

Topografia cognitiva cortical em indivíduos das áreas de humanas e exatas

Cognitive cortical topography of human and exact workers

Nathalia Clemente Baracho¹, Fernando Gameleira², Heloísa Helena Motta Bandini³, Euclides Maurício Trindade Filho^{4}*

RESUMO

Os indivíduos de ciências humanas têm exaltadas as habilidades lingüísticas corticais, enquanto os indivíduos de ciências exatas desenvolvem suas regiões corticais lógico-matemáticas. Entretanto, há uma carência de estudos sobre a correlação entre áreas corticais e funções cognitivas quando comparamos grupos de indivíduos que exercem atividades humanas distintas. **OBJETIVO:** avaliar se há diferenças no processamento cerebral durante a execução de atividades cognitivas entre indivíduos pertencentes às ciências humanas e exatas. **MÉTODO:** participaram do estudo 20 homens, de 22 a 50 anos, sendo 10 indivíduos de ciências humanas e 10 indivíduos de ciências exatas. Estes foram submetidos a um eletroencefalograma ao executar tarefas cognitivas. Os registros eletroencefalográficos foram analisados por meio da transformada de Fourier, que permitiu a observação da frequência gama em cada quadrante do córtex cerebral. A frequência relativa da atividade gama em cada quadrante foi comparada entre os indivíduos dos dois grupos utilizando-se o teste t de Student. **RESULTADOS:** durante a execução de todas as tarefas cognitivas (fluência verbal, aritméticas, memórias de curto e longo prazo e construção frasal), os indivíduos pertencentes às ciências exatas apresentaram aumento significativo na atividade gama quando comparado com os indivíduos de ciências humanas. Na atividade de moral, não houve aumento da atividade gama em nenhuma região cortical nos indivíduos das duas áreas. **CONCLUSÃO:** Nos indivíduos de ciências exatas a ativação do ritmo gama sempre é mais intensa quando comparado com os indivíduos de ciências humanas.

Palavras-chave: linguagem, cognição, mapeamento encefálico e eletroencefalografia.

¹ Graduanda do quinto ano do curso de Fonoaudiologia da Universidade Estadual de Ciências da Saúde de Alagoas. Rua Dr. Luís de Mascarenhas, 66, apto 704 - Farol - Maceió, AL - CEP: 57055-030 (nathaliaclemente@hotmail.com).

² Médico. Mestre em Neurociência pela Universidade Federal de Pernambuco. Rua Dr. José Afonso de Melo, 68, apto 622 - Stella Maris - Maceió, AL - CEP: 57036-510 (fernanotg@uol.com.br).

³ Fonoaudióloga. Doutora em Educação Especial pela Universidade Federal de São Carlos. Professora Assistente da Faculdade de Fonoaudiologia da Universidade Estadual de Ciências da Saúde de Alagoas. Rua Jorge de Lima, 113 - Trapiche da Barra - Maceió, AL - CEP: 57010-300 (hbandini@superig.com.br).

^{4*} Médico. Doutor em Neurociência pela Universidade Federal de São Paulo. Professor Adjunto de Fisiologia do Departamento de Ciências Fisiológicas da Universidade Estadual de Ciências da Saúde de Alagoas. Rua Jorge de Lima, 113 - Trapiche da Barra - Maceió, AL - CEP: 57010-300 (emtf@fapeal.br).

O trabalho foi realizado no Laboratório de Fisiologia da Universidade Estadual de Ciências da Saúde de Alagoas - UNCISAL. Rua Jorge de Lima, 113 - Trapiche da Barra - Maceió, AL - CEP: 57010-300 (<http://www.uncisal.edu.br>).

ABSTRACT

The subjects of humanities science area have exalted the language skills, while individuals of the exact science area have developed their logical-mathematical abilities. However, there is a lack of studies on the correlation between cortical areas and cognitive functions when comparing groups of individuals that carry different human activities. **OBJECTIVE:** Evaluate differences in brain processing during performance of cognitive activities between individuals belonging to humanities and exact areas. **METHODS:** Twenty men, (22 to 50 years) 10 from humanities and 10 from exact science area were studied. They were submitted to an electroencephalographic register when were performing cognitive tasks. The records were analyzed by Fourier transform, which allowed the observation of the frequency range in each quadrant of the cerebral cortex. The relative frequency range of activity in each quadrant was compared among individuals of the two groups using the Student t test. **RESULTS:** During the execution of all cognitive tasks (verbal fluency, arithmetic, short and long term memory and sentence construction), individuals belonging to the exact science area showed a marked increase in gamma activity when compared with those of humanities. In moral activity, there was no increase in gamma activity in any cortical region in subjects from two areas. **CONCLUSION:** In individuals of the exact area the intensity of activation by gamma rhythms is always more intense when compared with individuals in the area of humanities.

Keywords: language, cognition, brain mapping and electroencephalography.

INTRODUÇÃO

O comportamento humano e as estruturas neurais têm correlação importante, fato consolidado a partir da metade do século 20, com estudos de casos de pacientes com lesões neurológicas^{1, 2, 3, 4}.

Nos últimos anos, as oscilações eletroencefalográficas na faixa de 30-100 Hz, caracterizadas como ritmo gama, tornaram-se um tópico de intenso interesse após ser aventado a hipótese que este ritmo estava correlacionado com a execução de tarefas cognitivas^{5, 6, 7}. Desde então, surgiram diversos trabalhos demonstrando que o ritmo gama está aumentado durante a execução de funções cognitivas, como: linguagem⁸, atenção⁹, memória¹⁰ e função motora¹¹. No entanto, há uma carência em estudos sobre as diferenças neurais dos processamentos cognitivos em grupos de seres humanos.

Os indivíduos pertencentes às ciências exatas têm exaltadas as suas habilidades lógico-matemáticas corticais, enquanto que os indivíduos pertencentes às ciências humanas desenvolvem as

suas habilidades corticais lingüísticas. Dessa maneira, seria interessante, utilizando-se o mapeamento eletroencefalográfico, avaliar se há diferenças no processamento cerebral durante a execução de atividades cognitivas entre indivíduos pertencentes a essas duas áreas. A comprovação da presença de processamentos diferentes em indivíduos de áreas sociais distintas permitiria uma abordagem fundamentada do ponto de vista terapêutico, em pacientes acometidos de distúrbios cognitivo-lingüísticos e a otimização dos recursos educacionais durante a formação desses indivíduos.

MÉTODOS

Após a aprovação do protocolo de pesquisa pelo Comitê de Ética da Universidade Estadual de Ciências da Saúde de Alagoas (658/07) 20 homens, de 22 a 50 anos, participaram deste estudo, e foram distribuídos por meio de suas formações acadêmicas em dois grupos: Grupo H, formado por 10 indivíduos com formação acadêmica em ciências humanas e Grupo E também composto por 10 indivíduos, porém com formação

acadêmica em ciências exatas. Os sujeitos da pesquisa foram recrutados pelos pesquisadores entre profissionais e estudantes dos últimos períodos dos cursos universitários, de ciências humanas e exatas.

Após a explanação dos procedimentos que seriam realizados durante a pesquisa e a assinatura do termo de consentimento livre e esclarecido, os participantes foram inquiridos sobre o uso de drogas, recreativas ou psicotrópicas, bem como, sobre a presença de alterações psiquiátricas ou neurológicas.

Em seguida, em uma sala climatizada e silenciosa, o participante foi convidado a sentar em uma poltrona confortável e submetido ao exame de eletroencefalografia (EEG). Para os registros eletroencefalográficos foi utilizado um aparelho da marca EMSA, modelo BNT 30 com 30 eletrodos. Os eletrodos foram colocados de acordo com o sistema internacional 10-20¹², utilizando-se pasta eletrolítica para fixação.

Após a fixação dos eletrodos, houve a explicação dos procedimentos da execução das tarefas cognitivas. Para tanto, foi utilizada uma apresentação modelo no programa Microsoft Power Point 2003. Foi solicitado aos sujeitos que não respondessem oralmente e evitasse movimentações durante a realização dos exames.

Durante o EEG, os sinais da atividade elétrica cerebral sofreram uma taxa de amostragem de 256 Hz e foram filtrados para mais, na faixa 0,1 Hz.

Os exames eletroencefalográficos foram realizados sempre no período da manhã entre 8:00 e 12:00. Cada sessão consistiu, inicialmente, de três minutos de registro basal em vigília (atividade controle). Em seguida, o registro eletroencefalográfico foi continuado simultaneamente com oito atividades cognitivas:

1. Fluência verbal

Os voluntários foram incentivados a pensar em palavras que terminassem com duas determinadas sílabas que estavam escritas na tela do computador¹³.

2. Fluência verbal com categorias semânticas padronizadas

Os participantes foram estimulados a pensar em palavras que terminasse com sílabas, determinadas na tela do computador, de categoria semântica definida (animais, frutas, profissões e nome de pessoas). As categorias semânticas foram solicitadas uma por vez¹³.

3. Numérica de multiplicação

Os participantes foram instruídos a responder se o cálculo que estava na tela do computador estava certo ou errado. Nesse cálculo, um número (um dígito) era multiplicado por outro (dois dígitos) seguido do resultado, sendo que, metade vezes, esse resultado estava certo e a outra metade, estava errado.

4. Numérica de divisão

Os participantes foram instruídos a responder se o cálculo que estava na tela do computador estava certo ou errado. Nesse cálculo, um número (três dígitos) era dividido por outro número (um dígito) seguido do resultado, sendo que, metade vezes, esse resultado estava certo e a outra metade, estava errado.

5. Memória de curto prazo com pseudopalavras

Foram apresentadas na tela do computador quatro pseudopalavras¹⁴. Assim, os participantes, eram incentivados a memorizá-las.

6. Memória de longo prazo com sentenças

Em forma de questionamento, foram expostas na tela do computador, através de sentenças, atividades que o indivíduo havia realizado em determinado período de determinado dia na semana anterior a realização do exame. Então, o participante era incentivado a pensar na resposta da tarefa.

7. Construção frasal com palavras aleatórias

Foram exibidas 3 palavras aleatórias. Assim, o participante era incentivado a montar uma frase com essas palavras.

8. Tarefa de moral

Uma pequena história que envolvia julgamento de um indivíduo por suas atitudes, foi exibida na tela do computador. O participante foi incentivado a pensar qual sua opinião diante desse caso fictício.

Todas as tarefas foram solicitadas em preto e branco, através da tela do computador. Primeiramente, uma tela toda preta ficou a amostra por um período de 3 minutos, configurando o registro basal. Em seguida, iniciaram as atividades das habilidades cognitivas. Todas as atividades cognitivas ficaram a amostra no computador em forma de questionamento por um período de 6 segundos. Continuamente, uma tela toda preta foi apresentada por outros 6 segundos. Assim que o participante acabasse de ler o questionamento, era solicitado que fechasse os olhos e iniciasse a execução da tarefa. Para assegurar que os indivíduos estavam realmente executando a tarefa requerida, todos participantes foram avisados que seriam questionados sobre as respostas de cada tarefa ao final do experimento. Cada habilidade cognitiva foi solicitada em 4 atividades diferentes. A atividade cognitiva de avaliação moral foi executada em uma única solicitação com duração de 18 segundos.

Para análise foram selecionadas épocas (1,30s) dos registros durante cada atividade cognitiva. Os eletrodos Fp1 e Fp2 foram excluídos, evitando interferências de movimentações do globo ocular durante a aquisição dos registros. Os registros foram analisados por meio da transformada de Fourier, que permitiu a observação da frequência gama em cada quadrante do córtex cerebral.

A frequência relativa da atividade gama em cada quadrante foi comparada entre os indivíduos dos dois grupos utilizando-se o teste t de Student. Foi considerado como significativo um $p \leq 0,05$.

RESULTADOS

Os nossos resultados mostraram que durante a execução de todas as tarefas cognitivas, os indivíduos pertencentes às ciências exatas apresentaram aumento significativo na atividade gama. O quadrante posterior direito sempre apresentou aumento do ritmo gama durante a execução das tarefas, com exceção da tarefa de fluência verbal (Tabela 1), fluência verbal com categorias semânticas padronizadas (Tabela 2) e memória de curto prazo (Tabela 3), nas quais foram observadas aumento no quadrante posterior esquerdo.

Tabela 1. Porcentagem de ritmo gama nos quatros quadrantes corticais durante a execução da tarefa de fluência verbal em indivíduos das áreas de humanas e exatas.

	Anterior Esquerdo	Anterior Direito	Posterior Esquerdo	Posterior Direito
Humanas	11,71±4,19	10,67±4,3	10,22±2,75	10,52±3,64
Exatas	12,08±2,04	11,85±2,13	12,71±2,15*	11,42±1,91

* $P=0,004$.

Tabela 2. Percentagem de ritmo gama nos quatros quadrantes corticais durante a execução da tarefa de fluência verbal com categorias semânticas padronizadas em indivíduos das áreas de humanas e exatas.

	Anterior Esquerdo	Anterior Direito	Posterior Esquerdo	Posterior Direito
Humanas	10,9±4,92	10,46±4,12	9,6±2,71	9,6±2,66
Exatas	11,75±2,46	11,22±2,33	11,88±1,55*	10,39±1,66

*P=0,004.

Durante a execução da tarefa de multiplicação, foi observado que os indivíduos de ciências exatas apresentaram maior percentual de ritmo gama nos quadrantes anterior direito e posterior direito (12,6±2,7, p=0,04; 11,45±1,96, p=0,01, respectivamente) do que os indivíduos de ciências humanas (10,36±3,56; 9,35±2,66, respectivamente).

Por outro lado durante a execução da tarefa de divisão, os participantes do grupo de exatas

apresentaram maior percentual de ritmo gama nos posteriores direito e esquerdo (14,25±6,05, p=0,009; 13,91±2,65, p=0,0001, respectivamente) que os de humanas (10,47±2,53; 9,98±3,08, respectivamente).

Os resultados obtidos durante a execução das tarefas de memória de curto e longo prazo estão apresentadas na tabela 3.

Tabela 3. Percentagem de ritmo gama nos quatros quadrantes corticais durante a execução da tarefa de memória de curto e de longo prazo em indivíduos das áreas de exatas e humanas.

		Anterior Esquerdo	Anterior Direito	Posterior Esquerdo	Posterior Direito
Humanas	Curto prazo	11,5±4,42	11,39±3,23	9,76±2,36	9,93±2,69
	Longo prazo	10,86±4,03	10,70±2,86	9,6±2,29	9,38±2,29
Exatas	Curto prazo	13,25±1,78	13,48±3,66	12,67±2,87**	12,26±3,90
	Longo prazo	13,17±3,19	12,86±4,77	12,95±2,55**	10,51±2,29*

*p<0,05; ** p=0,001

Durante a execução da tarefa de construção frasal com palavras aleatórias foi observado que os indivíduos de ciências exatas apresentavam percentagem de ritmo gama significativamente maior no quadrante posterior direito ($13,92 \pm 3,47$, $p=0,0007$) do que os de ciências humanas ($9,05 \pm 2,53$).

Durante a execução da atividade moral não foram observadas diferenças significantes entre os indivíduos de ciências humanas e exatas.

DISCUSSÃO

O presente estudo confirmou que as atividades cognitivas podem ser facilmente demonstradas por meio do aumento da atividade gama, utilizando registros corticais, conforme descrito na literatura^{6, 7, 8, 9, 10, 11}.

Também foi observado que os indivíduos de ciências exatas exercem uma maior ativação cortical, quando comparados com os de ciências humanas para executar tarefas cognitivas. Este fato, possivelmente indica diferentes estratégias utilizadas por esses indivíduos para executar atividades mentais⁷. Simos et al.¹⁵ demonstraram que existe uma correlação positiva entre complexidade e dificuldade na execução de tarefa cognitiva com o aumento da atividade gama, pois se sabe que a linguagem é uma função primária, enquanto que as funções aritméticas necessitam da linguagem para ser aprendidas^{16, 17}.

Outro achado importante encontrado nessa pesquisa foi a ativação do quadrante posterior durante a execução, de uma grande parte, das tarefas cognitivas principalmente, nos indivíduos de ciências exatas. Estes achados indicariam que esses indivíduos estariam utilizando imagens mentais, que são ativadas quando o sujeito usa a estratégia de imagineria para facilitar a resposta cognitiva⁷.

As tarefas que envolviam habilidades de fluência verbal tiveram predomínio da atividade gama no hemisfério esquerdo, reforçando os dados da literatura que afirmam que a área de dominância cerebral da linguagem é o hemisfério

esquerdo^{13, 18, 19}. Por outro lado, o quadrante posterior esquerdo foi ativado mais intensamente com a atividade gama nos participantes do grupo de exatas, divergindo de dados da literatura que afirmam que é o quadrante anterior (giro frontal inferior esquerdo) que está intimamente ligado com a atividade cognitiva de fluência verbal¹³. Este fato pode ser justificado pela utilização, como explicado anteriormente, da estratégia de visualização mental para facilitar nas respostas. Uma segunda hipótese refere-se ao fato de durante os nossos procedimentos, os indivíduos foram solicitados em pensar em palavras e não pronunciá-las, desta forma o quadrante anterior esquerdo não teria necessidade de ser ativado. Outros estudos apontam que a área léxico-semântica localiza-se no quadrante posterior esquerdo (giro temporal superior esquerdo)¹⁸, fato encontrado também no presente estudo, durante a execução da tarefa de fluência verbal com categoria semântica definida.

O ritmo gama teve sua atividade aumentada, principalmente nos indivíduos de ciências exatas, nos quadrantes posterior e anterior direito durante a execução da atividade de multiplicação. Este fato corrobora com achados da literatura que afirmam que o hemisfério direito está intimamente ligado com funções aritméticas^{16, 17, 20}.

Vários estudos demonstraram que o hemisfério esquerdo está ligado as áreas de ativação da memória de curto prazo visuo-verbal^{18, 21, 22, 23}, enquanto a memória de curto prazo visuo-espacial é processada no hemisfério direito²⁴. As áreas mais específicas dentro do hemisfério esquerdo durante a execução da atividade de curto prazo visuo-espacial, são: córtex pré-frontal²¹, o cerebelo^{21, 22} e as áreas temporais mediais^{21, 22, 23}. Esse fato foi confirmado neste estudo ao demonstrarmos um aumento da atividade gama, durante a execução da tarefa de memória de curto prazo visuo-verbal, no hemisfério esquerdo. No presente estudo, o aumento do ritmo gama foi observado no córtex posterior esquerdo, que engloba o córtex temporal medial, nos indivíduos de ciências exatas quando comparado com os indivíduos de ciências humanas;

a região posterior provavelmente foi ativada, pois o estímulo foi solicitado através da imagem visual e os indivíduos ao fechar os olhos, continuaram fixando a imagem das pseudopalavras ofertadas, para facilitar a memorização.

Segundo Fitzgibbon⁷ e Pereira¹⁸ as áreas corticais ativadas durante a realização da atividade de memória de longo prazo são: pré-frontal, cerebelar, temporal média e regiões cerebrais mediais. Os indivíduos de ciências exatas tiveram na região posterior esquerda e direita, que inclui regiões cerebrais mediais, um aumento da atividade gama. Contudo, não foi observado ativação das áreas pré-frontal e, devido à limitação do EEG, as estruturas do cerebelo não puderam ser observadas.

Os resultados indicam que os indivíduos de ciências exatas apresentaram aumento do ritmo gama no quadrante posterior direito durante a execução da atividade de construção frasal, divergindo dos dados da literatura^{18, 25,26}. O fato de o quadrante posterior ter aumentado o ritmo gama pode ser justificado pela elaboração da imagem visual das palavras para facilitar a resposta⁷, já que, esses indivíduos apresentam ressaltadas suas áreas lógico-matemáticas e necessitam de estratégias diferentes para auxiliar na elaboração de respostas que envolvam áreas lingüísticas.

Durante a execução da atividade de moral não foi observado diferenças do aumento da atividade gama entre os grupos pesquisados. Esse resultado pode estar relacionado aos aspectos localizatórios da tarefa. Alguns autores afirmam que a região cortical órbito-frontal²⁷ é responsável por este comportamento e nesse caso, os eletrodos colocados no couro cabeludo teriam dificuldade de captar estas alterações geradas em regiões mais profundas.

Neste estudo, os estímulos foram oferecidos através do computador, o que justificaria a ausência de atividade cortical em áreas relacionadas ao processamento auditivo. Contudo, foi observada maciça ativação pelo ritmo gama, das áreas cerebrais posteriores, o que pode está relacionado ao estímulo ter sido realizado pelo meio visual (computador). Apesar de ser solicitado aos sujeitos que fechassem os olhos durante as atividades, eles

poderiam ter continuado utilizando a imagem visual para auxiliar na evocação das respostas.

A ressonância magnética funcional está em uso constante na realização de pesquisa que buscam relacionar atividade cognitiva com área cerebral^{13,22,28}. Contudo, suas imagens, por terem uma resolução temporal muito pobre, mostram os efeitos das atividades cognitivas com retardo e uma janela temporal muito grande. É sabido que a atividade cerebral acontece em milésimos de segundos, enquanto para que o sangue chegue às áreas recrutadas leva de 1 a 10 segundos. Assim, apesar da boa resolução espacial das técnicas hemodinâmicas, estas apresentam um grande obstáculo para ativação do processamento cognitivo, enquanto as técnicas de eletroencefalográficas detectam os impulsos elétricos instantaneamente no couro cabeludo, oferecendo uma grande precisão temporal²⁹.

Por outro lado, o EEG apresenta uma limitação, pois é realizado com eletrodos de superfície⁷ e, estes captam os impulsos elétricos apenas do córtex cerebral. Assim, as demais regiões cerebrais (subcortical, cerebelar e regiões corticais profundas) não podem ser observadas durante aplicação dessa técnica.

CONCLUSÃO

No conjunto estes dados confirmam que as técnicas eletroencefalográficas utilizando o ritmo gama como marcador da ativação cortical pode ser usado nos estudos de localização das atividades cognitivas. Por outro lado, foi demonstrado também que nos indivíduos de ciências exatas a ativação do ritmo gama sempre é mais intensa quando comparado com os indivíduos de ciências humanas. Embora, as regiões ativadas sejam as mesmas.

REFERÊNCIAS

1. Galaburda, AM. Developmental dyslexia and animal studies: at the interface between cognition and neurology. *Cognition* 1994 Apr-Jun; 50 (1/3): 133-49.

2. Llinas R, Ribary U, Contreras D, Pedroarena C. The neuronal basis for consciousness. *Phil.Trans. R. Soc. Lond. B* 1998 Nov 29; 353 (1377): 1841-9.
3. Damásio A. *The Feeling of What Happens: Body and Emotion in the making of consciousness.* London: William Heinemann 1999.
4. Pally R. *The Mind-Brain Relationship.* London: Karnac Books 2000.
5. Engel AK, Singer W. Temporal binding and the neural correlates of sensory awareness. *Trends Cognit Sci.* 2001 Jan 1; 5(1): 16-25.
6. Lawrence MW. Synchronous neural oscillations and cognitive processes. *Trends Cognit Sci.* 2003 Dec 12; 7(12): 553-9.
7. Fitzgibbon SP, Pope KJ, Mackenzie L, Clark CR, Willoughby JO. Cognitive tasks augment gamma EEG power. *Clinical Neurophysiology* 2004 August; 115(8): 1802-9.
8. Ihara A, Hirata M, Sakihara K, Izumia H, Takahashi Y, Kono K. Gamma-band desynchronization in language areas reflects syntactic process of words. *Neuroscience Letters* 2003 Jan 31; 339: 135-8.
9. Zikopoulos B, Barbas H. Prefrontal Projections to the Thalamic Reticular Nucleus form a Unique Circuit for Attentional Mechanisms. *The Journal of Neuroscience* 2006 July 12; 26(28):7348-61.
10. Kopp F, Schro E, Lipka S. Synchronized brain activity during rehearsal and short-term memory disruption by irrelevant speech is affected by recall mode. *International Journal of Psychophysiology* 2006; 61(2): 188 - 203
11. Slobounova S, Halletta M, Stanhope S, Shibasaki H, Role of cerebral cortex in human postural control: an EEG study. *Clinical Neurophysiology* 2005; 116(2): 315-323.
12. Deuschl G, Elsen A. Recommendations for the Practice of Clinical Neurophysiology: Guidelines of the International Federation of Clinical Neurophysiology. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol* 1999; Suppl 52: 3-10.
13. Meneses MS, Rocha SFB, Blood MRY, Tretin A, Benites PR, Kowacs PA, Oliveira NA, Simão CA, et al. Ressonância magnética funcional na determinação da lateralização da área cerebral da linguagem. *Arq. Neuropsiquiatr.* 2004; 62(1): 61-67.
14. Santos FH, Bueno OFA. Validation of the brazilian children's test of pseudoword repetition in portuguese speakers aged 4 to 10 years. *Braz J Med Biol Res* 2003; 36(11):1533-47.
15. Simos PG, Papanikolaou E, Sakkalis E, Mibheloannis S. Modulation of gamma-band spectral power by cognitive task complexity. *Brain Topography* 2002; 14 (2).
16. Dehaene E, Spelke E, Pinel P, Stanescu R, Tsvkin S. Sources of mathematical thinking: Behavioral and brain-imaging evidence. *Science* 1999; 284:970-974.
17. Dehaene S, Molko N, Coehn L, Wilson AJ. Arithmetic and the brain. *Curr. Opin. Neurobiol* 2004; 14:218-224.
18. Pereira JR, Reis AM, Magalhães Z. *Acta Médica Portuguesa* 2003; 16:107-116.
19. Fountora DR, Branco DM, Anés M, Costa JC, Portugeuz MW. Identificação de regiões cerebrais de linguagem: estudos de ressonância magnética funcional em pacientes com epilepsia refratária do lobo temporal. *J Epilepsy Cli Neurophysiol* 2008; 14(1): 7-10.
20. Keller K, Menon V. Gender differences in the functional and structural neuroanatomy of mathematical cognition. *Neuroimage* 2009; 47: 342-352.
21. Cabeza R, Nyberg L. *Imaging Cognition II: An Empirical Review of 27 PET and fMRI studies.* *J Cogni Neurosci* 2000; 12:1-47.
22. Bussatto G, Garrido GEJ, Bottino CMC, Cmargo CHP, Cheda CMD. *Ver Brás Psiquiatr* 2001; 23(2): 71-8.

23. Squire LR, Zola-Morgan JG, Mizzi FM, Petersen SE, Videen TO, Raichle ME. Activation of the hippocampus in normal humans: a functional anatomical study of memory. *Proc Natl Acad Sci USA* 1992; 89:1837-41.
24. Warrington EK, Milner M. Tachistoscopic number estimation in patients with unilateral cerebral lesions. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry* 1967; 30: 468-74.
25. Lent, R. Cem bilhões de neurônios – conceitos fundamentais da neurociência. São Paulo: Editora Atheneu; 2002.
26. Federmeier KD, Segal JB, Lombrozo T, Kutas M. Brain responses to nouns, verbs and class-ambiguous in context. *Brain* 2000; 123: 2552-66.
27. Alajouanine, T. Les grandes activités Du lobe occipital. Paris: Masson; 1960.
28. Portuguese MW, Costa DI, Marroni SP. Novas perspectivas na avaliação neuropsicológica em pacientes com epilepsia refratária. *J Epilepsy Clin Neurophysiol* 2005; 11(4 suppl 1):26-30.
29. França AI. Concatenações lingüísticas: estudo de diferentes módulos cognitivos na aquisição e no córtex [dissertação]. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002.

