiro quanto do segundo momento (T70 – T7P, O10 – O1P) através do software PAST, (HAMMER, 2001).

Quanto às seleções de banda de frequência para análise foram filtradas digitalmente, passa-baixa a 0,1 Hz, para garantir estacionariedade do sinal do EEG. Um mil trezentos e setenta e seis pontos de cada canal e momento foram selecionados. Foi feito um teste de normalidade das variáveis e foi aplicado um teste de normalidade nas colunas de valores do EEG pré e pós, dos dois canais, como os valores não seguem normalidade foi aplicado o teste de Mann-Whitney.

## Resultados

Para demonstrar os potenciais do EEG foram plotados os resultados de ambos os canais e momentos, nesses puderam ser notadas as alterações inversamente proporcionais nos lobos temporais (figuras 1 e 2)

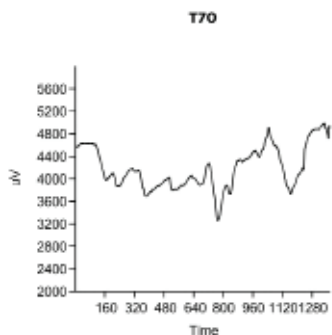


Figura 2. Trecho de EEG em T70.

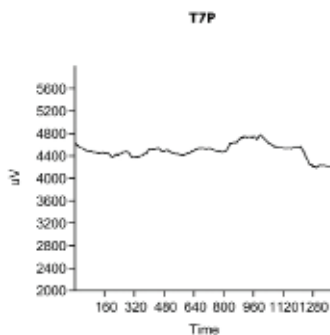


Figura 2. Trecho de EEG em T7P.

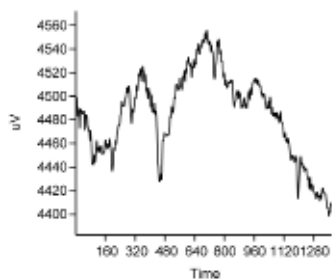


Figura 3. Trecho de EEG em O10.

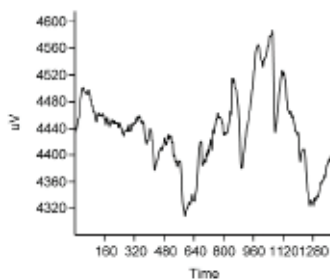


Figura 4. Trecho de EEG em O1P.

e occipitais (figuras 3 e 4) em cada situação (houve diferença estatística  $p < 0,01$  tanto em T70 – T7P quanto em O10 – O1P).

A transformada de *Wavelet* (HAMMOND, 2011; FILHO, 2010) foi aplicada em todos os sinais para demonstração da atividade cortical com seleção de uma faixa de frequência 1 – 20 Hz e, após zerar os coeficientes considerados como ruídos, a TW inversa foi aplicada

Pôde-se verificar a ativação cortical em T7 durante um período em relação às bandas de frequência, através da TW, ainda que com muitos artefatos, ouvindo (figura 5) e na percepção tátil (figura 6).



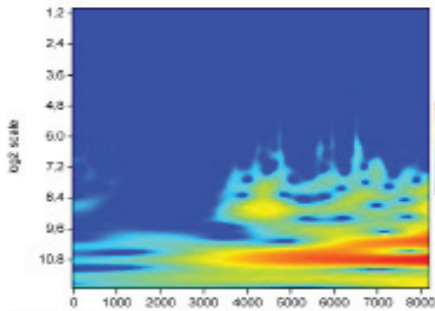


Figura 5. Transformada de Wavelet em T7O.

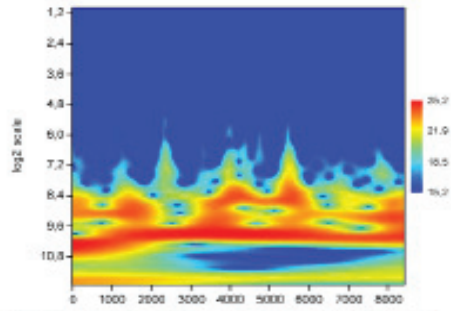


Figura 6. Transformada de Wavelet em T7P.

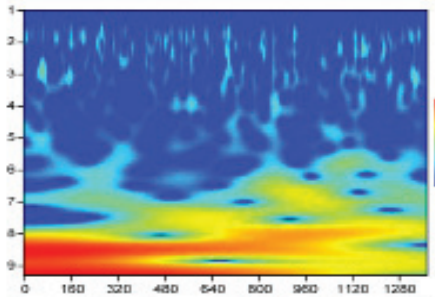


Figura 7. Transformada de Wavelet em O1O.

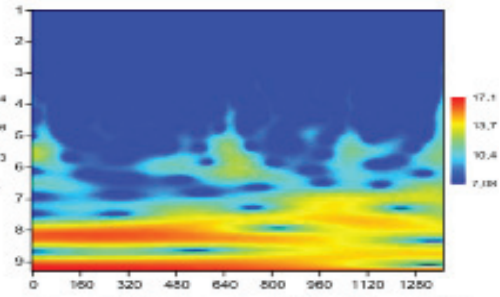


Figura 8. Transformada de Wavelet em O1P.

No córtex visual (occipital) vê-se a ativação em bandas de frequência 8 e 12 Hz (ritmo alfa -  $\alpha$ ) (figura 7), enquanto no momento da percepção tátil há ativações entre 13 e 18 Hz (ritmo beta -  $\beta$ ) (figura 8).

## Discussão

O ritmo  $\beta$  está associado com o foco no mundo exterior, pensamento, atenção, e normalmente é encontrado nas regiões parietal e frontal. O ritmo  $\alpha$  está relacionado ao estado de relaxamento e aos olhos fechados, é normalmente encontrado sobre a região occipital do cérebro (FILHO, 2010).

O manuseio dos objetos no estudo fornece frequências  $Mu$  ( $\mu$ ) em bandas de frequência semelhantes ao ritmo  $\alpha$  (8 – 13 Hz). A essas associações interpreta-se como um aumento da atenção e pensamento com as atividades motoras do manuseio do objeto, o que foi menos intenso no

primeiro momento.

O principal fator verificado foi que, mesmo ouvindo atentamente, o participante atingiu o nível de atenção máximo (ritmo  $\alpha$ ) apenas do meio para o fim da amostra de EEG (figura 5), enquanto que no manuseio do objeto isso se tornou espontâneo desde o início das tarefas (figura 6). Essas variações lentas do potencial são denominadas de potencial cortical lento (PCL), podem ocorrer com a implementação de um movimento ou pelo acompanhamento de uma tarefa mental (BIRBAUMER, 1997).

### **Considerações finais**

Os achados da atividade do córtex visual e auditivo em EEG no estado de atenção durante uma explicação teórica sobre determinado conteúdo conceitual num indivíduo cego, quando comparados à atenção de uma segunda explicação associada ao manuseio de um objeto de aprendizagem, produz notável correlação estatística, pelo fato de haver mudanças nos ritmos/bandas de frequência a partir da participação de outras modalidades de entrada de informações, como a tátil e a proprioceptiva, além da auditiva.

O aparecimento de ritmos na faixa de baixas frequências (ritmo  $\alpha$ ), realizados em indivíduos videntes, normalmente é dessincronizado com a atividade dos ritmos  $\beta$ . Entretanto, tal fato não ocorreu neste estudo, sugerindo algum nível de aprendizagem conceitual, mostrando que atividades multissensoriais como aqui estudadas sugerem maior predisposição de aprendizagem.

Estes e outros resultados foram discutidos em Viveiros (2012), e apresentados no capítulo “O papel da multissensorialidade na modulação das emoções em aulas de Física para pessoas com deficiência visual: um estudo neurocognitivo utilizando uma interface cérebro-computador”

(no prelo, a ser editado pela Editora da UNESP). Em ambos os trabalhos discute-se a importância de atividades do tipo multissensorial para a aprendizagem de conceitos, relevando-se o papel chamado de processo de ‘incorporação cognitiva’ (*embodiment cognition*), importante conceito neurocognitivo que explica como a simples elaboração mental (imagery) converte-se em aprendizagem do tipo operacional, conforme destacado pelas pesquisas de Gérard Vergnaud ao fundamentar o processo de constituição dos conceitos e teoremas-em-ação no indivíduo em determinadas situações do tipo didática.

A importância destes achados revela-se muito promissora, pois mostra que atividades do tipo multissensorial podem ser decisivas para que o indivíduo possa, efetivamente, ser capaz de ter um direcionamento neurocognitivo no sentido de uma aprendizagem conceitual efetiva. Entretanto, são necessários estudos mais complexos e extensos com a finalidade de se identificar possíveis arranjos e combinações possíveis de modalidades sensoriais que indiquem uma melhor performance de aprendizagem conceitual.

### **Referências Bibliográficas**

ABRAHÃO, J.I.; SILVINO, A.M.D.; SARMET M.M. Ergonomia, cognição e trabalho informatizado. *Psicologia Teoria e Pesquisa*, 21(2), Mai/Ago. 2005.

AFTANAS LI, VARLAMOV AA, PAVLOV SV, MAKHNEV VP, REVA NV. Time-dependent cortical asymmetries induced by emotional arousal: EEG analysis of event-related synchronization and desynchronization in individually defined frequency bands. *International Journal Psychophysiology*, 44(1):67-82, Abr. 2002.

BIRBAUMER, N. Slow cortical potentials: their origin meaning and clinical use. In: Brain and behavior: past, present and future. *Tilburg University Press, Tilburg*, 25-39, 1997.

BOUYER, G.C. *Ergonomia cognitiva e mente incorporada*. São Paulo: Blucher Acadêmico, 2008.

CAMPBELL R. The processing of audio-visual speech: empirical and neural bases. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 363:1001–1010, Set. 2008.

DIAS, AM. Modelos e análises computacionais em neurociências: revisão sistemática. *Instituto de Psiquiatria da Universidade de São Paulo (IPq-FMUSP)*, 2010 [acesso em 2015 mai 14]. Disponível em: <http://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/revispsi/article/view/8981/7442>

FILHO, S.A.S. *Magnitude quadrática da coerência na detecção da imaginação do movimento para aplicação em interface cérebro-máquina*. Proposta para Tese de Doutorado, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais, Engenharia Elétrica. Orientador: Prof. Carlos Julio Tierra-Criollo. Belo Horizonte, 2010.

HAMMER, O; HARPER, D.A.T; RYAN P.D. PAST: Paleontological Statistical Software package for education and data analysis. *Paleontologia Eletrônica*, 4(1):9, 2001.

HAMMONDA, D.K.; VANDERGHEYNSTB, P; GRIBONVALC, R. Wavelets on graphs via spectral graph theory. *Applied and Computational Harmonic Analysis*. 30(2):129–15, Mar 2011.

KOSSLYN, S. M. Reflective thinking and mental imagery: A perspective on the development of Posttraumatic Stress Disorder. *Development and Psychopathology*. 17:851-863, 2005.

KOSSLYN, S.M. *Image and brain: the resolution of the imagery debate*. MIT Press, Cambridge, MA, 1994.

LEWKOWICZ DJ. The development of temporal and spatial intermodal perception. *Cognitive Contributions to the Perception of Spatial and Temporal Events*. 129:395–420, 1999.

MIGUEL, P.V.O. *ECOLIG o protocolo semiótico para comunicação homem-máquina que utiliza interfaces do tipo cérebro-computador*. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação – FEEC. UNICAMP, 2010.

NEWELL, F.N; BÜLTHOFF, H; ERNST, M.O. Cross-Modal Perception of Actively Explored Objects. in: H.S. Oakley, & S. O'Modhrain (Eds.), *Proceedings EuroHaptics*. 2003. Dublin, Ireland: Trinity College Dublin, 291- 299.

NICOLELIS, M. *Muito além de nosso eu*. Cia. das Letras: São Paulo, 2011.

NICOLELIS, M. *Beyond boundaries: the new neuroscience of connecting brains with machines – and how it will change our lives*. New York: Times Book, 2011.

NICOLELIS, M. A. L.; LEBEDEV, M. A. Principles of neural ensemble physiology underlying the operation of brain-machine interfaces. *Nature Reviews Neuroscience*. 10(7):530-540, 2009.

PASCUAL-LEONE, A; TORRES F. Plasticity of the sensorimotor cortex representation of the reading finger in Braille readers. *Brain, A Journal of Neurology*. Oxford University Press, 116(1), 1993.

POEPPPEL, D; YELLIN, E; PHILLIPS, C; et al. Task-induced asymmetry of the auditory evoked M100 neuromagnetic field elicited by speech sounds. *Cognitive Brain Research*. 4:231-242, 1996.

PTITO M, FUMAL A, DE NOORDHOUT AM, SCHOENEN J, GJEDDE A, KUPERS R. TMS of the occipital cortex induces tactile sensations in the fingers of blind Braille readers. *Exp Brain Res.*, 184:193–200, 2008.

PYLYSHYN, Z.W. *Things and places: how the mind connects with the world*. Cambridge: A Bradford Book/The MIT Press, 2007.

PASTRÉ, P; MAYEN, P; VERGNAUD, G. La didactique professionnelle. *Revue française de pédagogie*. 156, Jan/Mar. 2006.

PAUL P, PINEAU, Gaston. Transdisciplinarité et formation (ouvrage collectif), coll. *Interfaces et transdisciplinarités*, Paris: Ed. l'Harmattan, 2005.

SPENCE C. Crossmodal correspondences: a tutorial review. *Attention, Perception, & Psychophysics*. 73(4):971-995, 2011.

VERGNAUD. Gérard. La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10(23):133-170, 1990.

VIVEIROS, E.R.; CAMARGO, E.P. *Contribuições da Neurociência Cognitiva para o Ensino de Física: uso de uma interface cérebro-computador para deficientes físicos e visuais*. In: IX Encontro Brasileiro Internacional de Ciência Cognitiva, 2012, Bauru. Caderno de resumos IX EBICC Encontro Brasileiro Internacional de Ciência Cognitiva. V. Único:1-84, 2012.

VIVEIROS, ER. *Mindware Semiótico-Comunicativo: aplicação didática no Ensino de Física para deficientes visuais utilizando uma interface cérebro-computador*. Tese de Doutorado. Orientador: Dr. Eder Pires de Camargo. Co-orientador: Dr. Gérard Vergnaud (Université de Paris 8 – Saint Denis). Programa de Pós-graduação em Educação para a Ciência. Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho'. Faculdade de Ciências. Bauru, 2013.

WONG M, GNANAKUMARAN V, GOLDREICH D. Tactile Spatial Acuity Enhancement in Blindness: Evidence for Experience-Dependent Mechanisms. *The Journal of Neuroscience*, 31(19):7028-7037, 2011.