
Artigo Científico

Observação das evidências cognitivas de aprendizagem motora no desempenho de jovens violonistas monitoradas por eletroencefalograma: um estudo piloto

Observation cognitive evidences of the motor learning in the performance of young guitarists monitored by electroencephalogram: a pilot study

Ana Clara Bonini-Rocha^a, Marilda Chiaramonte^{b, c}, Milton Antonio Zaro^{a, b}, Maria Isabel Timm^d e Daniel Wolff^e

^aPrograma de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano (PPGCMH), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil; ^bPrograma de Pós-graduação em Informática na Educação, UFRGS (PGIE-UFRGS), Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil; ^cDepartamento de Engenharia e Informática, Universidade de Caxias do Sul (UCS), Campus Universitário de Bento Gonçalves, Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul, Brasil; ^dCentro Nacional de Supercomputação (CESUP-RS), UFRGS, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil; ^ePrograma de Pós-Graduação em Música, UFRGS (PPGMUS-UFRGS), Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil

Resumo

O artigo apresenta evidências cognitivas de aprendizagem motora por pesquisa com eletroencefalograma (EEG) cujo protocolo e tarefa buscou motivar dois violonistas a treinar e aprender a tocar uma seqüência de notas oferecida em partitura e áudio. Objetivou-se aumentar a demanda cortical para atenção seletiva, processamento, evocação de memórias e ampliação de representações mentais. Sabe-se que a aprendizagem é construída endogenamente, por ação cognitiva dos indivíduos sobre novas informações assimiladas e acomodadas em repertório prévio. Reorganizando-se, dá significância às novas informações e cria conhecimento e estes estados cognitivos relacionados com aprendizado motor exigem vigília, atenção, abstração e programação, o que causa mudanças nos sinais biológicos elétricos captados por EEG. Monitoraram-se sinais de EEG durante leitura, audição e prática da tarefa e calculou-se as medianas das frequências (MF_{eeG}) e médias aritméticas simples de ondas eletroencefalográficas em 3.000 e 60.000 milissegundos. O modelo estatístico foi ANOVA, Teste *Bonferroni* e Teste *T* para amostras pareadas ($p < 0,05$); programas *Excell* 2003 e *SPSS* 14.0. A pesquisa mostrou a existência de específicas alterações de padrões de EEG, da aparente inatividade da pré-execução da tarefa à prática e memorização da partitura e desempenho motor. © Cien. Cogn. 2009; Vol. 14 (1): 103-120.

Palavras-chave: cognição; aprendizagem motora; EEG; prática musical.

Abstract

The article presents cognitive evidences of motor learning with electroencephalogram (EEG) whose protocol and task looked to cause two guitarists training and learning to touch a sequence of notes offered in score and sound. The demand aimed to increase cortical for selective attention, processing, evocation of memories and of mental representations. The motor learning is known when built the action with new assimilated and accommodated in formations - it creates knowledge. These cognitive states connected with driving demand wakefulness, attention, abstraction and planning and changes the biological electric signs caught by EEG. Signs of EEG were monitored during reading, audition and practice of the task and there were calculated the medium ones of the frequencies (MFeeg) and arithmetical simple averages of waves electroencephalographic in 3.000 and 60.000 milliseconds. The statistical model was ANOVA, Test Bonferroni and Test T for samples gauged tuns Test Bonferroni and Test T for gauged tuns samples ($p < 0,05$); programs Excell 2003 and SPSS 14.0. The inquiry showed the existence of specific alterations of standards of EEG, of the apparent inactivity of the daily pay-execution of the task to the practice and memorization of the score and driving performance. © Cien. Cogn. 2009; Vol. 14 (1): 103-120.

Keywords: *cognition; motor learning; EEG; musical practice.*

1. Introdução

A questão da aprendizagem sempre esteve presente na pesquisa educacional, moldada pela cultura e pelo contexto de cada momento histórico, e os instrumentos utilizados para lidar com a aprendizagem, como também se tentaram descrever na área da Pedagogia, estiveram comprometidos com a descrição e a subjetividade. Vale ressaltar a importância do pesquisador suíço Jean Piaget (1896-1980), biólogo que cultivava a objetividade científica, que pela primeira vez transpôs a barreira da especulação filosófica e dedicou-se a observar os processos da aprendizagem humana, propondo uma robusta teoria a respeito de seu desenvolvimento. Observar o processo da aprendizagem, pela nova postura proposta por Piaget, seria, então, observar a passagem dos alunos por estágios cognitivos, cuja existência – ou não – seria visível pela manifestação de informações (respostas relativas ao conteúdo) ou comportamentos (ação sobre o conteúdo). Essas informações e comportamentos quando assimilados, seriam acomodados em repertório prévio e reorganizados pelo sistema nervoso em significância e conhecimento (Piaget, 1987).

O fato de que Piaget estabeleceu uma teoria geral a partir da observação de poucos sujeitos (seus filhos), em situações não controladas, possivelmente difíceis de serem completamente reproduzidas, em função de diferenças culturais e mesmo de alterações na metodologia de observação utilizada, não diminuem a importância de sua obra e o pioneirismo do seu legado, na descrição do que chamou epistemologia genética, para explicar a gênese endógena da formação do conhecimento humano, através da construção ativa do conhecimento pelo sujeito. Se na sua gênese, este processo estivesse embasado na formação científica do pesquisador, mesmo sem instrumentos tecnológicos, ainda inexistentes, nem estratégias de validação, as constatações de Piaget já teriam sido testadas no seu aspecto biológico e a estruturação do pensamento já teria ido além de descrições, entrevistas e questionários, característicos da cultura qualitativa da contemporânea de pesquisa educacional no Brasil (Di Dio, 1974; Gouveia, 1971, 1974, 1976; Gatti, 2001, 2004).

Especificamente quanto à aprendizagem motora, ou processo de aquisição de habilidades motoras, desde a década de 60, ela tem sido considerada como uma organização ou padronização espacial e temporal da atividade neural de controle e ajuste de partes do corpo no espaço. Foi descrita como um processo de aperfeiçoamento de habilidades cujas informações motoras, transformadas em código no sistema nervoso, transmitem-se por

unidade de tempo no espaço (Fitts e Posner, 1967; Keele, 1968, 1982). Inicialmente conceituada como o processo interno de mudança neural que ocorre como resultado da experiência a partir de estímulos advindos do ambiente e armazenados como memória (Sage, 1984), o aprendizado como um todo é dependente de estado de vigília, da atenção, e da emoção envolvida além de outros estados que predisõem à formação de memórias (Gordon, 1989; Brooks, 1986b).

Estudos com Ressonância Magnética Funcional por Imagem e com eletroencefalografia (EEG) comprovam as teorias quando mostram os parâmetros de estado do encéfalo humano vivo em tempo real. A Ressonância mostra, pelo aumento na concentração de fluxo sanguíneo nas diversas regiões anatômicas, que a exposição de sujeitos às tarefas cognitivo-motoras resulta em aumento de ativação de áreas de projeção (ou primárias - relacionadas diretamente com sensibilidade e motricidade) e em áreas de associação (secundárias e terciárias - responsáveis por relacionar as informações das áreas primárias e de realizar funções cognitivas complexas e estratégias comportamentais a partir das suas memórias). A atividade metabólica no encéfalo humano vivo exposto ao treinamento de determinadas tarefas sofre alterações na sua estrutura micro-anatômica (Dinesh *et al.*, 2003; Faugeras, 2004; Jantzen *et al.*, 2005; Cantero *et al.*, 2004; Rossini e Pauri, 2000). Essas pesquisas comprovaram que as informações advindas dos exteroceptores, proprioceptores e vicerceptores se dirigem, primeiramente, para áreas primárias específicas do encéfalo, e depois ficam difusas por áreas secundárias e terciárias justapostas, quando se tornam conscientes ou não. No trajeto das informações elas são provavelmente decodificadas, conhecidas ou reconhecidas, armazenadas ou não (Squire e Kandel, 2003).

O EEG mostra, pela atividade elétrica gerada pelas células nervosas, o comportamento fisiológico das frequências de ondas eletroencefalográficas. O estudo clássico de Bressler (1990) põe em evidência as frequências corticais e suas relações com o controle dos movimentos, como uma variável eletro-neuro-fisiológica medível e quantificável. Outros estudos vieram reforçar as hipóteses de Bressler como os de Pfurtscheller e colaboradores (1993), MacKay (1997), Popivanov e colaboradores (1999), Babiloni e colaboradores (2003), Dinesh e colaboradores, (2003), dentre outros. Ampla revisão de literatura sobre EEG e Aprendizagem Motora pode ser encontrada em Bonini-Rocha (2008) e Bonini-Rocha e colaboradores (2008).

Este artigo apresenta o desenho experimental que causou mudanças no estado cognitivo e, conseqüentemente, nos sinais eletrofisiológicos captados, de dois músicos violonistas (V1 e V2) que foram confrontados a uma tarefa cognitivo-motora caracterizada por uma seqüência de notas musicais disponível em partitura e áudio. Eles foram monitorados por 10 eletrodos de EEG aderidos por toca e gel condutor ao escalpo. Desenvolveu-se o aparelho de EEG com *software Labview* para aquisição e processamento dos sinais bioelétricos e monitorou-se a efetividade do processamento neural e – possivelmente – do aprendizado motor (ambos relacionados à habilidade de executar a tarefa sem ler a partitura, isto é, de memória).



Figura 1 - Violonista preparado para iniciar o experimento.

2. Experimento

No presente artigo, apresenta-se pesquisa com dois sujeitos, ambos masculinos, destros, idade de 18 e 20 anos, alunos do Instituto de Artes da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, que assinaram termo de consentimento livre e informado (CEP/UFRGS n. 2006654). Além do protocolo, também foram validados *hardware* e *software Labview* na aquisição e processamento de sinais bioelétricos para aparelho de EEG desenvolvido no local, com recursos matemáticos não disponíveis em equipamentos comerciais, testado e comparado contra um EEG comercial (Bonini-Rocha *et al.*, 2008). O experimento foi realizado na

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e na Universidade de Caxias do Sul (UCS - Região dos Vinhedos).

Os eletrodos de superfície monitorados (Cz, C3, C4, Pz, P3, P4, T3, T4, T5, T6) foram escolhidos de acordo com a área que supostamente apresentaria aumento de função nos casos de confrontamento com a tarefa e suas etapas, conforme dita o referencial teórico sobre a demanda de processamento de informações neuroglial, necessária ao controle de aquisição de uma habilidade motora. Forma, estrutura e função do cérebro foram consideradas para escolha desses 10 canais, especificamente áreas motoras primárias, secundárias, somestésica, sensitiva, auditiva, têmporo-parietal e límbica terciárias; envolvendo região central do lobo frontal e lobo parietal (eletrodos C e P) e lobo temporal (eletrodos T) bilaterais (eletrodos ímpares no hemisfério cerebral esquerdo, eletrodos pares no hemisfério cerebral direito, e os eletrodos Cz e Pz centrais).

V1 foi submetido a uma única sessão de aquisição de sinais, e V2 a cinco sessões, uma por semana, durante 30 dias. O objeto de aprendizado proposto para ambos foi de aprender uma tarefa cognitivo-motora musical até tocá-la de memória no violão. Ambos foram submetidos à mesma seqüência de notas musicais apresentadas em forma de partitura e de áudio, por igual protocolo, com duração total de 30 minutos. V1 tocou a seqüência de notas por 15 minutos e foram aproveitados os 2 primeiros e os 2 últimos minutos dessa prática. V2, supostamente treinou uma vez ao dia, e aproveitaram-se os sinais do 1º dia (considerado *antes*) e do 5º dia (considerado *depois*).

2.1. Desenho experimental

O protocolo proposto teve como objetivo gerar sinais bioelétricos neurofisiológicos, que foram registrados por EEG e testados quanto à metodologia de coleta, processamento e análise dos sinais, inspirados nos modelos teóricos e experimentais descritos pelas Neurociências e pelas Ciências do Movimento Humano (Purves *et al.*, 2005; LaMantia Katz, 2005a, 2005b; Ganong, 2003; Squire e Kandel, 2003; Lent, 2001a, 2001b, 2001c; Schmidt e Lee, 1999a, 1999b; Kandel *et al.*, 1997a, 1997b; Jessel, 1997a, 1997b; Brooks, 1986a). O desenho experimental foi desenvolvido considerando-se a perspectiva comportamental do que é sistêmico, celular e molecular. A clássica teoria da polarização dinâmica, uma das bases da Neurofisiologia, sustenta que os eventos nervosos provocam a chegada de corrente elétrica aos neurônios e cujas somas, se superarem seus limiares de excitabilidade, geram potenciais de ação conduzidos ao elemento pós-sináptico de outro neurônio, formando uma rede entre conjuntos de neurônios e glia, transmitido por sinapse química. Os somatórios podem ser captados por eletrodos aderidos ao escalpo.

Assim, com o objetivo de motivar e de garantir a atenção necessária do sujeito ao aprendizado, desenvolveu-se desenho experimental baseado nas relações entre morfologia e função do sistema nervoso central, classificando-se as ondas eletroencefalográficas em Alfa, Teta, Beta e Gama de acordo como as relações feitas entre cognição e motricidade (Fairchough *et al.*, 2005; Gevins *et al.*, 1979a, 1979b; Shaw, 1996; Basar-Eroglu *et al.*, 1996; Slobounov, Chiang, 2002; Luft, Andrade, 2007; Bressler, 1990; Pfurtscheller *et al.*, 1993; Schieber, Hibbard, 1993; Mackay, 1997; Popivanov *et al.*, 1999; Babiloni *et al.*, 2003; Kim *et al.*, 2005) (quadro 1).

Tentou-se gerar sinais bio-elétricos corticais referentes às frequências das ondas eletroencefalográficas supostamente relacionadas com etapas do processamento de informação (aprendizagem) sob o efeito de prática cognitivo-motora da tarefa (Leitura, Audição e Prática no violão), e compará-los com os sinais de vigília com relaxamento de pré-execução (Base). Durante 2 minutos iniciais, monitorou-se a situação dos violonistas com os

olhos abertos com suposta inatividade, e sem atenção em pensamento específico, o que foi considerado como situação de base.

Classificação das Ondas Eletroencefalográficas em Bandas de Frequências	
Teta (4-7,5 Hz)	Vigília com estado de atenção forçada (concentração); resolução de problemas lógicos e processamento de memórias.
Alfa (8-13 Hz)	Vigília com relaxamento.
Beta (14-40 Hz)	Vigília com estado de atenção.
Gama (40-100 Hz)	Vigília com estado de programação motora; transmissão difusa de informações corticais antes de o evento motor acontecer.
Morfologia X Função	
Eletrodos	Regiões cerebrais e as respectivas áreas de topografia sensório-motora.
CZ, C3, C4	Frontal - Área Motora Primária - correspondência com as partes do corpo; ativada juntamente com Área Motora Suplementar (secundária) quando um movimento complexo seqüencial é planejado e executado. Parietal - Área Somestésica Primária - correspondência com as partes do corpo, é ativada sempre que algum receptor sensitivo ou sensorial específico for estimulado.
PZ, P3, P4	Parietal - Área Sensitiva Secundária.
T3, T4, T5, T6	Temporal e Parietal - Área Sensitiva Primária Área Auditiva Primária Área Sensitiva Secundária, Área Temporo-Parietal Terciária Límbica - Área Límbica Terciária.

Quadro 1 - Classificação teórica em bandas de atividade cerebral, localização dos eletrodos no escalpo e função.

A hipótese de que o protocolo proposto seria capaz de monitorar diferenças nos sinais de EEG, entre o recebimento da informação sobre o que o violonista deveria aprender – Leitura, Audição e Prática - (processamento cognitivo relacionado ao controle motor) e as alterações dentro das bandas de frequências foi confirmada. Aumentos de frequências em Alfa e Beta nos eletrodos posicionados sobre as áreas primárias C e P, geradoras da atenção necessária para aquisição cognitiva da tarefa e em Teta e Gama, na etapa de Prática, nos eletrodos posicionados nas áreas secundárias e terciárias (T), mostraram a demanda de atenção exigida para a consolidação de novos padrões motores juntamente com a evocação de memórias “dinâmicas” (Monteiro, 2002: 47).

Acreditou-se que o tempo total de experimento assim como os tempos destinados a cada etapa para monitoração, foi suficiente para comportar aquisição, consolidação de memória e capacidade de evocação do objeto de aprendizado, e que a quantidade de dados monitorados em tempo real pode representar um processo. A justificativa para este desenho se sustentou em evidências científicas de que quando um sujeito é exposto a uma tarefa específica, ele inicia um processo cognitivo de conhecimento de informações sensoriomotoras relacionadas às necessidades exigidas pela habilidade. Supõe-se que ele cria novas capacidades, desenvolve controle motor e aprende a habilidade.

Os violonistas foram expostos à necessidade de processamento de informações de leitura e de audição, relativas ao conhecimento e reconhecimento de padrões gráficos e

sonoros relacionados com a tarefa, ambos relacionados com a prática motora que possibilita obtenção conhecimentos e reconhecimentos de padrões de controle motor, neste caso.

O último dia de aquisição de sinais para V2 deu-se quando o ele aprendeu a tarefa motora, no caso, tocou a seqüência de notas sem ler a partitura, baseando-se em sua memória cognitiva e motora para execução do som harmônico no violão.

2.2. Tarefa

A tarefa cognitivo-motora proposta foi uma seqüência de notas musicais inéditas, desenvolvida para o experimento, disponibilizada aos sujeitos em notação e em áudio, com tempo de 20 segundos, considerada por especialista como sendo de alto grau de dificuldade, com acordes não convencionais, o que, supostamente, garantiria a motivação e atenção máxima dos violonistas. Os sujeitos receberam orientação para, primeiramente, ler a partitura em silêncio (5 minutos); num segundo momento, ouvir a gravação (5 minutos); e praticá-la no violão (15 minutos), enquanto foram monitorados 2 minutos de sinais.

Os critérios de construção da tarefa foram: compasso binário (2/4); duração de aproximadamente 20 segundos (semínima igual a 100); duas sessões de 8 compassos cada; apenas as figuras de semínima, colcheia, semicolcheia e quiálteras de colcheia, com ou sem ponto de aumento, para facilitar a compreensão do ritmo. Por causa da variedade de informações inéditas, foram utilizadas notas de maior duração como pontos de repouso. Para garantir que a padronização dos movimentos fosse evitada, utilizou-se variação rítmica, mudança da ordem de utilização dos dedos, alteração da relação dedo-corda e variação de quais dedos foram utilizadas simultaneamente. A estrutura foi disposta da seguinte maneira:

- 1ª parte (compassos 1-8): Apenas cordas soltas; deixar as cordas soando (sem necessidade de apagadores); digitação de mão direita indicada integralmente; apenas um dedo de mão direita por nota; repetição da mesma figura rítmica três vezes seguidas (compassos 5-7) com variação da digitação; final com nota longa (compasso 7-8) para outorgar ao violonista tempo de preparação para a segunda parte;
- 2ª parte (compassos 9-16): Nenhuma corda solta; uso exclusivo da primeira posição (para evitar translados); execução non-legato; digitação de mão esquerda indicada integralmente; acidentes utilizam sustenidos, nunca bemóis, para facilitar leitura; movimentos tonais e acordes familiares foram evitados para assegurar a complexidade na movimentação dos dedos com distensão longitudinal no último compasso.

Considerou-se que o nível de dificuldade exigido pela tarefa poderia gerar um estado de estresse e que, o próprio objeto de aprendizado, poderia exercer efeitos secundários sobre a cognição. Considerou-se que os procedimentos realizados no experimento, como os eletrodos, aderidos por touca e gel ao escalpo, conectados por fios ao PC, poderia produzir um efeito do estresse e produzir respostas de ansiedade, dentre elas a distração cognitiva, ou seja, amnésia, devido ao não registro de estímulos extrínsecos (Wolpe, 1969). Sabe-se que a ansiedade é uma condição que não predispõe ao aprendizado (Squire, 2004) e, por isso, optou-se por agregar métodos da Psicologia para monitorar variável tão significativa para a pesquisa utilizando-se a Escala de Unidades Subjetivas.

The image shows a musical score titled "SEQÜÊNCIA 1". It consists of two staves of music. The first staff is labeled "deixar vibrar as cordas soltas" and features a series of notes with various dynamics (p, mp, mf, f) and articulations (accents, slurs). The second staff is labeled "non-legato" and contains more complex rhythmic patterns with slurs and dynamic markings. The score is written in a standard musical notation with a treble clef and a 2/4 time signature.

Figura 2 - Partitura Musical (tarefa desconhecida desenvolvida para o experimento).

2.3. Escala de Unidades Subjetivas (SUDS)

A *SUDS* é um instrumento qualitativo criado e utilizado pelos profissionais da Psicologia para medir a magnitude da resposta de ansiedade do paciente frente a estímulos provocadores do medo, e assim graduando as situações de potencial provocador de estresse e proporcionando a evidência de um padrão para julgar a eficácia do treino em relaxamento proposto pelo psicólogo (Caballo, 1996). Com o mesmo objetivo geral, ele está sendo utilizado nesta pesquisa contextualizado à medição da magnitude da resposta de ansiedade do violonista ante o estímulo provocador de estresse (no caso, a tarefa motora que deverá aprender).

Seguindo o protocolo, no primeiro dia do experimento, o sujeito foi solicitado à apontar a ansiedade mais aterradora que haja experimentado em situações relacionadas à prática no violão ou que possa se imaginar experimentando. A esse acontecimento deu-se o número 100. Logo, pediu-se para que recordasse a experiência mais tranqüila e agradável que tenha desfrutado. A esse acontecimento deu-se o score 0. Após determinar os dois pólos extremos da escala, o sujeito foi solicitado a descrever experiências que se colocassem na metade do caminho entre estes dois extremos de ansiedade e tranqüilidade. A esses acontecimentos deu-se o número 50, pedindo-se também descrições entre 0 e 50 e entre 50 e 100. Em seguida e nos outros dias do experimento, antes da exposição às etapas da tarefa, os violonistas preencheram a *SUDS* (ver item 2.1.).

2.4. Metodologia de aquisição, processamento e análise dos sinais de EEG

Utilizou-se para aquisição e processamento dos sinais o *software Labview 8.2* e, como modelo matemático de processamento, a Transformada Rápida de *Fourier (FFT)*, além da impedância de 3Ω ; taxa de amostragem: 1500 amostras/s (*fsampling*); velocidade de aquisição de 4.500 amostras por janela de 3 segundos; em *PC off-line* de mesa. Houve cronometragem para precisão entre comando verbal e início da monitoração das sessões. Monitorou-se 10 canais bilaterais de EEG cujos sinais classificados de acordo Teta, Alfa, Beta e Gama foram conseguidos utilizando-se filtros, após terem sido transformados por *FFT* que mostra dados de médias, picos de frequências e medianas. Foram calculadas as medianas das frequências (MF_{ceg}) e médias aritméticas simples de ondas eletroencefalográficas classificadas entre bandas de atividade Alfa, Beta, Teta e Gama, em 3.000 e 60.000 milissegundos. O modelo estatístico utilizado foi *ANOVA* de 2 caminhos, Teste de *Bonferroni* e Teste *T* para amostras pareadas ($p < 0,05$), e cálculos de médias aritméticas simples, utilizando-se *Excell 2003* e *SPSS 14.0*.

3. Resultados

3.1. Apresentação da Escala de Unidades Subjetivas (SUDS)

No caso deste estudo, V1 e V2 calibraram a *SUDS* antes de iniciar e no término de cada sessão do experimento (quadro 2). *SUDS* V1 = 0, e *SUDS* V2 = 10. Os escores mostraram que a variável ansiedade, de acordo com a qualidade do fator do seu estresse, não estava presente e por isso isolou-a da discussão dos resultados. Ressalta-se que se pode interpretar este escore sugerindo que a motivação e atenção dos sujeitos estavam voltadas para alcançar êxito no cumprimento da tarefa motora, classificada, pelo primeiro, como mecânica, sem envolvimento emocional. Sugere-se que a tarefa, para esta amostra, foi entendida como um desafio de aprendizado e não como teste de desempenho, absolutamente de acordo com os objetivos da pesquisa.

3.2 Apresentação dos sinais de EEG

Apresentam-se os sinais captados pelo aparelho de EEG, classificados em sinais adquiridos *antes e depois* do tempo de prática da tarefa (treinamento). No caso de V1, de 15 minutos, e de V2 de 30 dias. Analisou-se os dados do de acordo com médias aritméticas simples calculadas em 60.000 ms. Comparou-se a qualidade dos sinais de base com as três etapas da tarefa. As observações mostraram o comportamento das frequências das ondas eletroencefalográficas no tempo real de treinamento para memorização da tarefa (Bonini-Rocha *et al.*, 2008a, 2008b). Os gráficos mostram 20 janelas de 3.000 ms, escolhidas com baseline de 1.500 fsampling. Nota-se no gráfico 1, que durante largo tempo de 39.000 ms a banda de frequência Alfa comportou-se em frequências maiores comparados com o estado de base (traçado em preto), da mesma forma em que Teta na etapa de audição (amarelo), confrontadas com a leitura (rosa). Nota-se que uma janela de 3.000 ms não representou o sinal em 60.000 ms. No gráfico 2, observa-se o que ocorre entre os segundos 10-20 e 30-40; no gráfico 3, predominantemente em relação a prática 1 (verde) e prática 4 (vermelho), no segundo 36; e no gráfico 4, comparando-se a 5ª janela com a 18ª especificamente com a etapa leitura (rosa). O quadro 3, apresenta os eletrodos e as respectivas bandas onde houve altas frequências em relação a base.

Os dados referentes à V2, foram analisados por ANOVA 2 caminhos (Tempo X Etapas), segundo classificação em Bandas (Alfa, Beta, Teta e Gama) ($p < 0,05$). Quanto as medianas das frequências de EEG (MF_{eeg} , foram classificadas em bandas e médias dessas MF_{eeg} . A tabela 1, apresenta os resultados e mostra o principal achado estatístico destes dados: que, independentemente de qual tenha sido a etapa da tarefa, de um modo geral, as MF_{eeg} , se alteraram de formas diferentes no tempo, principalmente em frequências Teta e Gama, sendo o efeito estatístico das etapas sobre Teta predominante. A análise multivariada garantiu que a MF_{eeg} sofre efeito do tempo de acordo com a classificação das bandas, e para testar este efeito (das bandas), realizou-se análise de covariância. Observou-se que existe uma interação entre a banda e o tempo ($p < 0,05$), podendo-se supor que uma banda, quando escolhida como variável, interfere e altera os resultados no tempo. O teste post hoc de Bonferroni (tabela 2), mostrou índices de significância que apontam para o destaque que tem a etapa de audição em relação a Teta e Alfa, reforçada pelo efeito do tempo nas etapas de audição e prática também. A tabela 2 mostra maiores frequências para manter a vigília sobre a audição antes do treinamento, assim como para atentar-se aos efeitos da harmonia sonora enquanto prática.

Escore	Viol.	Calibração
0	1	"Tocando violão em casa, praticando técnica - gestos mecânicos -, que não seja peça de repertório, que não mexa com o emocional."
	2	"Tocando no quarto sozinho."
0 e 50	1	"Tocando uma peça que não exija interpretação."
	2	"Tocar em casa, uma peça de demonstração para alguém."
50	1	"Tocando para pessoas desconhecidas, descompromissadamente."
	2	"Tocando na aula para os colegas."
50 e 100	1	"Sendo avaliado - subir na escala significa aumentar do nível de exigência da avaliação."
	2	"Tocar numa aula para professor e colegas."
100	1	"Tocando em público, sendo avaliado por exigências a serem cumpridas, quando limites criteriosos são impostos à tarefa."
	2	"Tocando num recital."

Quadro 2 - Calibração da *SUDS* realizada pelos violonistas 1 e 2, antes, durante e após cada sessão de confrontamento da tarefa cognitivo-motora com o desenho experimental.

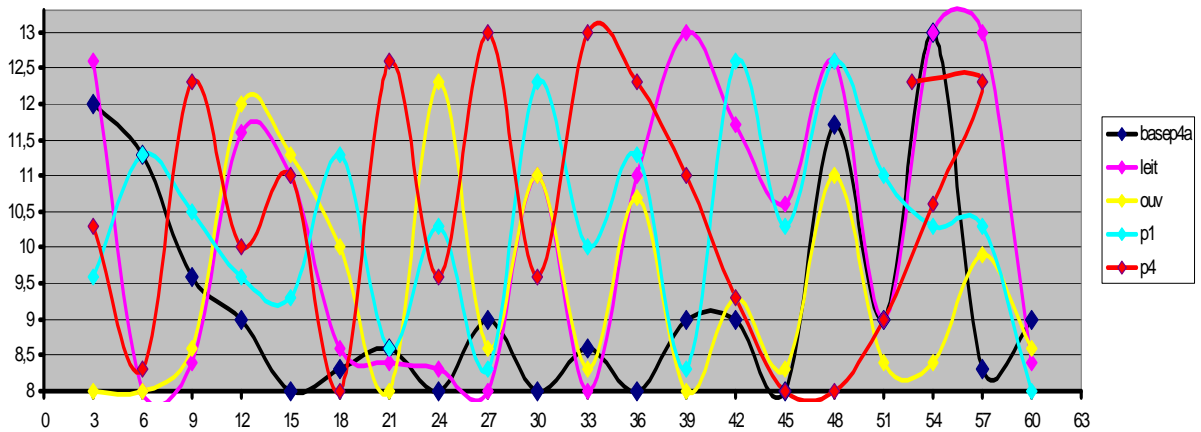


Gráfico 1 – Traçados de EEG V1, eletrodo P4, banda de frequência Alfa (de 8 a 13 Hz), 60 s de tempo (y = 20 janelas representativas de 3 s cada), etapas da tarefa (rosa = leitura, amarelo = audição, verde = prática 1 (1ª execução), vermelho = prática 4 (última execução) e base (preto).

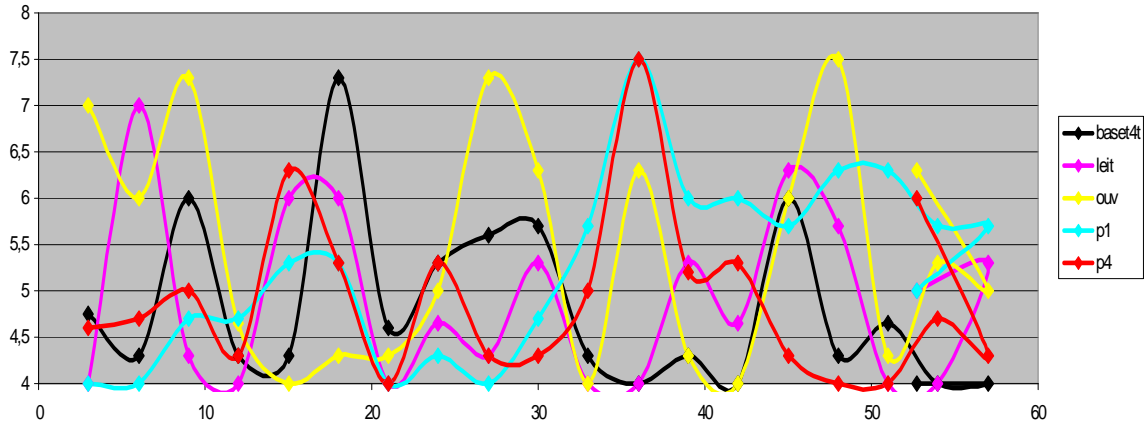


Gráfico 2 - Traçados de EEG V1, eletrodo P4, banda de frequência Teta (de 4 a 7,5 Hz) 60 s de tempo (y = 20 janelas representativas de 3 s cada), etapas da tarefa (rosa = leitura, amarelo = audição, verde = prática 1 (1ª execução), vermelho = prática 4 (última execução) e base (preto)).

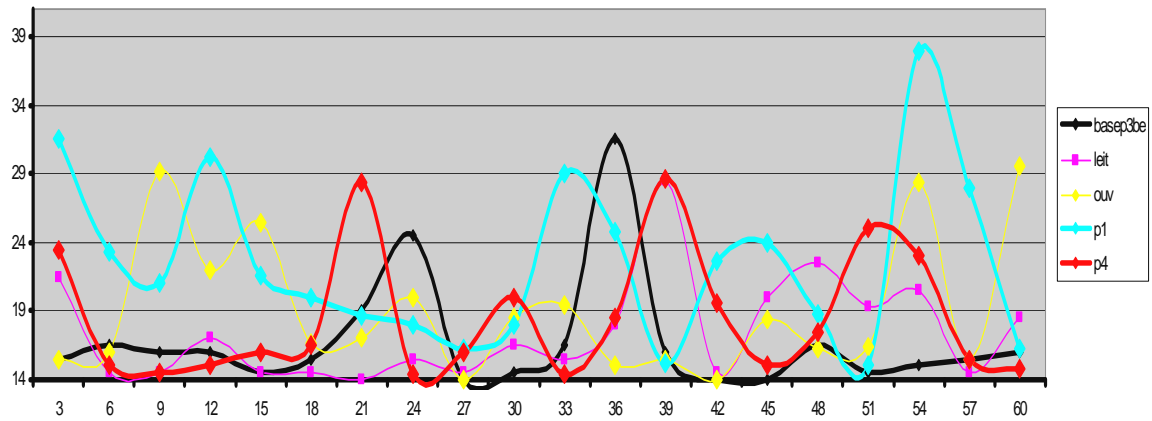


Gráfico 3 - Traçados de EEG V1, eletrodo P4, banda de frequência Beta (de 14 a 40 Hz) 60 s de tempo (y = 20 janelas representativas de 3 s cada), etapas da tarefa (rosa = leitura, amarelo = audição, verde = prática 1 (1ª execução), vermelho = prática (última execução) e base (preto)).

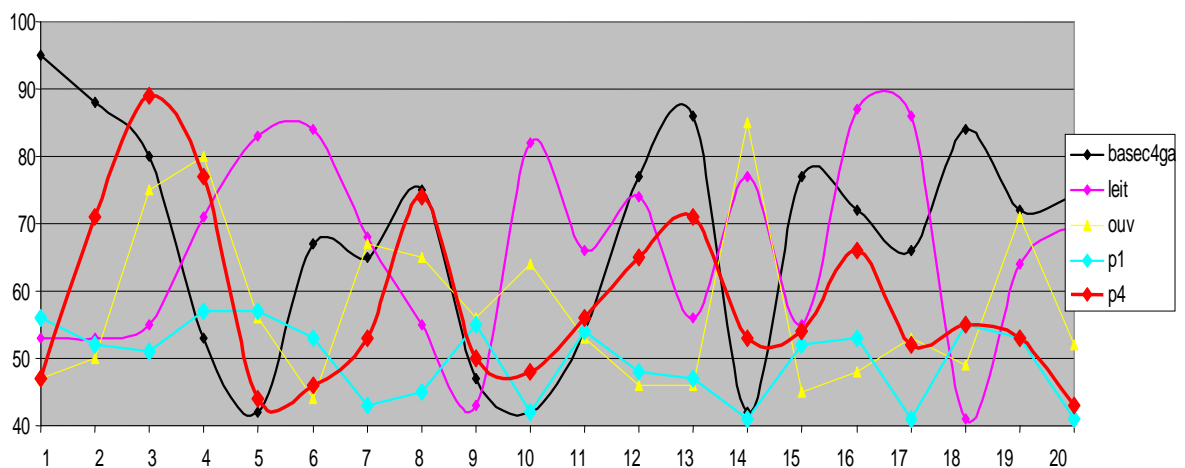


Gráfico 4 - Traçados de EEG V1, eletrodo P4, banda de frequência Gama (de 40 a 100 Hz), 60 s de tempo (y = 20 janelas representativas de 3 s cada), etapas da tarefa (rosa = leitura, amarelo = audição, verde = prática 1 (1ª execução no violão), vermelho = prática 4 (última execução no violão) e base (preto)).

Band	Elet	Etap	mMFeeg antes	mMFeeg depois	Band	Eletr	Etap	mMFeeg antes	mMFeeg depois	
Alfa	CZ	Base	9,13	9,13	Alfa	Cz	Audi.	9,73	9,00	
			9,03	9,03			C3	9,32	8,70	
		C4	9,11	8,70		C4	9,11	8,60		
		P3	9,25	9,25		P3	9,68	9,00		
		P4	9,27	9,00		P4	9,43	8,60		
		T3	9,08	9,08		T3	10,58	10,58		
		Cz	Leitu.	9,00	9,00		Cz	Práti.	10,45	10,45
		C3	9,09	9,00		C3	9,32	9,00		
		C4	9,13	8,30		C4	10,26	10,30		
		P3	8,84	8,70		P3	9,27	9,00		
		P4	10,31	10,60		P4	10,52	10,45		
		T3	9,89	10,00		T3	9,92	10,00		
	Gama	P3	Base	51,75	46,00	Beta	P3	Base	16,77	16,00
Leitu.			57,07	47,00	T3			23,17	22,30	
		Audi.	56,45	45,00		P3	Leitu.	17,44	16,50	
		Práti.	52,65	50,00		T3	23,52	24,00		
		T4	Base	4,78	4,30		P3	Audi.	19,12	17,00
Teta	T4	Leitu.	4,89	4,65		T3	24,52	24,50		
		Audi.	5,45	5,30			P3	Práti.	18,50	16,20
		Práti.	4,92	4,70		T3	23,69	21,00		

Quadro 3 – Eletrodos e bandas de atividade de EEG e as respectivas médias das medianas das frequências captadas pelo EEG (mMFeeg) em Hz, 60.000 ms de tempo, que tiveram aumento durante exposição de V2 à tarefa cognitivo-motora nas etapas de leitura, audição e prática, confrontadas com os sinais de base (pré-exposição) antes e depois da prática de uma vez ao dia por um mês. Em vermelho os valores que aumentaram antes e depois do treinamento. Audi, audição; Leitu., leitura; Práti., prática.

	TETA	ALFA	BETA	GAMA
Efeito do Tempo	(0.184)	(0.706)	(0.112)	(0.447)
Efeito das Etapas	(0.0001)	(0.098)	(0.094)	(0.002)
Interação (Tempo X Etapa)	(0.007)	(0.002)	(0.762)	(0.455)

Tabela 1 - Comportamento das bandas de frequência das ondas eletroencefalográficas e os efeitos no primeiro e no quinto dias nas etapas (leitura, ouvida, prática) em relação ao estado de pré-exposição (base), assim como a interação Tempo X Etapas. Medias das medianas de frequência (mMFeeg) em Hz; (p<0,05).

Band	Etapas	Antes	Depois	Band	Etapas	Antes	Depois
Teta	base X leitura	(0,0920)	(0,292)	Alfa	base X leitura	(1,000)	(1,000)
	base X audição	(0,0030)	(0,015)		base X audição	(0,009)	(1,000)
	base X prática	(1,0000)	(1,000)		base X prática	(1,000)	(0,291)
	leitura X audição	(0,0001)	(1,000)		leitura X audição	(0,005)	(1,000)
	leitura X prática	(0,8820)	(0,059)		leitura X prática	(1,000)	(0,144)
	ouvida X audição	(0,0001)	(0,002)		audição X prática	(0,002)	(0,100)
Beta	base X leitura	(1,000)	(1,000)	Gama	base X leitura	(1,00)	(1,000)
	base X audição	(1,000)	(1,000)		base X audição	(1,00)	(1,000)
	base X prática	(1,000)	(0,324)		base X prática	(1,00)	(0,531)
	leitura X audição	(0,883)	(1,000)		leitura X audição	(1,00)	(1,000)
	leitura X prática	(1,000)	(1,000)		leitura X prática	(1,00)	(0,154)
	audição X prática	(0,339)	(1,000)		audição X prática	(1,00)	(0,777)

Tabela 2 - Teste de Bonferroni das médias das medianas de frequências de ondas eletroencefalográficas em Hz, relacionando-se o efeito do tempo: Etapas (base - pré-execução, leitura, ouvida e prática) X Bandas (Teta, Alfa, Beta, Gama) X Tempo (antes = primeiro dia/depois = quinto dia). Itálico para os dados de significância estatística ($p > 0.05$).

4. Discussão

Pôde-se supor que Teta, Alfa, Beta e Gama sejam intimamente afetadas pelas diferentes etapas da tarefa, conforme está reforçado na análise estatística. Os dados bandas Teta (4 a 7,5 Hz), Alfa (8 a 13 Hz), Beta (14 a 40 Hz) e Gama (40 a 100 Hz) confirmaram a literatura quanto serem relacionadas às mudanças na atividade cognitiva, em geral, no aprendizado de tarefas cognitivas (Fairchough *et al.*, 2005; Gevins, *et al.*, 1979a, 1997b; Shaw, 1996; Basar-Eroglu *et al.*, 1996; Andrew e Pfurtscheller, 1993; Slobounov *et al.*, 2002), assim como no aprendizado de tarefas motoras (Fairchough *et al.*, 2005; Luft, Andrade, 2007; Bressler, 1990; Pfurtscheller *et al.*, 1993; Schieber e Hibbard, 1993; MacKay, 1997; Popivanov *et al.*, 1999; Babiloni, *et al.*, 2003; Kim *et al.*, 2005). Observou-se que existe uma interação entre a banda e o tempo ($p < 0,05$), podendo-se supor que uma banda, quando escolhida como variável, interfere e altera os resultados no tempo.

O efeito estatístico das etapas sobre Teta foi predominante, ressaltando-se para o fato de que esta banda está descrita como forte indicadora de estados de concentração, operações lógicas e memórias evocadas, característica de regiões confluentes corticais, no caso desta pesquisa, a área de confluência têmporo-parieto-occipital, que provavelmente tenham sido monitoradas pelos eletrodos T5 e T6. Do ponto de vista funcional, estas capacidades do sistema nervoso parecem ser fundamentais para o desenvolvimento das habilidades de um violonista.

A exclusiva relação entre audição e todas as outras etapas no tempo antes, na faixa de frequência Teta, permite que se reconheça a tarefa como musical e que se sugira sobre uma forte relação entre a aquisição de informação musical e evocação de memórias já consolidadas. Isto é reforçado pelo fato de que ouvida e prática apresentarem forte relação também após o aprendizado da tarefa, ou seja, talvez o sujeito tenha desempenhado a tarefa sem ler a partitura utilizando como base eletrofisiológica predominantemente informações contidas em memórias sonoras de harmonia, e não em representações gráficas. Cabe aqui, no geral, supor a importância da ouvida em situações de ensino e aprendizagem de música (Jourdain, 1998; Vasconcelos, 2002; Naveda, 2002; Krüger, 2003; Del Bem, 2003).

Assume-se neste artigo que o *processo de aprendizagem de uma tarefa motora seja simultaneamente cognitivo*, desde a aquisição da determinada informação, objeto de aprendizado, como na sua consolidação e evocação quando necessário for. Memória e atenção são responsáveis por perceber, decidir, organizar e acionar movimentos (Sage, 1984; Brook, 1986b; Kandel *et al.*, 1997a; Schmidt e Lee, 1999a; Kelso, 1999; Ganong, 2003; Squire e Kandel, 2003; Purves *et al.*, 2005).

O comportamento das frequências no tempo está descrito como sendo fonte de interação neural entre as áreas do cérebro e a medula espinhal, por feixes descendentes até motoneurônios, ativadores dos padrões de contrações de grupos musculares. Esta hierarquia se dá a priori do comportamento motor porque representam capacidades de processamento geral de informação no sistema nervoso, processos sensoriais e cognitivos que antecipam o controle motor. Por exemplo, dentre as funções descritas para Gama está a de construir bloqueios para evitar a perda de atenção seletiva necessária para o controle dos movimentos pelo planejamento cognitivo (Bressler, 1990; Macay, 1997) e de estar relacionada com evocação de memórias relacionadas às representações da motricidade (Hirai *et al.*, 1999; Basar-Eroglu *et al.*, 1996; Cantero *et al.*, 2004).

Estes dados corroboram com o que é descrito na literatura sobre o comportamento de bandas eletroencefalográficas na aprendizagem cognitiva e motora (Fairchough *et al.*, 2005; Luft, Andrade, 2007; Bressler, 1990; Pfurtscheller *et al.*, 1993; Schieber, Hibbard, 1993; MacKay, 1997; Popivanov *et al.*, 1999; Babiloni, *et al.*, 2003). De forma simplificada, Alfa está descrita como a atividade representativa de estados cognitivos relacionados a estados de vigília; e Gama, presentes em condições de planejamento de movimentos. Além disso, Teta e Gama são relacionadas com evocação de memórias motoras. Por isso, é de se esperar que sejam faixas de frequências muito influenciadas pelas etapas da tarefa, tendo em vista a especificidade das diferenças entre ler, ouvir, tocar violão e imaginar-se tocando, do ponto de vista de processamento de informações, planejamento e programação de comportamentos.

Conforme mostram as conhecidas pesquisas nas áreas das ciências cognitivas e comportamentais, as informações específicas de qualquer tarefa provavelmente se unam às memórias, à emoção, e à sensibilidade, e gerem a programação e ativação muscular antecipatória ao desempenho. Recente estudo sugere que essa natureza antecipatória das representações mentais seja um modelo interno, em pequena escala representativo da realidade externa, armazenado durante a aprendizagem dada pela experiência, que será lançado a priori pelo sistema nervoso frente às metas de motivações em comportamentos no futuro (Pezzulo, 2008).

5. Considerações finais

Considera-se que a seqüência de notas realmente tenha exposto os violonistas a um esforço cognitivo nas áreas monitoradas pelos eletrodos, que causou alterações nos sinais bioelétricos, neurofisiológicos, e que esta reação foi monitorada e medida por EEG. O desenvolvimento do desenho experimental e do objeto de aprendizado proposto pela pesquisa motivou os violonistas a aprenderem uma tarefa que, conforme os valores apresentados quanto às médias das medianas de frequências eletroencefalográficas captadas por EEG, porque mostrou relações com o aumento de atenção, o processamento e a evocação de memórias, gerando aumento na demanda cortical seletivo. A ampliação de supostas representações mentais sobre o desenvolvimento do seu controle motor foi demonstrado no desempenho da meta da tarefa cognitivo-motora proposta e alcançada. O objetivo de testar o desenho experimental pelos sinais bioelétricos registrados durante o treinamento cognitivo-

motor foi alcançado e mostrou as alterações nas frequências eletroencefalográficas relacionadas com as etapas de aprendizado no tempo de prática.

Especificadamente para este estudo, a análise estatística teve como finalidade a geração de resultados coerentes com as hipóteses conceituais. O EEG captou ondas no tempo real de exposição à tarefa pelo violonista em relação às funções das regiões onde estavam supostamente colocados os eletrodos no escalpo. Os resultados mostraram que a ativação do sistema musculoesquelético, expressa pelo desempenho do músico na qualidade do que foi tocado quanto à velocidade e incidência de erros, gerou modificações nas dinâmicas das frequências difusamente pelos 10 eletrodos.

A perspectiva de desenvolver outras pesquisas, não só com violonistas, mas atingindo também outros perfis cognitivos, sociais, culturais e de saúde, com grupos maiores, em diferentes práticas de ação, por longos períodos, com períodos de retenção, com automatização do comportamento motor, tende a reforçar a discussão qualitativa até hoje levantada por métodos e técnicas de observação empírica em educação e aprendizagem do comportamento humano.

Agradecimentos

Elnora de Paiva Ayres (Serviço de Eletroencefalografia do Hospital da Criança Santo Antonio de Porto Alegre); Liziane Bizarro (Programa de Pós-Graduação em Psicologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul); Pedro Sperb, Lucas Vasconcelos, Thiago Piccolo e Lúcio Chachamovich (Instituto de Artes da Universidade Federal do Rio Grande do Sul); Giovani Carrá (Universidade de Caxias do Sul); Aos orientadores Alberto Antônio Rasia Filho (Fundação Federal Faculdade de Ciências Médicas de Porto Alegre) e Ricardo Demétrio de Souza Petersen (Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano). Ao colega Leonardo P. Tartaruga (Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano). À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).


6. Referências bibliográficas

- Andrew, C. e Pfurtscheller, G. (1997). On the existence of different alpha band rhythms in the hand area of man. *Neurosci. Letters*, 222, 103-106.
- Babiloni, C.; Babiloni, F.; Carducci, F.; Cincotti, F.; Del Percio, C.; Hallett, M.; Kelso, S.; Moretti, D.; Liepert, J. e Rossini, P. (2003). Shall I move my right or my left hand? An EEG study in frequency and time domains. *J. Psychophysiol.*, 17, 69-86.
- Basar-Eroglu, C.; Strüber, D.; Schürmann, M.; Stadler, M. e Basar E. (1996). Gamma-band responses in the brain: a short review of psychophysiological correlates and functional significance. *Intl. J. Psychophysiol.*, 24, 101-112.
- Bonini-Rocha, A.C. (2008). Evidências Cognitivas do Desenvolvimento da Coordenação e do Controle Motor no Processo de Aprendizagem: Pesquisa Experimental interdisciplinar em Educação, Saúde e Neurociências. 150 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Bonini-Rocha, A.C.; Timm, M.I.; Chiamonte M.; Zaro, M. e Petersen R.D. (2008). Pesquisa Educacional no Brasil: interdisciplinaridade como forma de agregar valor científico e experimental. Revista Virtual e Anais, INTERTECH/2008, International Conference on Engineering and Technology Education (pp 718-721). São Paulo.
- Bressler, S.L. (1990). The gamma wave: a cortical information carrier? *TINS*, 13, 161-162.
- Brooks, V. (1986a). Controlled Variables. Em: *The Neural Basis of Motor Control*. (pp. 129-147). New York: Oxford University Press.

- Brooks, V. (1986b). The Motor Control. Em *The Neural Basis of Motor Control*. (pp. 230-252). New York: Oxford University Press.
- Caballo, V.E. (1996). *Manual de Técnicas de Terapia e Modificação do Comportamento*. São Paulo: Livraria Editora Santos.
- Cantero, J.; Atienza, M.; Madsen, J. e Stickgold, R. (2004). Gamma EEG dynamics in neocortex and hippocampus during human wakefulness and sleep. *Neuroimage*, 22, 1271-1280.
- Del Ben, L. (2003). Avaliação da aprendizagem musical. Em: Hentscheke e Souza (Eds). *Avaliação em Música: reflexões e práticas*. (pp. 29-40). São Paulo: Moderna.
- Dinesh, N.; Purcott, K.; Fuchs, A.; Steinberg, F. e Kelso, S. (2003). Cortical and cerebellar activity of the human brain during imagined and executed unimanual and bimanual action sequences: a functional MRI study. *Cognitive Brain Res.*, 15, 250-260.
- Di Dio, R.A.T. (1974). A Pesquisa Educacional no Brasil. *Rev. Bras. Estudos Pedagógicos*, 60, (136), 518-527.
- Fairclough, S.H.; Venables, L. e Tattersall, A. (2005). The influence of task demand and learning on the psychophysiological response. *Intl. J. Psychophysiol.*, 56, 171-184.
- Faugeras, O.; Adde, G.; Charpiat, G.; Chef'd'hotel, C.; Clerc, M.; Deneux, T.; Deriche, R.; Hermosillo, G.; Keriven, R.; Kornprobst, P.; Kybic, J.; Lenglet, C.; Lopez-Perez, L.; Papadopoulos, T.; Pons, J.P.; Segonne, F.; Thirion, B.; Tschumperlé, D.; Viéville, T. e Wotawa, N. (2004). Variational, geometric and statistical methods for modeling brain anatomy and function. *Neuroimage*, 17, 1-10.
- Fitts, M.P. e Posner, M.I. (1967). *Human Performance*. Belmont, California: Brooks-Cole.
- Ganong, W.F. (2003). "Higher Functions of the Nervous System": Conditioned Reflexes, Learning, Related Phenomena. Em: *Review of Medical Book of Physiology*. (pp. 259-269). 21^a. New York: McGraw Hill.
- Gatti, B.A. (2001). Implicações e Perspectivas da Pesquisa Educacional no Brasil Contemporâneo. *Cadernos de Pesquisa*, 113, 65-81.
- Gatti, B.A. (2004). Estudos Quantitativos em Educação. *Educação e Pesquisa*, 30, 11-30.
- Gevins, A.S.; Zeitlin, G.; Doyle, J.C.; Schaffer, R.E. e Callaway, E. (1979a). EEG Patterns during 'cognitive' tasks. II. Analysis of controlled tasks. *Electroencephalography Clin. Neurophysiology*, 46, 704-710.
- Gevins, A.S.; Zeitlin, G.; Yingling, C.D.; Doyle, J.C.; Dedon, M.F.; Schaffer, R.E.; Roumasset, J.T. e Yeager, C.L. (1979b). EEG Patterns during 'cognitive' tasks. I. Methodology and analysis of complex behaviors. *Electroencephalography Clin. Neurophysiology*, 46, 693-703.
- Gordon, W. C. (1989). *Learning and Memory*. Pacific Grove: Brooks/Cole.
- Gouveia, A.J. (1971). A Pesquisa Educacional no Brasil. *Cadernos de Pesquisa*, 1, 1-48.
- Gouveia, A.J. (1974). Algumas Reflexões sobre a Pesquisa Educacional no Brasil. *Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos*, 60, (136), 496-500.
- Gouveia, A.J. (1976). Pesquisa sobre educação no Brasil: de 1970 para cá. *Cadernos de Pesquisa*, 19, 75-87.
- Hirai, N.; Uchida, S.; Maehara, T.; Okubo, Y. e Shimizu, H. (1999). Enhance gamma (30-150 Hz) frequency in the human medial temporal lobe. *Neuroscience*, 90, 1149-1155.
- Jantzen, K.; Steinberg, F. e Kelso, J.A.S. (2005). Functional MRI reveals the existence of modality and coordination-dependent timing networks. *Neuroimage*, 25, 1031-1042.
- Jessel, L.T. (1997a). Ciência Neural Cognitiva. Em: Kandel, E.R.; Schwartz, J.H. e Jessel, L.T.M. (Org.) *Fundamentos da Neurociência e do Comportamento*. (pp.257-292). Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.

- Jessel, L.T. (1997b). Percepção. Em: Kandel, E.R.; Schwartz, J.H. e Jessel, L.T.M. (Org.). *Fundamentos da Neurociência e do Comportamento*. (pp.297-387). Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.
- Jourdain, R. (1998). *Música, Cérebro e Êxtase. Como a música captura nossa imaginação*. Rio de Janeiro: Objetiva.
- Kandel, E.R. (1997a). Uma Visão Global. Em: Kandel, E.R.; Schwartz, J.H. e Jessel L.T.M. (Org.) *Fundamentos da Neurociência e do Comportamento*. (pp. 5-34). Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.
- Kandel, E.R. (1997b). Linguagem, Aprendizagem e Memória. Em: Kandel, E.R.; Schwartz, J.H. e Jessel, L.T.M. (Org.) *Fundamentos da Neurociência e do Comportamento*. (pp.501-554). Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.
- Keele, S. W. (1968). Movement control in skilled motor performance. *Psychological Bulletin*, 70, 387-403.
- Keele, S.W. (1982). Part III: From Components Analysis to Motor Program. Em: Kelso, J.S. (Ed). *Human Motor Behavior: An Introduction*. (pp. 143-186). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Kelso, J.A.S. (1999). *Dynamic Patterns: the self organizations of brain and behavior*. Cambridge: The MIT Press.
- Kim, J.A.; Wliassen, J.C. e Sanes, J. (2005). Movement quantity and frequency coding in human motor areas. *J. Neurophysiol.*, 94, 2504-2511.
- Krüger, S.E. (2003). Perspectivas Pedagógicas para a avaliação do software educativo-musical. Em: Hentschle e Souza (Eds). *Avaliação em Música: reflexões e práticas*. (pp. 106-121). São Paulo: Moderna.
- LaMantia, A.S. e Katz, L. (2005a). Modificações de Circuitos Encefálicos como resultado da Experiência. Em: Purves, D.; Augustine, G.J.; Fitzpatrick, D.; Katz, L.C.; LaMantia, A.S.; McNamara, J.O. e Williams, S.M. (Org.) *Neurociências*. (pp. 520-534). 2ª Ed. Porto Alegre: Artmed.
- LaMantia, A.S. e Katz, L. (2005b). Plasticidade de Sinápses. Em: Purves, D.; Augustine, G. J.; Fitzpatrick, D.; Katz, L.C.; LaMantia, A.S.; McNamara, J.O. e Williams, S.M. (Org.) *Neurociências*. (pp. 535-562). 2ª Ed. Porto Alegre: Artmed.
- Lent, R. (2001a). Os Neurônios se transformam. Bases Biológicas da Neuroplasticidade. Em: *Cem Bilhões de Neurônios*. (pp. 133-163). São Paulo: Atheneu.
- Lent, R. (2001b). As Bases Neurais da Percepção e Atenção. Em: *Cem Bilhões de Neurônios*. (pp. 555-586). São Paulo: Atheneu.
- Lent, R. (2001c). As Bases Neurais da Memória e Aprendizagem. Em: *Cem Bilhões de Neurônios*. (pp. 587-618). São Paulo: Atheneu.
- Luft, C. e Andrade, A. (2007). A pesquisa com EEG aplicada á área de aprendizagem Motora. *Rev. Port. Ciências Desp.*, 6, 106-115.
- MacKay, W.A. (1997). Synchronized neuronal oscillations and their role in motor processes. *TINS*, 1, 176-183.
- Monteiro, L.H. (2002). *Sistemas Dinâmicos*. São Paulo: Editora Livraria da Física.
- Naveda, L.A.B. (2002). O timbre e o volume sonoro do violão. Uma abordagem acústica e psicoacústica. 186 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Pezzulo, G. (2008). Coordinating with the future: the anticipatory nature of representation. *Minds Machines*, 18, 179-225.
- Pfurtscheller, G.; Neuper, C. e Kalcher, J. (1993). 40-Hz Oscillations during behavior in man. *Neurosci. Letter*, 164, 179-182.
- Piaget, J. (1987). *O Nascimento da Inteligência na Criança*. 4ª Ed. Rio de Janeiro: LTC.

- Popivaniv, D.; Mineva, A. e Krekule, I. (1999). EEG patterns in theta and gamma frequency range and their probable relation to human voluntary movement organization. *Neurosci. Letter*, 267, 5-8.
- Purves, D.; Augustine, G.J.; Fitzpatrick, D.; Katz, L.C.; Lamantia, A-S.; McNamara, J.O. e Williams, S.M. (2005). *Neurociências*. 2ª Ed. Porto Alegre: ARTMED.
- Rossini, P.M. e Pauri, F. (2000). Neuromagnetic integrated methods tracking human brain mechanisms of sensorimotor areas plastic reorganization. *Brain Res. Rev.*, 33, 131-154.
- Sage, G.H. (1984). "Motor Learning." Em: *A neuropsychological approach*. Dubuque, Iowa: WCB.
- Schieber, M.H. e Hibbard, L.S. (1993). How somatotopic is the motor cortex hand area? *Science*, 261, 489-493.
- Schmidt, R.A. e Lee, T. (1999a). Human Information Processing. Em: Schmidt, R.A. e Lee, T. Motor Control and Learning. *A Behavioral Emphasis*. (pp. 41-59). Champaign: Human Kinetics.
- Schmidt, R.A. e Lee, T. (1999b). Sensory Contributions to Motor Control. Em: Schmidt, R.A. e Lee, T. Motor Control and Learning. *A Behavioral Emphasis*. (pp.95-129). Champaign: Human Kinetics.
- Squire, L.R. (2004). Memory systems of the brain: a brief history and current perspective. *Neurobiol. Learn. Memory*, 82, 171-177.
- Squire, L. e Kandel, E. (2003). *Memória. Da mente às moléculas*. Porto Alegre: Artmed.
- Shaw, J.C. (1996). Intention as a component of alpha-rhythm response to mental activity. *Intl. J. Psychophysiol.*, 24, 7-23.
- Slobounov, S.; Chiang, H.; Johnston, J. e Ray, W. (2002). Modulates cortical control of individual fingers in experienced musicians: an EEG study. *Clin. Neurophysiol.*, 113, 2013-2024.
- Vasconcelos, J. (2002). *Acústica Musical e Organologia*. Porto Alegre: Movimento.
- Wolpe, J. M.D. (1969). *The Practice of Behavior Therapy*. New York: Pergamon Press.

 - **A.C.B. Rocha** é Graduada em Fisioterapia, Especialista em Administração e Planejamento para Docentes, Especialista em Fisioterapia Neurofuncional, Mestre em Educação e Doutoranda (PPGCMH, UFRGS). Atua como Professora da Especialização em Dança (PUC-RS). Endereço para correspondência: Avenida Getulio Vargas, 670/08, Menino Deus, Porto Alegre, RS 90150-002. Telefones para contato: +55-051-32331709 ou +55-051-92090057. E-mail para correspondência: anabonini@via-rs.net.