

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

ANA CLARA BONINI ROCHA

**VARIÁVEIS DO SISTEMA NERVOSO ENVOLVIDAS NO PROCESSO DE
APRENDIZAGEM DE UMA TAREFA COGNITIVO-MOTORA EM VIOLONISTAS
ANTES E APÓS PRÁTICA DELIBERADA**



**Porto Alegre
2008**

ANA CLARA BONINI ROCHA

**VARIÁVEIS DO SISTEMA NERVOSO ENVOLVIDAS NO PROCESSO DE
APRENDIZAGEM DE UMA TAREFA COGNITIVO-MOTORA EM
VIOLONISTAS ANTES E APÓS PRÁTICA DELIBERADA**

**Orientador: Prof. Dr. Ricardo Demétrio de Souza Petersen
Co-orientadores: Prof. Dr. Alberto Antonio Rasia-Filho
Prof. Dr. Daniel Wolff**

**Tese apresentada para obtenção do título de doutora em Ciências do
Movimento Humano. Área de concentração: Desenvolvimento da Coordenação e do
Controle Motor.**

**Porto Alegre
2008
ANA CLARA BONINI ROCHA**

**VARIÁVEIS DO SISTEMA NERVOSO ENVOLVIDAS NO PROCESSO DE
APRENDIZAGEM DE UMA TAREFA COGNITIVO-MOTORA EM
VIOLONISTAS ANTES E APÓS PRÁTICA DELIBERADA**

**Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciências do
Movimento Humano da Escola de Educação Física da Universidade Federal do Rio
Grande do Sul aprovada como requisito parcial para obtenção do Certificado de
Doutora em Ciências do Movimento Humano.**

Ass. _____

1º Exam.: Go Tani - Universidade de São Paulo

Ass. _____

2º Exam.: Marco Vaz - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Ass. _____

3º Exam.: Milton Zaro - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Data de Aprovação: ___/___/2008.

*Ao meu núcleo familiar e agregados;
Aos meus amigos;
Aos meus alunos.*

AGRADECIMENTOS

Neida Bonini Scangareli e Theresinha Carriconde Bonini;

Milton Zaro, Marilda Chiaramonte, Pedro Sperb, Ricardo Petersen, Gustavo Mello, Alberto Rasia, Daniel Wolff;

Cristina Macedo, Daniel Cury, Antonio Carlos Dourado, Léo Tartaruga, Cristiano Figueiró, PPGCMH e LAPEX/UFRGS (André, Ana, Rosane, Dani, Alex, Luciano e Luiz), Alberto Reppold Filho, Alessandra Tegoni, Giovani Carrá, Carla Lopes, Liziane Bizarro, Lúcio Chachamovicz, Lucas Vasconcelos, Marcelo Disconzi, Aline Garcia, André Ferreira, Márcio Chiaramonte, Marco Vaz, Michel Carrá, Paulo Afonso de Lima, Rodrigo Bini, Silvia Wolff, Stella Michaelsen, Tiago Colombo, Eduardo Nabinguer, Fábila Milmann; Instituto de Artes/UFRGS, Departamento de Física/UFRGS, Departamento de Fisiologia/FFFCMPA, Pós-Graduação em Neurociências/UFRGS, Universidade de Caxias do Sul/UCS-Vinhedos.

Em especial, a minha professora (orientadora) Maria Isabel Timm.

Acredito na realidade do movimento porque o pensamento é um movimento.
(Demócrito 460-370 A.C.)

APRESENTAÇÃO

De acordo com a Resolução n. 093/2007 da Câmara de Pós-Graduação da UFRGS (Apêndice B, p. 118), a forma escolhida para a publicação desta tese está estabelecida pelo Art. 3º (b,c) e de acordo com ABNT NBR 14724:2005. O documento segue a seguinte disposição de elementos:

Estrutura	Elemento	Sessão
Pré-textuais	Capa Folha de rosto Folha de aprovação Dedicatória Agradecimento Epígrafe Apresentação Considerações gerais sobre a pesquisa Resumo na língua vernácula Resumo em língua estrangeira Lista de quadros, tabelas e figuras Sumário	
Textuais	Introdução (ao tema e problema da tese, com descrição geral de objetivos, e ampla revisão de literatura) Estudos experimentais Estudos teóricos Desenvolvimento (artigos científicos desenvolvidos no processo de construção teórico-experimental da tese) Estudo 1 (justificativa da tese) Estudo 2 (contextualização teórico-experimental da tese) Estudo 3 (pesquisa experimental piloto da tese) Conclusões (considerações finais sobre os resultados gerais e específicos)	1 1.1 1.2 2 2.1 2.2 2.3 3
Pós-textuais	Referências Bibliográficas (relativas à Introdução e Conclusões) Apêndices Anexos	

Considerações Gerais sobre a Pesquisa

Ainda no mestrado, minha dissertação versou sobre o ensino e a prática da ação fisioterapêutica. Considerar a possibilidade de relacionar Educação e Neurociências ao comportamento motor humano, ao processo de ensino-aprendizagem, foi o ponto de partida para a busca do doutorado nas Ciências do Movimento Humano. Construir um projeto de tese interdisciplinar foi uma tarefa trabalhosa, que exigiu passagem por disciplinas na Física, Medicina, Educação, Psicologia, Educação Física, Engenharia Elétrica e Informática.

A eleição do viés epistemológico veio do confronto de muitas teorias e de conceitos observados nas práticas da dança, da música, da cinesioterapia e da terapia manual, durante a necessidade de solucionar os problemas de ensino e de aprendizado meus, de meus alunos e também de meus clientes, ou seja, de ter que solucionar problemas relativos às mudanças internas de comportamentos frente às experiências vividas.

Em algum momento dessa trajetória, problema (contribuição pedagógica pelo desenvolvimento de pesquisa experimental de base neurocientífica) e solução (a própria ciência neurológica) se misturaram, criando novos desafios e, como manda a ciência, novos problemas, que se associaram ao entusiasmo pelos métodos e técnicas (no caso, os sinais bioelétricos e sua interpretação, que foram propostos como indicadores de aprendizagem). Estes - os sinais - por pouco não passaram de coadjuvantes a protagonistas, sobrecarregando o trabalho de tese, com dificuldades tecnológicas para além das metodológicas.

Após a qualificação do projeto de tese, na prática, revelou-se novo problema de pesquisa relacionado à operacionalização do desenho experimental desejado, ainda mais por ser pioneira nesta área de investigação, contribuindo para a não percepção das dificuldades que estavam implícitas na operacionalização do planejado.

Atingir as condições e os conhecimentos necessários à implementação do conjunto da proposta implicou em um intercâmbio ativo e permanente com pesquisadores de todas outras áreas, o que não foi possível de imediato por diversas razões não pessoais.

Neste quesito a cultura da pesquisa educacional não contribui de forma favorável, uma vez que o sistema estabelecido ainda é fortemente estruturado no escopo dos limites entre as áreas e suas respectivas linguagens e técnicas. A Engenharia e a Matemática tiveram importância fundamental na efetivação dos procedimentos, tanto quanto as áreas de Psicologia, Educação, Medicina e Educação Física, tanto para o desenho do experimento quanto para o reconhecimento e tratamento matemático dos sinais captados por EEG e EMG.

Na linguagem dos ideogramas chineses, entretanto, os desafios são sinônimos de oportunidade. A partir desta perspectiva, a presente pesquisa foi reposicionada enquanto contribuição à área educacional experimental dentro das ciências do movimento humano, como sempre se propôs a ser, no sentido de que sua principal inovação reside no enfoque interdisciplinar-metodológico, na sua aplicabilidade a partir de sua consolidação. À parte a contribuição cultural, a inovação mensurável deste trabalho reside no desenvolvimento de

metodologia de observação de atividade cognitiva e motora, a partir da interpretação matemática de sinais biolétricos adquiridos em situação experimental, sendo que os dados gerados são originais e o desenho experimental inédito. O valor incomensurável, por fim, reside no aprendizado da nova pesquisadora, que gera valor agregado ao grupo de pesquisa ao qual pertence e que, ao se candidatar a este título de doutora, assume o compromisso que julgou necessário aos seus pares quanto à formação científico-pedagógica continuada e o ensino da Fisioterapia.

RESUMO

Esta tese apresenta uma revisão relativa às questões cognitivas de processamento de informações envolvidas na aprendizagem motora, para consolidar pesquisa empírica a esse respeito. Baseado em fontes bibliográficas, apresenta-se o contexto histórico da cultura educacional brasileira da pesquisa em movimento humano. Propõe-se metodologia de observação e quantificação de sinais bioelétricos-fisiológicos para identificação de aspectos relacionados a diferentes etapas da aprendizagem humana no âmbito da cognição e da motricidade. Descreve-se experimento dados originais para a área das Ciências do Movimento Humano, em que se monitora – com EEG e EMG – quantifica e interpreta a alteração de sinais de base em relação a modificações ocorridas durante vários momentos da aquisição da memória motora - aprendizagem - relativa à prática deliberada de partitura musical por violonista. Os dados reforçaram as hipóteses já comprovadas na literatura quanto ao maior esforço do sistema nervoso relacionada à exposição do violonista a uma tarefa específica e sua prática deliberada pelo sistema musculoesquelético, não servindo para generalizações, apenas como validação do desenho experimental e das análises estatísticas realizadas. O objetivo de monitorar, quantificar e descrever a dinâmica neural de frequência eletrofisiológica durante o desenvolvimento de padrões musculoesqueléticos de coordenação e controle, foi alcançado.

Palavras-chave: cognição, prática musical, sinais bioelétricos, aprendizagem motora, EEG.

ABSTRACT

This article presents a revision related to the cognitive questions of information processing involved in motor learning, to consolidate empirical research on the subject. The historical Brazilian educational background to culture of the human movement research is presented, based on bibliographical sources. Methodology of observation and quantification of bioelectrical physiological signals is proposed, which serves to identify the modifications occurred during the task-acquisition process. A experiment is described, along with data relevant for the Human Movement Sciences, in which the alteration of base signals in relation to various movements of the task are monitored, quantified and interpreted. The task consists of learning and performing a short musical excerpt by guitarists.

Keywords: cognition, musical performing, bioelectric signs, motor learning, EEG.

LISTA DE QUADROS, TABELAS E FIGURAS

1. INTRODUÇÃO.

Quadro 1 - Hipóteses e objetivos relacionados às etapas de execução da pesquisa de tese e ao conhecimento produzido18

Quadro 2 - Etapas metodológicas20

Quadro 3 - Modelos, aparatos, procedimentos e sujeitos referentes aos estudos experimentais... 22

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Artigo 1 (p. 46)

Tabela I - Classificação de bandas de sinais eletrofisiológicos captados pelo EEG.

Tabela II - Desenho experimental/frequências eletroencefalográficas e expectativa investigada por e eletrodos.

Tabela III - Eletrodos com aumento de pico de frequência X bandas X morfologia/função X tarefa.

2.2 Artigo 2 (p. 52)

Quadro 1 - Classificação de bandas de sinais eletrofisiológicos captados pelo EEG.

Quadro 2 - Eletrodos X Morfologia/Função X Bandas X Tarefa.

Quadro 3 - Desenho experimental X expectativa investigada no experimento.

Tabela 1 - Aumento de médias e medianas de frequências em relação aos sinais de pré-execução (base) e etapas da tarefa. Eletrodos X Bandas X Etapas (em Hz).

Tabela 2 - Aumentos em médias e medianas de frequência (em Hz) por classificação em bandas em relação a Eletrodos X Tarefas.

Tabela 3 - Diferenças apresentadas pelas médias e medianas (em Hz) quanto aumento nos valores de picos de frequência considerando-se Eletrodos X Base (pré-execução).

Gráfico 1 - Alfa X Tempo.

Gráfico 1 - Teta X Tempo.

Figura 1: Configuração dos eletrodos no escalpo.

2.3 Artigo 3 (p. 77)

Quadro 1 - Relação dos eletrodos no escalpo com as regiões do córtex cerebral.

Quadro 2 - Calibração da *SUDS* pelo sujeito da pesquisa.

Figura 1: Configuração dos eletrodos de EEG com touca e EMG nos antebraços.

Figura 2 - Processamento desenvolvido para o experimento, classificatória dos sinais de EEG/EMG por bandas de frequências (Hz) que expõe resultados de pico (unidades de frequência), média aritmética, e mediana do sinal.

Figura 3 - Efeitos das Bandas A, B, C, D e a interação Tempo *versus* Etapa na MF_{eeg} .

Tabela 1 - Comportamento das Bandas de frequência e os efeitos do Tempo (antes – 1º dia e após – 5º dia) e das Etapas (base/pré-execução, leitura, ouvida, prática, imaginação) e a interação Tempo *versus* Etapas na MF_{eeg} ($p < 0,05$).

Tabela 2 - Teste *post hoc* de Bonferroni da MF_{eeg} - Bandas X Etapas (pré-execução, leitura, ouvida, prática e imaginação) X Tempo (antes = 1º dia e depois = 5º dia).

Tabela 3 - Tempo (1=antes, 2=depois) X Etapas (1=pré-execução, 2=leitura, 3=ouvida, 4=prática, 5=imaginação) X Eletrodos de EMG, médias das MF_{emg} .

Tabela 4 - Teste de correlação produto-momento de Pearson EEG/EMG entre 4 Etapas da tarefa X Eletrodos X Bandas X Tempo.

SUMÁRIO

RESUMO.....	10
ABSTRACT.....	11
LISTA DE QUADROS/TABELAS/FIGURAS.....	12
SUMÁRIO.....	14
1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 Estudos experimentais	19
1.2 Estudos teóricos.....	23
1.2.1 Pesquisa Educacional no Brasil: cultura pobre em análises quantitativas e métodos experimentais.....	23
1.2.2. Aprendizado Cognitivo-Motor visto pela Pesquisa Educacional.....	29
1.2.3 Aprendizagem Motora.....	31
1.2.4 Contribuições da teoria e dos instrumentos das Neurociências para a Pesquisa em Aprendizagem Cognitiva e Motora.....	38
2 DESENVOLVIMENTO.....	44
2.1 Artigo 1 - Pesquisa educacional no Brasil: interdisciplinaridade como forma de agregar valor científico e experimental.....	46
2.2 Artigo 2 - Metodologia científica na pesquisa educacional: observação e quantificação de sinais de EEG relativos a evidências cognitivas de aprendizagem motora.....	52

2.3 Artigo 3 - Aprendizagem Motora: observação e quantificação de sinais bioelétricos neurofisiológicos na aprendizagem cognitivo-motora por EEG e EMG	77
3 CONCLUSÕES.....	96
3.1 Direções Futuras.....	96
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	99
APÊNDICES.....	110
APÊNDICE A - Termo de Consentimento Livre e Informado assinado pelos violonistas.....	111
APÊNDICE B - Resolução nº 093/2007 da Câmara de Pós-Graduação do Conselho de Ensino e Pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.....	114
APÊNDICE C - Carta de Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da pró-Reitoria de Pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.....	116
ANEXOS.....	117
ANEXO A - <i>Epistemological Basis of Coordination and Motor Control</i>	118
ANEXO B – Programação em <i>Matlab</i> 5.3.....	135
ANEXO C - Programação em <i>Labview</i> 7.1.....	136
ANEXO D - Calibração da Escala de Unidades Subjetivas (<i>SUDS</i>).....	137
ANEXO E - Programação em <i>Labview</i> 8.2 relativas ao processamento dos sinais monitorados no estudo principal.....	139
ANEXO F - Banco de dados do estudo principal	141

1 INTRODUÇÃO

Esta tese se caracteriza como uma continuidade da dissertação de mestrado da pesquisadora (BONINI-ROCHA, 2002), na qual se propõe que o professor de Fisioterapia assuma o papel de protagonista do fenômeno de ensino destinado a si mesmo e aos seus pares. Devendo-se procurar a formação científico-pedagógica que lhe falta, geralmente por falta de aprofundamento de conteúdos sobre metodologia científica, ensino e aprendizagem, na graduação do bacharelado em Fisioterapia. A análise crítica sobre as necessidades de formação científica desses profissionais da saúde – atualmente baseada sobre ensinamentos técnicos e procedimentais – identifica a importância da agregação de conhecimento a tal formação, como proposta didático-pedagógica a ser buscada e aprofundada.

A presente tese está inserida num contexto educacional bem mais abrangente do que o ensino da Fisioterapia, propondo-se contextualizar a inovação pretendida dentro de uma análise crítica sobre a pesquisa educacional realizada no Brasil. Uma revisão sobre este contexto revelou a carência de rigor científico e metodológico, bem como do uso de instrumentos de observação necessários à natureza experimental e quantitativa de pesquisa fidedigna e reproduzível (GATTI, 2001, 2004; GOUVEIA, 1971, 1974, 1976; WARDE, 1990), sendo incompatível com o rigor necessário ao aprendizado da formação científica desejável.

Considerou-se importante agregar a esta cultura de pesquisa qualitativa, baseada sobre relatos e descrições de comportamentos observados em condições não controladas e permeadas pela interpretação subjetiva dos pesquisadores¹, a importante contribuição das Neurociências, tanto em termos de formulações teórico-conceituais sobre o problema do aprendizado humano, quanto em termos de suas técnicas. Essas, como as de monitoração dos sinais bioelétricos neurofisiológicos de eventos relacionados com os processos endógenos de aprendizagem dos indivíduos observados em experimentos bem controlados. Considerou-se, ainda, a possibilidade de agregar esta cultura às Ciências do Movimento Humano, colocando como problema central a integração das necessidades de formação científica de profissionais e o desenvolvimento de metodologia experimental de pesquisa relacionada ao processamento neural e ao aprendizado de atividade motora – neste caso representado pela execução de partitura musical especialmente composta para o

¹ A descrição relativa à pesquisa educacional qualitativa permeada pela subjetividade, longe de ser uma opinião da autora, caracteriza uma intenção dos pesquisadores das áreas das Ciências Humanas, em geral, e da Pedagogia, em particular, como ficará patente na revisão bibliográfica específica.

experimento, como se descreverá na metodologia -, visando produzir conhecimento específico sobre as condições de tal aprendizado, baseados em conceitos, teóricos e técnicos, das Neurociências. Além desses aspectos teórico-conceituais, a metodologia de aquisição e análise de sinais do sistema nervoso é agregada de abordagem da Neurofisiologia Clínica (Eletroencefalograma- EEG, Eletromiograma- EMG), da Matemática (modelos matemáticos de tratamento de sinais) e da Informática (software *Labview* de aquisição e processamento matemático). Portanto, do ponto de vista experimental, o problema consistiu em identificar, monitorar e encontrar uma correlação entre a variável frequência/amplitude/morfologia das ondas eletroencefalográficas e eletromiográficas e os resultados encontrados na literatura, relacionada ao aprendizado cognitivo-motor, supondo-se que o processamento matemático dos sinais obtidos seja competente para responder a perguntas sobre a efetividade do processamento neural e – possivelmente – do aprendizado motor, gerando dados que respondam perguntas acerca de evidências cognitivas durante atividade motora (execução de uma partitura musical após prática deliberada de violonistas).

O paradigma principal da pesquisa é a metodologia científica desenvolvida, não com a intencionalidade de criar um protocolo fechado, mas um meio que permitirá aplicar os conhecimentos adquiridos no estudo do referencial teórico atualizado, apropriando-se de conceitos e discussões das Neurociências para reconhecer, isolar e monitorar as variáveis que interessam ao processo de aprendizado motor, na Educação e nas Ciências do Movimento Humano, Área de Aprendizagem Motora, ênfase no Desenvolvimento da Coordenação e do Controle Motor. Considera-se que a utilização da metodologia científica proposta nesta pesquisa educacional pode contribuir para a formação de profissões que tratam com o movimento humano, tanto pela geração de conhecimento a ser aplicado em novas práticas pedagógicas, quanto na formação acadêmica propriamente dita, uma vez que agrega valor ao conhecimento ofertado hoje.

As questões que permearam a hipótese e os objetivos da tese estão relacionadas às variáveis eletrofisiológicas envolvidas no aprendizado cognitivo-motor humano, observadas, identificadas e quantificadas por metodologia científica com utilização de EEG e EMG e processamento matemático. No Quadro 1, pode-se observar como a hipótese da tese se relacionaram com os objetivos e qual o conhecimento produzido com a devida contribuição que representou à análise e discussão dos resultados.

Quadro 1 - Hipótese e objetivos relacionados às etapas de execução da pesquisa e ao conhecimento produzido.

HIPÓTESE			
É possível <u>desenvolver metodologia científica experimental</u> , de forma multidisciplinar e integrada aos valores humanistas da educação, a ponto de enxergar, com a interdisciplinaridade, o processo cognitivo sob múltiplos ângulos, sendo alguns, quantificáveis.			
OBJETIVOS			
<u>Gerar metodologia científica experimental</u> para monitorar variáveis do aprendizado cognitivo-motor e pesquisar as alterações biológicas eletrofisiológicas relacionadas ao comportamento frente à tarefa específica, e assim qualificar a pesquisa educacional na área das Ciências do Movimento Humano, Saúde e Educação.			
(1)	(2)	(3)	(4)
Analisar criticamente a pesquisa educacional no Brasil e no mundo, em relação às possibilidades de contribuição científica.	Eleger metodologia e tecnologias como métodos matemáticos e de <i>software</i> para aquisição e interpretação dos dados de EEG e EMG.	Validar modelo de experimento que possa observar e monitorar variáveis identificáveis por EEG e EMG, analisando-as de forma qualitativa e quantitativa.	Apropriar conhecimento teórico e técnico das Ciências do Movimento, das Neurociências e das áreas pedagógicas para descrever e analisar os experimentos da tese.
Etapas de execução dos objetivos:			
Referencial Teórico Artigo 1, Anexo A	Metodologia	Projeto piloto/ experimento- principal	Artigos 2 e 3
Conhecimento produzido:			
Aspectos teóricos relacionados a diferentes abordagens teóricas para estudar aprendizagem humana no âmbito da cognição e da motricidade, da Neurofisiologia e de teorias pedagógicas. Geração de metodologia de observação e quantificação de sinais eletro-neurofisiológicos para identificação do tipo de aprendizagem.		Pesquisa experimental de base neurofisiológica na área de aprendizagem motora - avaliação das dinâmicas nas frequências de ondas eletroencefalográficas e eletromiográficas. Artigos científicos com análise dos resultados.	

1. 1 Estudos experimentais

Os estudos piloto e principal terão seus resultados, discussão e considerações finais apresentados em formato de três artigos científicos, colocados na segunda parte deste documento. Salienta-se que a opção por apresentar os resultados dos experimentos neste modelo, visou disseminação imediata dos resultados no meio acadêmico, com objetivos cultural e social. Os experimentos foram realizados nas dependências da Universidade de Caxias do Sul (UCS), Campus da Região dos Vinhedos (CARVI) de Bento Gonçalves/RS, Centro de Ciências Exatas da Natureza e Tecnológicas do Departamento de Engenharia e Informática²; e propostos após conhecerem-se as possibilidades paradigmáticas, epistemológicas, empíricas e metodológicas da pesquisa educacional, de identificar conceitos e técnicas próprias das Neurociências, das áreas pedagógicas, das áreas do movimento humano; da pesquisa científica experimental relacionada ao aprendizado cognitivo e motor; de conceitos e variáveis envolvidas no comportamento, identificáveis por sinais bioelétricos, o método, a técnica e os instrumentos para medir as variáveis escolhidas. O desenho experimental foi desenvolvido, delimitando-se seus objetivos definitivos, e suas possibilidades de execução conforme foram ficando disponíveis os recursos tecnológicos e o aporte das contribuições interdisciplinares. Assim, o estudo da tese foi sendo concretizado.

A metodologia da tese foi desenvolvida em 8 etapas (Quadro 2), sobrepondo-se os aportes de cada um dos três estudos (apresentados com detalhes no capítulo 2, de Desenvolvimento) resumidos a seguir (Quadro 3), buscando-se pelas variáveis eletrofisiológicas envolvidas no processo de aprendizagem motora com observação das diferenças entre pré-execução e exposição à tarefa cognitivo-motora específica. A análise e discussão dos resultados foram, qualitativamente e quantitativamente, contextualizadas na interdisciplinaridade de conceitos e métodos, e os números gerados em *hardwares* e *softwares*, pelo processamento dos sinais brutos captados pelos eletrodos de EEG e EMG, interpretados e analisados do ponto de vista morfológico e funcional (referencial teórico das Neurociências, comportamental, molecular, cognitiva, celular e sistêmica, das Ciências do Movimento Humano - biomecânica e comportamento motor, e da Psicologia - Escala de

² Sala climatizada, iluminação indireta, turno da tarde (entre 15 e 16 horas), período de 30/06 a 28/07/2007. Os termos éticos e os investimentos financeiros relacionados ao experimento foram aprovados pelo Comitê de Ética da UFRGS (CEP/UFRGS n. 2006654).

Unidades Subjetivas - *SUDS*³). O envolvimento de uma equipe multiprofissional, ora apoiando a pesquisa tecnicamente, ora provendo capacitação à pesquisadora, foram parte integrante do aprendizado e da metodologia de pesquisa científica interdisciplinar, principalmente em função da profundidade exigida pelo enfoque do trabalho, tanto quanto das características das tecnologias utilizadas. Sem que tenham sido definidos indicadores precisos de avaliação dessa trajetória, é indispensável considerar esse agregado humano e tecnológico, inovador e complexo, nas condições de contorno do problema observado e nas formas de abordá-lo, na medida em que condicionam inclusive a reprodutibilidade futura do experimento realizado. Neste sentido, a abordagem científica experimental desta pesquisa constitui, paradoxalmente, a grande força e a grande fragilidade do trabalho, porque expõe a inovação e aponta para um contexto inesgotável de possibilidades e dimensionam as dificuldades humanas, técnicas e acadêmicas de realizar este tipo de trabalho no Brasil, merecendo destaque, em função disso, a própria descrição da metodologia, o esforço pessoal e os recursos financeiros exigidos pela pesquisa.

Quadro 2 - Etapas metodológicas

(1) Conhecer possibilidades epistemológicas, empíricas e metodológicas da pesquisa educacional no Brasil.	(2) Conhecer teorias e técnicas próprias das Neurociências aplicáveis às questões de aprendizagem.	(3) Conhecer teorias e técnicas próprias das Ciências do Movimento Humano.	(4) Conhecer a pesquisa científica experimental relacionada ao aprendizado cognitivo e motor.
(5) Conhecer conceitos e variáveis identificáveis por sinais eletro-neurofisiológicos das Neurociências, Ciências do Movimento Humano e da Psicologia.	(6) Identificar métodos e técnicas e eleger formas adequadas para medir as variáveis escolhidas, bem como a abordagem matemática para interpretar resultados do EEG e EMG.	(7) Desenvolver e validar desenho experimental para observar e monitorar variáveis identificáveis em sinais eletrofisiológicos.	(8) Análise qualitativa e quantitativa; produção de relatório de resultados caracterizando trabalho interdisciplinar.

³ Esta abordagem está descrita no capítulo 2, de Desenvolvimento, Artigo 3, e apresentada no Anexo D. A Escala de Unidades Subjetivas foi construída com consultoria da Professora Dr^a Lisiane Bizarro, do Instituto de Psicologia - Programa de Pós Graduação em Psicologia da UFRGS, que orientou a pesquisadora quanto a referencial teórico e metodologia de utilização do instrumento, ao diagnóstico e a formulação de soluções acerca do assunto ou especialidade em questão. Tendo sido um intercâmbio que acrescentou valor à pesquisa, foi coerente com a interdisciplinaridade proposta pela tese. Os dados referentes à *SUDS* dos estudos-piloto não foram apresentados nesta tese.

Monitoraram-se e quantificaram-se sinais de base (situação controle - pré-execução de atividade motora aprendida) e de modificações ocorridas durante momentos da aquisição e evocação de memória motora - exposição à aprendizagem de tarefa cognitivo-motora pela prática deliberada de partitura musical por violonista.

Com base na literatura, testou-se a melhor forma de interpretar a natureza das mudanças observadas empiricamente no comportamento motor. Conheceram-se e aperfeiçoaram-se as rotinas de aquisição de sinais (e a qualidade do sinal que geravam) e metodologia de procedimentos nas áreas da eletroencefalografia e da eletromiografia. Validou-se o equipamento desenvolvido, conheceram-se as abordagens matemáticas de processamento de informação (desenvolvimento de "rotinas matemáticas" para os dados de EEG e EMG), neste caso, *hardware* e *software Labview* e *Matlab*, e medidas estatísticas para análise de dados.

Testou-se o desenho experimental⁴ (e sua eficiência para monitorar o objeto de interesse) proposto no projeto de tese, com uma amostra não aleatória composta por 2 estudantes de violão do curso de bacharelado em Música da UFRGS, voluntários para a pesquisa, cujos critérios de inclusão foram: sexo masculino, destro, ler partitura musical e executá-la no violão, ser aluno de violão do Instituto de Artes da UFRGS (ver modelo e aparatos no Quadro 3). Os sujeitos apresentavam história médica de hígidez, sem relato do uso de drogas ou medicamentos lícitos ou ilícitos, e sem história de doença vascular, neurológica, psiquiátrica ou reumatológica comprometedoras de aprendizado ou de desempenho motores. Ambos foram informados, antes da sessão, sobre os riscos e desconfortos esperados relacionados à conexão do seu corpo aos eletrodos de EEG e EMG e do possível mal estar causado pelo tempo de 30 minutos da rotina. No experimento os procedimentos não apresentam riscos à saúde ou à integridade física, nem seqüelas imediatas ou tardias. Os violonistas ficaram sentados numa cadeira sem encosto para tronco, elegida por eles como sendo a preferida, dentre as disponíveis no local, acomodados de maneira o mais confortável possível de acordo com seus hábitos de prática de estudo. A escolha e construção da tarefa foram pensadas e compostas especialmente para esta tese, de forma a não ser

⁴ Foram realizados 3 estudos-piloto (somente o terceiro está descrito nos Estudos 1 e 2). O primeiro experimento foi realizado em Dezembro de 2006, na Universidade de Caxias do Sul (UCS), com finalidade de observar a qualidade de aquisição do *hardware* e *software* utilizando-se aparelho de EEG desenvolvido no local, com recursos não disponíveis em equipamentos comerciais, 4 eletrodos (C3, P3, T3, T5) com processamento de sinais em *Matlab* 5.3 para transformada discreta *Wavelet (DWT)* (Anexo B, p. 139), cujos dados foram apresentados no projeto de tese qualificado em janeiro de 2007. O segundo experimento foi realizado, em Abril de 2007, no Serviço de Eletroencefalografia do Hospital da Criança Santo Antônio de Porto Alegre, com um EEG comercial testado para avaliar qualitativamente o EEG desenvolvido, com finalidade de validação do equipamento, tendo sido os sinais adquiridos através deles comparados e certificados por especialista.

convencional, garantindo uma seqüência inédita de notas musicais de grau avançado de dificuldade, exigindo máxima atenção e evitando o uso de padrões já provavelmente conhecidos pelos alunos de violão. A seqüência musical foi disponibilizada em áudio e em notação musical, cujos critérios de construção levaram em consideração facilitar a compreensão do ritmo, evitar a padronização dos movimentos, assegurar equivalência nas execuções de todos os violonistas e à leitura, assegurar a complexidade do objeto de aprendizado. (Descrição e visualização da tarefa apresentada com detalhes no capítulo 2, de Desenvolvimento, Artigo 3). O último dia de aquisição de sinais se deu quando o violonista aprendeu a tarefa e, neste caso, tocou a seqüência de notas sem ler a partitura, baseando-se em sua memória e aprendizado motor para execução de sons no violão. Os dados foram descritos de acordo com freqüência (Hz) em relação à região dos eletrodos e suas médias e medianas em etapas e tempo.

Quadro 3 - Modelos, aparatos, procedimentos e sujeitos referentes aos estudos experimentais.

Modelos para aquisição e processamento	
<i>Software Labview</i> para aquisição. Impedância: 3 Ω ; taxa de amostragem: 1500 amostras/s; tempo de 3 segundos por janela; Transformada Rápida de Fourier (FFT) em <i>Labview</i> * 7.1 e 8.2. Sinal observado visualmente em gráficos, descritos de acordo com freqüência (Hz) em relação à região dos eletrodos no escalpo e a mediana das freqüências. Sistema Internacional 10/20% (Sistema Jasper).	
Experimento 1 - Estudo Piloto	
Aparatos	Procedimentos
<p>Aparatos</p> <p>PC <i>off-line</i> de mesa; 10 eletrodos de EEG, c/referência A1 aderidos ao por touca e gel condutor; 4 eletrodos de EMG aderidos aos músculos extensores dos dedos das mãos; microfone acoplado ao violão; cronômetro. Processamento dos sinais em <i>Labview</i> 7.1. (1 aluno de violão do programa de extensão em violão do Instituto de Artes da UFRGS, masculino, destro, 17 anos).</p>	<p>Preenchimento da escala <i>SUDS</i>; monitoração de sinais de base em situação controle, pré-execução (5 m); apresentação da tarefa a ser aprendida - acesso à partitura e áudio (10 m); execução no violão (15 m). Foram adquiridas oito amostras de sinais de EEG, EMG e áudio, com duração de 2 minutos cada. O tempo total foi de 30 m. Uma sessão de coleta.</p>
Experimento 2 - Estudo Principal	
Aparatos	Procedimentos
<p>Aparatos</p> <p>PC <i>off-line</i> de mesa; 10 eletrodos de EEG, c/referência A1 aderidos ao por touca e gel condutor; 4 eletrodos de EMG aderidos aos músculos extensores dos dedos das mãos; microfone acoplado ao violão; cronômetro. Processamento dos sinais em <i>Labview</i> 8.2. (1 aluno de violão do Curso de Bacharelado em Música do Instituto de Artes da UFRGS, masculino, destro, 18 anos).</p>	<p>Calibração da escala <i>SUDS</i>. Monitoração de sinais de base em situação controle, pré-execução (5 m); apresentação da tarefa a ser aprendida - acesso à partitura e áudio (10 m); execução no violão (15 m); e imaginação a tarefa com olhos fechados (2 amostras). Foram adquiridas oito amostras de sinais de EEG, EMG e áudio, com duração de 2 minutos cada. O tempo total da sessão foi de 35 minutos. O tempo total do experimento foi de cinco semanas, coletas 1 vez por semana. Cinco sessões para igual tarefa.</p>

*Obs. Processamento de sinais em *Labview* 7.1 (Anexo C). Processamento de sinais em *Labview* 8.2 apresentado no capítulo 2, de Desenvolvimento, Artigo 3.

Finalmente, considera-se que, à parte a contribuição do conhecimento gerado, a inovação desta pesquisa residiu no desenvolvimento de metodologia de observação de atividade cognitiva e motora, a partir da interpretação matemática de sinais biolétricos adquiridos por EEG e EMG em situação experimental.

A revisão bibliográfica que se segue representa o contexto epistemológico da pesquisa, relacionado para estabelecer a base apropriada do que foi descrito anteriormente e o que ainda será abordado nos Artigos 1, 2 e 3 que fazem parte do capítulo 2, de Desenvolvimento, página 45.

1.2 Estudos teóricos

Estão descritos a seguir os principais estudos consultados durante a pesquisa teórica da tese nas áreas de Educação, Ciências do Movimento Humano e Neurociências, de modo que os conceitos abordados servem para solidificar a importância da multidisciplinaridade e justificam o alto grau de interdisciplinaridade exigido na operacionalização dos experimentos. Estes artigos representam o fio condutor da construção da tese. Primeiramente, com os resultados encontrados sobre a pesquisa educacional no Brasil e de como o aprendizado cognitivo-motor está descrito na atualidade, seguindo-se pela fundamentação teórica referente à Aprendizagem Motora, elegida pela pesquisadora para embasar suas próprias idéias e, finalmente, apontando para reais contribuições científicas com base na eletro-neurofisiologia.

1.2.1 Pesquisa Educacional no Brasil: cultura pobre em análises quantitativas e métodos experimentais

No contexto consensual da importância da pesquisa para a formulação e para o acompanhamento de programas de ação, é com a criação do Instituto Nacional de Pesquisas Educacionais (Inep), em 13 de janeiro de 1937, que estudos mais sistemáticos em Educação começaram a se desenvolver no Brasil. A informação no site atual do próprio Instituto relata sua designação inicial como Instituto Nacional de Pedagogia e, no ano seguinte, como Instituto Nacional de Estudos Pedagógicos, dando conta da função específica com a qual foi criado, para concentrar as informações e documentos relacionados à “doutrinas e técnicas pedagógicas” (Inep, 2006) existentes no país, bem como fomentar pesquisa e intercâmbio entre instituições nacionais e internacionais, além de assessorar os serviços públicos e

particulares de todos os níveis de educação, para todos os temas relacionados às questões pedagógicas. A criação desse órgão teria sido a primeira sistematização institucional da pesquisa educacional, a qual, até então, teria sido limitada a iniciativas individuais e desarticuladas.

Prova da importância desta institucionalização foi publicação pioneira da Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos (RBEP), em julho de 1944, na divulgação de temas educacionais, destinada a gestores, pesquisadores e professores brasileiros. Em 1952, o Inep ganhou nova estrutura, da qual fizeram parte o Centro Brasileiro de Pesquisas Educacionais (CBPE), com sede no Rio de Janeiro, e os Centros Regionais Recife, Salvador, Belo Horizonte, São Paulo e Porto Alegre. Esta modificação apontou para a construção da identidade de um pensamento educacional, o qual, a julgar pelo discurso de posse de seu idealizador, Anísio Teixeira, então diretor do Inep, deveria “fundar em bases científicas a reconstrução educacional do Brasil” (INEP, 2006).

Nos períodos propostos por Gouveia (1971), no primeiro - que se estende entre as décadas de 40 e 50 -, o Inep e seus centros se organizaram em focos produtores e irradiadores de pesquisas e de formação de educadores, através de métodos e técnicas de investigação científica de natureza empírica e experimental. As produções eram escassas e tinham um enfoque psicopedagógico ou voltado às condições culturais e tendências de desenvolvimento da sociedade brasileira. Por exemplo, estudos sobre a linguagem infantil, sobre o vocabulário corrente na literatura periódica para crianças e adolescentes, análise fatorial de habilidades verbais, padronização de testes para avaliação do nível mental, testes para estudos de certos aspectos dos vestibulares para escolas superiores, etc.

A estrutura do Inep incluía uma Divisão de Psicologia Aplicada e, data desta época também, a Campanha do Livro Didático e Manuais de Ensino (CALDEME). A mesma autora⁵ (GOUVEIA, 1971) considerou que um segundo período foi inaugurado oficialmente com a criação do CBPE, em 1956. Objetos de pesquisa em andamento tinham como tópicos, por exemplo, a educação e mobilidade social em São Paulo, relações de raça no Brasil meridional, relações entre o processo de socialização e a estrutura da comunidade de Itapetininga (SP), estrutura social da escola, indicações sobre o processo educacional fornecidas pelos estudos de comunidade, e estratificação social no Brasil. A ênfase estava deslocada para estudos sociológicos e, sob a responsabilidade de sociólogos e antropólogos.

⁵ Estudos que marcaram três períodos demarcados por Gouveia (1971) podem ser encontrados nos Cadernos de Pesquisa e Estudos de Avaliação Educacional (ambos periódicos da Fundação Carlos Chagas); Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos (Inep/Mec); Educação e Realidade (UFRGS); Educação e Sociedade (Cedes/Unicamp); Revista Brasileira de Educação (ANPEd); Ensaio (Fundação Cesgranrio), dentre outros periódicos.

Produziram-se monografias, *surveys* e tentativas de análise macroscópica em que o foco de atenção foi às relações entre a escola, ou o sistema escolar, e certos aspectos da sociedade local, regional ou nacional. Muitos são os exemplos de pesquisa desta natureza, dentre eles, a pesquisa de Cláudio Castro e Jorge Sanguinety que estudaram comparativamente a educação em seis países latino-americanos, dentre eles o Brasil (GOUVEIA, 1971, 1974, 1976).

Professores do ensino superior passaram a trabalhar nesses centros do Inep, criando uma fecunda interface com as universidades. Com o desenvolvimento de pesquisas no contexto de equipes fixas, publicações regulares, oferecimento de cursos para formação de pesquisadores, inclusive com a participação de docentes de diversas nacionalidades, especialmente latino-americanos, esses centros contribuíram para certa institucionalização da pesquisa ao organizar fontes de dados e implantar grupos voltados à pesquisa em Educação. Infelizmente, nas décadas seguintes este objetivo e esta estrutura não se mantiveram e o Inep, transferido para Brasília na década de 70, já com o nome de Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais e com novos objetivos, de natureza mais técnica e de assessoria às políticas institucionais, extingue os centros regionais de pesquisa e o CBPE. Ainda nesta década, cria-se a Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Educação (ANPED) que teve e ainda tem papel marcante na integração e intercâmbio de pesquisadores e disseminação da pesquisa educacional (GATTI, 2001).

Iniciaram-se estudos de natureza econômica incentivadas por organismos prestigiosos da administração federal e também por fontes externas de financiamento. Pesquisas sobre investimentos e custos da educação, e sobre a demanda de profissionais de diferentes níveis na escola aparecem com força. Duas pesquisas exemplificam essa tendência: o estudo de Myriam Vasconcelos sobre o custo aluno-ano (1970-1970) nos estados do Nordeste e São Paulo que oferece uma análise demográfico-financeiro-educacionais na área das Ciências Sociais, e de João Batista Pereira (1969) sobre a experiência administrativa em São Paulo de uma escola secundária que fez uma interpretação sócio-antropológica desta realidade específica. O Instituto de Pesquisas Econômicas da Universidade de São Paulo também investiu em análises qualitativas do ensino superior do estado de São Paulo, como mostra o estudo de José Pastore (1970), dentre outros sobre o tema.

O desaparecimento do Inep, mesmo tendo causado um mal estar nas políticas educacionais, acarretou a transferência de investimentos em pesquisa para os programas de pós-graduação, mestrado e doutorado universitários, que se fortalecem também com a possibilidade de formação de pesquisadores no exterior (e posterior reabsorção desse pessoal no quadro acadêmico nacional) (GATTI, 2001). Essa tônica prevalece ainda hoje, no Brasil. A

pesquisa educacional está concentrada nesses programas, especialmente nas universidades públicas, sobre temas relacionados ao ensino, aprendizagem, currículos, tecnologias, inclusão, etc. Nesse sentido, o aspecto metodológico, nos anos 80 e início da década de 90, fica associado às produções institucionais, através de dissertações de mestrado e teses de doutorado, as quais passam a ser a grande fonte de produção da pesquisa educacional.

Nos anos 80, a disseminação de metodologias da pesquisa-ação e das teorias do conflito, que – apesar de sua enorme contribuição ao conhecimento sobre a cultura educacional no país, com novas formas de descrição e observação de ambientes múltiplos - abriu espaço para abordagens críticas à pesquisa científica, com tratamento estatístico de dados, em geral, em favor de abordagens puramente qualitativas, consolidando a idéia de um suposto antagonismo entre abordagens qualitativas e quantitativas, para as áreas humanas em geral, e para a educação, em particular. As críticas acabaram banindo métodos quantitativos da pesquisa em educação e deram lugar ao uso de técnicas unicamente qualitativas de aquisição de dados, como observação cursiva ou participante, análise de conteúdo, análise documental, histórias de vida, depoimentos etc. (GATTI, 2001)⁶.

Nos EUA, desde a década de 20 o tema da prática e do aproveitamento educacional tem sido objeto de pesquisa (BLOOM, 1967). A partir da década de 50, são encontradas teses desenvolvidas com pesquisas experimentais e quase-experimentais, fundamentadas por vários modelos teóricos e metodológicos, direcionadas ao ensino e aprendizagem (LANGE, 1967). Naquele país, a análise matemática foi amplamente utilizada como método científico quantitativo de dados comportamentais coletados nas relações entre grupos, analisadas sob a óptica de várias técnicas estatísticas de acordo com a ação e função, número e tipo de escalas das variáveis envolvidas, nos mais variados contextos educacionais (MEDLEY, MITZEL, 1967). No Brasil, ao contrário, apesar da cristalização das críticas à metodologia quantitativa de pesquisa educacional, não houve uma cultura importante desse tipo de tratamento.

⁶ Vale apontar, a respeito das pesquisas geradas nesta época, de natureza exclusivamente qualitativa, uma reflexão feita por Gatti (2001), no sentido de que as abordagens qualitativas são instrumentos importantes e de validade se forem sustentadas por uma teoria de teor metodológico que permita sólida aquisição e análise dos dados. É fundamental ressaltar que os pesquisadores em Educação que implantaram e consolidaram a pesquisa qualitativa no Brasil deram uma importante contribuição para uma salutar revisão de parâmetros utilizados para definir o que é fazer ciência.

Segundo Gatti (2004):

“Estudos publicados no início dos anos 70 nos mostraram: 1) que a pesquisa em educação era muito escassa e mesmo incipiente até então; e 2) além disso, dos estudos levantados pelos autores citados, 71% não eram estudos que utilizavam estudos quantitativos. E dentre os que utilizavam, a maioria empregava apenas análise descritiva de tabelas de frequências, alguns poucos correlações e raríssimos estudos de análise multidimensional”. (GATTI, 2004, p. 13).

A autora descreve que esta esmagadora maioria de pesquisas caracteriza trabalhos de natureza histórica ou são estudos descritivos, levantamentos e outros enfoques não-experimentais, que têm o questionário como instrumento de medida preferido. Quando são empregadas técnicas estatísticas, trata-se usualmente de percentagens e coeficientes de correlação. Segundo ela, este fato seria atribuível à falta de domínio de técnicas estatísticas pelos diplomados nas escolas de educação, que não possuíam cultura de projetos experimentais porque eram provenientes da escola normal. (GATTI, 2004, p. 13).

Nesse caldo de cultura, analisa ainda a autora, houve uma proliferação de “(...) adesões a sociologismos ou economismos de diferentes inspirações, de um lado, ou a psicologismos ou psicopedagogismos de outros, especialmente as chamadas teorias socioconstrutivistas” (GATTI, 2004, p. 23). Os desafios teóricos e metodológicos exigidos pela complexidade da nova cultura tecnológica do Século XXI permaneceram em aberto, em favor da adesão a modelos externos de teorias e pesquisas, mediados pela realidade da disputa entre grupos de poder na academia. Os pesquisadores, via de regra, não cultivam a postura de fazer perguntas relevantes, fora da necessidade imediata das suas próprias pesquisas e de seus grupos.

Outra autora (GOUVEIA, 1976) lembra que a conseqüência desta cultura de pesquisa empobrecida de critérios científicos e metodológicos foi a geração de uma produção desigual, tanto em embasamento quanto em procedimentos de coleta de dados: conflito entre tendências metodológicas, com ênfase em uma oposição hiperdimensionada entre pesquisa qualitativa e quantitativa. Nas abordagens quantitativas, quando existem, diz ela, há hipóteses mal colocadas, variáveis pouco operacionalizadas (ou de modo inadequado), falta de preocupação com validade e fidedignidade dos instrumentos de medida, modelos estatísticos aplicados a medidas que não suportam exigências básicas, falta de consciência sobre limites impostos pelos dados, pela forma de coleta e possíveis interpretações. E, ainda, interpretações empobrecidas pela falta de domínio dos fundamentos do método de análise empregado: encontram-se observações casuísticas, sem parâmetros teóricos, a descrição do óbvio, a elaboração pobre de observações de campo conduzidas com precariedade, análises de

conteúdos realizados sem metodologia clara, incapacidade de reconstrução do dado e de percepção crítica de vieses situacionais, desconhecimento no trato da história e de estórias, precariedade na documentação e na análise documental (GOUVEIA, 1976). Nem tudo o que se faz atualmente sob o rótulo de pesquisa educacional, como se vê, pode ser realmente considerado como fundado em princípios da investigação científica.

No final da década de 90 e no início do século XXI, empurrada pelo enorme avanço tecnológico, que trouxe consigo importantes demandas de instrumentos de pesquisa capazes de dar conta da realidade complexa, a pesquisa educacional parece prestes a dar um novo salto inovador. Um olhar sobre a produção de teses e dissertações na área, atualmente, mostra a importância de se buscar metodologias robustas e confiáveis, cuja justificativa exceda os limites da simples oposição qualitativo/quantitativo. Ambos os tipos de pesquisa precisam passar por uma depuração de métodos, técnicas e abordagens teóricas. Em frente à crescente complexidade do conhecimento e da rápida obsolescência dos conhecimentos operacionalizados nos planos curriculares em todos os graus de ensino, a pesquisa em Educação, no seu sentido amplo, não pode deixar de estar sintonizada com a dinamicidade das mudanças sociais, em condições de contribuir para a intervenção efetiva em níveis de formação, tanto específica do profissional em serviço ou do futuro profissional, quanto global da criança e do jovem ainda em crescimento.

Nos modelos experimentais ou quase-experimentais que caracterizam tanto a pesquisa quantitativa como a qualitativa, hoje se sabe da necessidade de um domínio de técnicas de construção de instrumentos sofisticadas e compreensão das análises estatísticas complexas em seus fundamentos, exemplo que particularmente motivou a realização da presente pesquisa, com base em conceitos e instrumentos das neurociências. Não há mais conhecimento isolado e é necessário compartilhar paradigmas, métodos e metodologias de investigação na prática de pesquisa (enfoque multiparadigmático), tanto quanto combinar métodos e técnicas qualitativos e quantitativos (a realidade apresenta elementos quantitativos e qualitativos e não existem motivos para mutilar sua integridade).

As tendências (GATTI, 2001) apontadas para a pesquisa educacional, hoje, referem-se à importância de se buscar temas de natureza complexa que demandem de abordagens multi e interdisciplinares; desprendimento das fronteiras restritas dos campos disciplinares e procura de interfaces e diálogos entre áreas; diferentes abordagens e modos de teorização; utilização flexível de referenciais teóricos; fim de análises que não acrescentam conhecimento e patinam na repetição de jargões e padrões já exauridos. Nesse processo, talvez fosse possível consolidar uma cultura menos permeada pela disputa entre grupos de

defesa de paradigmas epistemológicos, e mais focada no diagnóstico de problemas reais da cognição, da aprendizagem e das variáveis de ambas, com formas claras de observação, através da aquisição de dados e interpretações validáveis no âmbito das evidências, mediadas por instrumentos fidedignos e competentes para o que se quer analisar.

A breve análise crítica sobre a cultura da pesquisa educacional no Brasil – e, mais resumidamente, no mundo – teve como objetivo, neste trabalho, permitir contextualizar sua possível contribuição desta tese para as ciências que envolvem Educação.

1.2.2. Aprendizado Cognitivo-Motor visto pela Pesquisa Educacional

A análise de como ocorre o aprendizado e de como são armazenadas as memórias, e que já haviam sido pensadas pela Filosofia e pela Psicologia, passaram a ser também uma preocupação da Biologia, como um todo, como sempre deveria ter sido, até pela sua importância na estruturação do conhecimento que se busca sobre o funcionamento neural. Nas últimas décadas, o tema passou a ser tratado no escopo das teorias sobre inteligência e consciência, que já não apenas especulam, mas descobrem formas de investigar aspectos do conhecimento que podem ser inatos na mente humana, bem como os limites e possibilidades de que a experiência e o meio cultural possam influenciá-los. A discussão sobre esses limites é exaustiva e delimita espaços de disputa de paradigmas ("inatistas" X "construtivistas", no caso da Pedagogia; "sistema motor" X "sistema de ação" nas Ciências do Movimento Humano) os quais, como escreveu Kuhn (2003), talvez digam mais sobre grupos do que sobre reais incompatibilidades de assuntos⁷, não sendo, portanto, do interesse deste trabalho aprofundar. É possível, entretanto, delimitar algumas idéias razoavelmente consensuais, acerca do que é exatamente a aprendizagem, no sentido de poder definir características observáveis, com estudos eletrofisiológicos e comportamentais.

A questão da aprendizagem sempre esteve presente na pesquisa educacional, como se viu, moldada pela cultura e pelo contexto de cada momento histórico, voltada às técnicas de apoio, à adaptação de currículos às necessidades sociais, às necessidades de formação de recursos humanos. Os instrumentos utilizados para lidar com a aprendizagem, entretanto, como também se tentaram descrever na área da Pedagogia, estiveram mais comprometidos com a descrição e a subjetividade do que com o olhar científico. Do ponto de vista da cultura internacional dessa pesquisa, vale ressaltar a importância do pesquisador suíço

⁷ Ver Pinker (1998) sobre o que seria um falso antagonismo entre "construtivistas" e "inatistas".

Jean Piaget, 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. Piaget era biólogo e cultivava a objetividade científica⁸ e propôs que a aprendizagem é um processo construído endogenamente, em cada indivíduo, através da sua própria ação sobre as novas informações, buscando acomodá-las em um repertório prévio, o qual será re-organizado, com as novas informações, a partir da sua significância, na formação do novo conhecimento (PIAGET, 1987).

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). Se na sua gênese, este processo esteve embasado sobre a formação científica do pesquisador, que, embora sem instrumentos tecnológicos, ainda inexistentes, nem estratégias de validação, foram robustos o suficiente para estruturar uma corrente de pensamento, as constatações de Piaget acabaram sendo usadas, na pesquisa, como verdades a serem apenas confirmadas, na prática, por descrições, entrevistas e questionários, característicos da cultura puramente qualitativa, descritiva e quase sempre de natureza etnográfica, característica da cultura contemporânea de pesquisa educacional (DIDIO, 1974; GOUVEIA, 1976; GATTI, 2001, 2004). A questão da observação da aprendizagem, portanto, permaneceu como um ponto de interrogação.

Atualmente, na área da Educação Física, pesquisas qualitativas já oferecem dicas de aprendizagem pelos estudos sobre estratégias cognitivas de professores e alunos, manipulando-se estados de atenção seletiva aos pontos críticos e, como efeito, conseguindo-se fortes traços de memória de muita retenção. Supõe-se, por exemplo, pela observação e descrição do produto da aprendizagem em crianças, em técnica desportiva, que um ambiente com menor exigência nos processos de atenção facilita o aprendizado motor (LADEWING, 2000). Esta interferência contextual da pesquisa educacional na aprendizagem motora marcou os anos 90 com os estudos específicos do professor de educação física e pesquisador Tani (1998, 1999, 2005), que reascendeu velhos conceitos colocados como antagônicos, a luz do processamento de informações contra os sistemas de ação, como por exemplo, o "Programa

⁸ Atualmente, alguns pesquisadores criticam 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 (PIAGET, 1987). As críticas, entretanto, 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.

Motor" de Keele (1968)⁹, sob uma perspectiva dinâmica, e relacionou a atividade motora com a cognição, nas interfaces entre professores e alunos de educação física. As idéias de Tani reorganizaram o pensamento pedagógico porque mostraram outra tendência quanto a desafios metodológicos do ensino da Educação Física. Tani (2005), desenhou, com a abordagem comportamental dos sistemas dinâmicos, um novo paradigma para entender a aprendizagem humana, buscando em conceitos antigos.

Nota-se que a Educação Física foi se estruturando como uma ciência do movimento humano, agregando, - formal ou informalmente -, conhecimentos da neuropsicologia, tentando dar conta da aprendizagem motora, o que considera ainda hoje como um problema mal definido (CHOSHI, 2000).

1.2.3 Aprendizagem Motora

Desde a década de 60 o processo de aquisição de habilidades motoras, ou aprendizagem motora, tem sido considerado como uma organização ou padronização espacial e temporal da atividade neural de controle e ajuste de partes do corpo no espaço (FITTS, 1964). Foi descrita como um processo de aperfeiçoamento de habilidades cujas informações, originadas dos proprioceptores, e transformadas em código no sistema nervoso, transmitem-se por unidade de tempo (parâmetro fixo, expressivo de relações de fase), compondo uma variedade de padrões aprendidos quanto à seleção de grupos musculares (organização espacial) e o grau de contração e de relaxamento desses músculos em uma ordem precisa (organização temporal) (FITTS, POSNER, 1967). Adicionam-se a isso a informação sobre o grau de angulação das articulações e a tensão dos tendões que geram a propriocepção e a cinestesia.

Tendo sido entendida como um procedimento de construção de um plano de ação denominado "Programa Motor" (KEELE, 1968, 1982), a aprendizagem motora foi 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). Também foi considerada como a coordenação de muitos músculos, tendões e articulações que movem e sustentam o corpo, o que é dependente de estado de vigília, atenção, emoção envolvida e outros estados que predisõem à formação de memórias (GORDON, 1989; BROOKS, 1986), ou como um processo de mudança interna que determina

⁹ Conjunto de comandos musculares pré-estruturados no nível executivo (processamento cortical), prescritos para comandar a execução de movimentos habilidosos (KEELE, 1968).

a capacidade de produzir uma ação motora que melhora com a prática. Esta última argumentação exigiu a demarcação de conceitos como o de programa motor generalizado, capacidades, potencialidades e de experiências de aprendizagem ou prática deliberada (SCHMIDT, 1975, 1982; SCHMIDT, LEE, 1999; SCHMIDT, WRISBERG, 2001).

Neste contexto histórico, basicamente três modelos somaram teorias para tentar explicar o fenômeno da aprendizagem motora: o "Processamento de Informações" (STELMACH, 1982ab), e a forte e paradigmática "Teoria do Sistema de Ação" (FITCH, TURVEY, 1978; FITCH, TULLER, TURVEY, 1982; TURVEY, FITCH, TULLER, 1982) que introduziu os "Sistemas Dinâmicos" (KELSO, HOLT, et al., 1980, 1981, KELSO, SCHÖNER, 1988, KELSO, 1999; THELEN, SMITH, 1995; GOLDFIELD, 1995; TANI, 2005). Elas apresentam aspectos colocados como antagônicos, contraditórios e também consensuais que forneceram a base epistemológica para sustentar as pesquisas na área.

Resumidamente descrevendo a história da pesquisa em comportamento motor, a primeira abordagem teórica, baseada no modelo comportamental de processamento de informações (ADAMS, 1976; MARTENIUK, 1976), foi o "Modelo de Performance Humana" (ADAMS, 1971,1977; WELFORD, 1968), em que o executor da prática utilizaria a informação das demandas do ambiente para perceber, decidir e organizar, por meio de um sistema de memorização e atenção (POSNER, 1969; KEELE, 1973; ADAMS, 1976). O sujeito criaria, previamente, uma imagem do movimento, a partir de uma informação memorizada sobre um programa de seqüências de comandos e de variáveis específicas, antes mesmo de iniciá-lo, sem a influência do ambiente (KEELE, 1968, 1982), pelo menos naquele instante. Conceitos de informação, processamento e transmissão de informação, habilidade perceptual-motora, performance perceptual-motora *versus* aprendizagem, *feedback* (retroalimentação), retroalimentação cinestésica e proprioceptiva, aprendizagem do desempenho e dos resultados, código da informação, plano de ação, comando motor, execução e controle do movimento, e habilidades "abertas e fechadas" fazem parte desta abordagem (MARTENIUK, 1976). O conceito de retroalimentação apareceu na "Teoria do Circuito Fechado" (*Closed-loop Theory*), utilizado para explicar a correção dos erros às respostas ou as alterações no movimento seguinte (ADAMS, 1971, 1977; STELMACH, 1982a). Essa teoria estava restrita, teoricamente e experimentalmente, a movimentos lentos e de posicionamento.

Estes estudos, considerados pelos pesquisadores em "sistemas de ação", hierárquicos, prescritivos, com base em percepção indireta, não respondem aos problemas

relacionados aos graus de liberdade que envolve a anatomia humana e o contexto interno e externo envolvido na realização de uma tarefa no tempo (TURVEY, FITCH, TULLER, 1982; BONGAARDT, MEIJER, 2002). As pesquisas sobre a função exploratória do sistema de percepção visual (GIBSON, 1979) mostraram como sujeitos são capazes de captar a informação diretamente pelo sistema sensorial e se tornarem mais competentes para receber e agir sobre ela (*affordance*) (GIBSON, 1966). Esses estudos mostram como o animal é o criador das formas para se relacionar com o ambiente, usando o sistema perceptivo para guiá-lo no desempenho da habilidade (GIBSON, 1988, 1991; TURVEY, CARELLO, 1981). Um animal que não somente reage aos estímulos, mas atua todo o tempo, em constante avaliação dessa ação com respeito a todas as condições de mudança.

Com base nestas premissas, outro modelo para o comportamento motor se organizou, apontando para atividades motoras cíclicas, uma expressão dos circuitos relacionados com percepção-ação. A "Teoria do Sistema de Ação" rejeitou, radicalmente, os conceitos de "programa motor" e "programa motor generalizado" (REED, 1982, FITCH, TURVEY, 1978; TURVEY, CARELLO, 1986). Assim, pôde-se começar a entender o domínio dos graus de liberdade e o papel da variabilidade condicionada pelo contexto, partindo da premissa de que a organização da motricidade relativa e específica, inserida no ambiente, com participação limitada das representações do sistema nervoso na concretização das ações. Nesse caso, a informação não seria somente quantidade a ser estocada mas a estreita relação entre o animal e sua adaptação às demandas e mudanças do ambiente (GIBSON, 1966).

Então, especificadamente em relação à coordenação e ao controle motor, os termos passaram a ter conceitos específicos: O primeiro, como a função de restringir variáveis potencialmente livres pela organização de unidades de seleção e relação neuromusculares; e o segundo, como a modulação dos parâmetros de força, amplitude e velocidade (KELSO, HOLT et al, 1980; KUGLER, KELSO, TURVEY, 1980; NEWELL, 1986). "Coordenação Motora" foi entendida como uma unidade de complexidade, capaz de se desenvolver, proliferar-se, complexificar-se e, evolutivamente, "emergir" em organização, dada pelos parâmetros modulados pelo controle motor. Uma função composta por elementos solidários e resultantes das interações entre o sujeito e o ambiente, considerando a relação dinâmica entre eles, sob o controle dos genes e sob forte influência a fatores extrínsecos (THELEN, SMITH, 1994). Um modelo de organização (de coordenação) onde sinais centrais estariam sendo constantemente modulados (pelo controle) pela atividade sensorial em curso, dependentes dos efeitos do torque passivo, da massa e da gravidade, independentemente da vontade e da

consciência (GOLDFIELD, 1995). Esta perspectiva de sistema de ação não é uma única visão, é uma variedade de argumentações separadas, com um número de fortes representações similares que partilham com muitos aspectos da motricidade. Essa abordagem questionou o que chamou de "crença em programas motores" cuja representação cognitiva pré-estruturava exclusivamente a perspectiva do movimento (KUGLER, KELSO, TURVEY, 1982; KUGLER, 1986; TURVEY, 1977; NEWELL, KUGLER et al, 1988).

Em 1977, Turvey provavelmente inaugurou esta clássica controvérsia entre "sistema motor" (hierárquico) e "sistema de ação" (heterárquico) que, na década de 90, foi motivo de ampla discussão sobre a dúvida da necessidade, ou não, da emergência de um novo paradigma dominante (ALBERNETHY, SPARROO, 1992). Turvey foi o primeiro pesquisador a encarar a perspectiva ecológica de Gibson (1966), o problema dos graus de liberdade e da variabilidade condicionada pelo contexto de Bernstein (1967), e os ciclos percepção-ação (TURVEY, 1977; MEIJER, 1988). O conceito de heterarquia foi uma das primeiras tentativas de superação do modelo de processamento de informações pelo conceito de *restrições* (NEWELL, 1986). Em 1991, Swenson e Turvey, anunciaram os ciclos de percepção-ação e os princípios termodinâmicos de qualidade auto-organizacional, o que explicaria a emergência de padrões coordenados durante a aquisição da locomoção, por exemplo. Descobriu-se que os segmentos do corpo procederiam como sistema cíclico e dissipativo porque perderiam energia e necessitariam reforçar o procedimento do ciclo para continuar o padrão de deslocamento do corpo pelo espaço (BARELA, WHITALL, et al, 2000). Esta interdisciplinaridade com a Física foi introdutória à abordagem de sistemas dinâmicos adotada pelos pesquisadores da área de Desenvolvimento Motor. Começou-se a pensar sobre padrões de coordenação com parâmetros no controle que substituiriam em complexidade os mais antigos, mudando de estado dinâmico e evoluindo no espaço e no tempo durante o desenvolvimento motor humano (CLARK, TRULY, PHILLIPS, 1999ab; GOLDFIELD, 1995).

A "Teoria do Padrão Dinâmico", desenvolvida à luz desta abordagem de sistemas dinâmicos (KELSO, 1999), procurou avaliar e entender comportamentos de *fase*, movimentos periódicos que se repetem no tempo, originados da observação da transição entre movimentos em-*fase* e anti-*fase* dos dedos das mãos (KELSO, 1977, 1999; KELSO, HOLT et

al, 1980; HAKEN, KELSO, 1985). O experimento fundador da teoria, datado de 1977¹⁰, mostra a sincronização (synchronous = sincronia; chronos = tempo, syn = o mesmo, comum) ou ajustamento do ritmo entre os movimentos dos dedos, devido a uma interação que partilham um tempo comum. O padrão anti-*fase* seria fruto do acoplamento entre o sistema nervoso e as informações de posição e velocidade articulares advindas dos proprioceptores. Um tempo de retardo entre a alça de acoplamento propriocepção-ação de meio período equivaleria à transição de *fase* observada (KELSO, SCHÖNER, et al, 1987; HAKEN, KELSO, 1985; KELSO 1982, 1999; PIKOVSKY, 2001).

O conceito e os parâmetros criados para explicar as "Estruturas Coordenativas", ou sinergias musculares (SCHÖNER, KELSO, 1988, SALTZMAN, MUNHALL, 1992), sustentam até hoje o desenvolvimento da coordenação e do controle de habilidades pela organização entre ambiente, indivíduo e tarefa em tempo real (FITCH, TULLER, TURVEY, 1982; SALTZMAN, KELSO, 1985; SCHÖNER, KELSO, 1988; TULLER, FITCH, TURVEY, 1982; KELSO, HOLT, et al, 1981; NEWELL, KUGLER et al, 1988; THELEN, SMITH, 1994; BULLOCK, GROSSBERG, 1988).

Porém, as críticas aos "Programas Motores" nunca conseguiram excluir por completo a importância da cognição no planejamento e programação dos movimentos. Atualmente, pensa-se no sistema nervoso como projetado de forma que um componente pode desempenhar várias funções e uma função pode ser resultado da relação entre vários componentes, para processar informações as quais tem acesso, para resgatá-las, e para, plasticamente, alterar seus circuitos e códigos. Esta lógica entre morfologia e função do sistema nervoso faz com que conceitos como circuito fechado, circuito aberto, retroalimentação, esquema, variabilidade, sistema de ação, *affordance*, estruturas coordenativas, categoria de ação, acoplamento, sistemas oscilatórios, processamento de informações, entre outros, convivam no cotidiano das investigações científicas na aprendizagem de forma integrativa, sistêmica e dinâmica (GODINHO, 2002), e não mais sejam vistas como peças antagônicas.

Neste cenário epistemológico, o sistema nervoso do animal é base para o seu comportamento. Seus conjuntos de células agrupadas, suas relações e grandezas que evoluem com o tempo têm papel destacado em todos os níveis da ação motora, desde a percepção, na identificação dos estímulos que entram em paralelo e de maneira contínua, em série, no

¹⁰ Pode ser experimentado por qualquer pessoa: movimentar os dedos indicadores em anti-fase, formando um ângulo de 180° com relação à palma da mão. Conforme se aumenta, gradualmente, a velocidade dos dedos, os movimentos oscilatórios em anti-fase começam a ficar instáveis até que acontece uma transição para outro padrão de coordenação, para um modo em-*fase*.

sistema, passando pela intenção, seleção, programação. No comportamento motor, propriamente dito em tempo real, esta perspectiva dá um novo sentido aos termos estabilização e adaptação dos sistemas envolvidos na aprendizagem, no desenvolvimento e no controle motor em animais e em humanos (TANI, 2000, 2005; KUGLER, KELSO, TURVEY, 1980; KELSO, HOLT, et al, 1981; HAKEN, KELSO, 1985; CLARK, TRULY, PHILLIPS, 1990ab; FORRESTER, PHILLIPS, CLARK, 1993; THELEN, SMITH, 1994; GOLDFIELD, 1995; BARELA, WHITALL et al, 2000).

O fisiologista Ganong (2003) descreveu, simplificadamente, o conceito de aprendizagem adotado nesta tese, como a aquisição da informação que faz a mudança de comportamento possível, enquanto a memória retém ou armazena essa informação. Propõe-se a aprendizagem motora como uma capacidade comum a todos os animais, sinteticamente resumida como aquisição e/ou desenvolvimento de habilidades para alterar comportamentos com base na experiência. Didaticamente, o processo começa com o indivíduo sendo confrontado com uma determinada tarefa - no caso da aprendizagem motora - que requer ação da musculatura esquelética para atingir seu objetivo. Depois de conhecida a tarefa, como comportamento de comunicação e cognitivo, no estágio motor, a prática vai refinando a habilidade e organizando eficientemente os padrões de coordenação e de controle dos movimentos. Finalmente, com a prática extensiva, quanto mais complexa vai se tornando a atividade motora, os novos padrões que emergiram durante essa experiência são memorizados e os movimentos (ou novos padrões de coordenação e controle que emergiram) automatizados, e o indivíduo não mais necessita fazê-los conscientemente e derivar toda a sua atenção sobre todos os componentes motores da habilidade que está executando. Neste estágio final de automatização dos movimentos aprendidos, existe aumento na eficiência, autoconfiança e capacidade para detectar, reconhecer e corrigir erros decorrentes de uma seleção muscular imperfeita ou da execução inapropriada do comportamento pretendido frente à tarefa (SCHMIDT, WRISBERG, 2001). Essas experiências armazenadas na memória, modificam capacidades inatas e podem gerar uma diferente capacidade mais elaborada. Observa-se comportamento gerando dedução de conhecimento, tentativa e erro, modificação de estruturas cognitivas por ligação estímulo-resposta, causa e efeito relacionados a aferências e eferências do sistema nervoso. A seleção das respostas e as operações mentais modificadas pela experiência caminham lado a lado nesta perspectiva teórica para a aprendizagem motora (GODINHO, 2002).

Assim, o sistema biológico funciona de forma dinâmica para lidar com momentos de estabilidade e instabilidade que resultam na formação de uma estrutura de

coordenação cuja padronização é espacial e temporal (TANI, 2005). Adquirir uma habilidade motora significa, pela prática, ver emergir novos padrões de movimentos cujas adaptações modificam a informação adquirida e organizam-na em um nível superior de complexidade. Quer seja como objeto de exploração ou de manipulação do ambiente, todo o sistema biológico está continuamente se modificando de acordo com os dados sensoriais que coleta na prática cotidiana (TANI, 2000), o que não significa que existam infinitas possibilidades de execução do ato motor.

Os problemas de engenharia que nós, humanos, resolvemos quando enxergamos, andamos, planejamos e tratamos dos afazeres diários são desafiadores e projetam o pesquisador do movimento humano para a interdisciplinaridade, como condição fundamental, para observar e monitorar variáveis do sistema nervoso envolvidas em aprender. Ser habilidoso significa conseguir organizar, ou coordenar, grupos de músculos de forma que a meta da tarefa seja atingida com alto nível de desempenho, ou com alto controle. Essa organização envolve a totalidade de estruturas do sistema biológico, desde o córtex cerebral até as terminações nervosas nos músculos. Embora possam diferir em muitos detalhes, as pesquisas sobre o movimento humano têm provido muitas explicações sobre coordenação e a modulação dos movimentos e são construídas tentando distinguir entre o que é controlado e o que controla (BEEK, 1989).

Nesta tese, "Aprendizagem Motora" está sendo entendida do ponto de vista cognitivo e motor do desenvolvimento da programação e do planejamento estratégico de padrões de coordenação e do controle motor por experiência, mudança de comportamento e memória. "Coordenação Motora" como parâmetro fixo, absoluto e invariante, aprendido pelo sistema nervoso: seleção de padrões musculares, expressa como relação, aprendida pelos motoneurônios da medula por influência do encéfalo e dos receptores sensoriais, proprioceptivos e interoceptivos, do meio interno e externo, ou seja, nas seqüências musculares e suas relações de duração de fase específica durante a tarefa. "Controle Motor" está diretamente relacionado aos parâmetros relativos que modulam parâmetros de amplitude, velocidade, seleção de unidades motoras e força (UMPHRED, 2004) e de tempo real. Porém esses parâmetros de controle de tempo real também são aprendidos e armazenados em memórias dinâmicas de curto, médio e longo prazos que são resgatadas. Entende-se que a capacidade de armazenar informações - memória - seja uma característica morfológico-funcional do sistema nervoso. Entende-se que o aprendizado seja a tentativa de *adaptação* do sujeito à meta da tarefa no ambiente, frente à instabilidade gerada pelo seu próprio comportamento (TANI, 2000, 2005).

Esta tese quer propor metodologia científica para monitorar as variáveis cognitivas e motoras envolvidas na estabilização, desestabilização, programação e planejamento de movimentos. Como, até agora, as pesquisas têm descrito e classificado o produto do aprendizado, analisando a habilidade motora aprendida do ponto de vista biomecânico ou de desempenho, atualmente os pesquisadores encontram dificuldades para isolar variáveis envolvidas para medir quantitativamente o que muda no sistema nervoso enquanto se aprende e se relembra e qual a natureza dessa mudança (KELSO, 1999; CHOSHI, 2000).

O capítulo a seguir é uma tentativa de justificar a escolha desta metodologia, mostrando como a área de pesquisa ao qual está inserida a tese se desenvolveu como ciência ao agregar valores e metodologia das neurociências na tentativa de encontrar maneiras experimentais e científicas de responder problemas relacionados ao aprendizado cognitivo-motor humano.

1.2.4 Contribuições da teoria e dos instrumentos das Neurociências para a Pesquisa em Aprendizagem Cognitiva e Motora

O processo de aprendizagem motora tem sido focado pelos pesquisadores interessados no desenvolvimento da coordenação e do controle motor de habilidades adquiridas (NEWELL, 1986; NEWELL, KUGLER, et al. 1988; CLARK, TRULY, PHILLIPS, 1990; KELSO, 1999; SCHMIDT, LEE, 1999; SCHMIDT, WRISBERG, 2001; TANI 2000, 2005), amplamente pelas Neurociências (LENT, 2001; KANDEL, SCHARTZ, JESSEL, 1997; PURVES, AUGUSTINE, et al, 2005; CATER, 2003; SQUIRE, KANDEL, 2003), e, mais recentemente, pela Informática (NEVES, 2006).

Provavelmente, o início da interdisciplinaridade da área do comportamento motor humano com a neurofisiologia tenha sido com os estudos de Sherrington, iniciados por volta de 1906. A descoberta dos componentes neuronais do arco reflexo na medula espinhal em diversos modelos animais, por décadas foi considerada o suporte para a hipótese do circuito aberto (SCHMIDT, LEE, 1999). Esses experimentos garantiam que os movimentos ficavam totalmente degradados em relação a sua precisão sem a retroalimentação. Em modelos de pesquisa animal, mecanismos de representações dos atos perceptuais e motores durante a respiração, locomoção e simples reflexos motores têm sido relacionados às suas bases celulares, moleculares ou genéticas (GRILNER, 1975, 2000; GRILNER, ROSSIGNOL, 1978; GRILNER, ZANGGER, 1979; GRILNER, MARKRAM, SCHUTTER, 2005). Essas

pesquisas mostraram que a seqüência muscular do padrão de coordenação ficava intacta na supressão da aferência sensorial, contrariando as afirmativas de Sherrington para essa espécie animal. A retroalimentação se mostrou essencial para modular parâmetros de controle dos movimentos sobre um padrão de coordenação basal automatizado pelo sistema nervoso central, contrariando com isso a hipótese do circuito aberto. Estes comportamentos são estudados nas atividades iônicas e protéicas dos Geradores de Padrão Central (GPC) no sistema nervoso de lampréias, por exemplo (GRILNER, WALLEN, BRODIN, 1991). Com a descoberta dos GPC's (DUYSENS, VAN DE et al, 2002; DIETZ, 1996; EULER, 1980) setenta anos mais tarde da descoberta dos circuitos medulares por Sherrington, Grillner e colaboradores substituíram a idéia de coordenação de reflexos pela idéia da locomoção comandada por ritmos criados em centros geradores situados na medula que, uma vez dada a ordem pelo tronco encefálico, gerariam todos os comandos motores necessários, mesmo na ausência de informação sensorial, ou seja, independente de reflexos (PRIBE, GROSSBERG, COHEN, 1997; SAKURAI, WILKENS, 2003; SHIK, ORLOVSKII, 1965, 1976; SHIK, ORLOVSKII, SEVERIN, 1966; SJÖSTRÖM, ZANGGER, 1975; STEHOUWER, FAREL, 1983; STEHOUWER, 1988; WATSON, BEKOFF, 1990). GPC's estão descritos, na atualidade, como automatismos que podem ser modificados pela vontade ou imposto pelas irregularidades do ambiente, e sua estrutura neural parece ser geneticamente predeterminada. Ainda hoje, não existe confirmação de que estejam presentes no ser humano e tal modelo também é raramente gerado depois de uma transecção total espinhal. Apesar disso, este padrão alternado cíclico e rítmico é evidentemente observado nas manifestações estereotipadas durante a atividade normal e anormal dos reflexos fásicos e na auto-organização motora. (ZAJAC, NEPTUNE, KAUTZ, 2002; DUYSENS, VAN DE et al, 2002; DIETZ, 1996, EULER, 1980). Hoje, pensa-se em circuitos corticais que sejam GPC's cerebrais, plásticos, (GPC's de aprendizagem), com a probabilidade de predizer um princípio básico de organização e função, dadas para diferentes dinâmicas dos circuitos corticais (GRILNER, MARKRAM, SCHUTTER, et al, 2005; YUSTE, MACLEAN, et al, 2005).

Tentativas deliberadas geram mudanças no processamento interno do sistema nervoso, que aprende a realizar as contrações e relaxamentos seqüenciais no tempo e no espaço de grupos musculares agonistas, antagonista e sinergistas de cada movimento, quando apropriado e necessário aos atos motores voluntários e automáticos. Nos estágios iniciais da aquisição de habilidades motoras, antes da automatização, a contração simultânea e desorganizada dos grupos musculares torna os movimentos mais *rígidos* em relação aos movimentos habilidosos que têm controle *suave*. Quando os movimentos treinados se tornam

altamente desenvolvidos em coordenação e controle, as pessoas se ocupam muito menos em prestar atenção e pensar sobre seus movimentos. A tentativa de expressar conhecimento consciente sobre a habilidade motora aprendida e automatizada, durante o desempenho, é uma boa forma de prejudicar sua execução (SQUIRE, KANDEL, 2003).

Há muito tempo os experimentos indicam que um evento motor pode envolver o sistema nervoso como um todo, mas é atual pensar que suas regiões podem funcionar em sincronização (MONTEIRO, 2002, PIKOVSKI, 2001) e que atributos simples e complexos do movimento voluntário têm representação porque utiliza códigos neuronais para diferentes fatores biomecânicos dos movimentos, como ocorre quando os vetores cinemáticos combinam direção, amplitude e velocidade dos segmentos corporais (LEIJNSE, SNIJDERS et al, 1993; MACKAY, 1997).

Os conhecimentos da Neurofisiologia dão um sentido biológico para a aprendizagem motora. Um campo fértil para estudos do processamento de informações relacionado ao movimento humano quanto a entender como o comportamento motor aprendido perpassa pela cognição, como o sistema nervoso muda, em parte ou como um todo, enquanto aprende a habilidade que quer, apesar das bases para o aprendizado de alguns movimentos sequenciais poderem ter pouca representação/análise consciente¹¹. A experiência do desempenho cognitivo-motor no ambiente, gera ação. Essa ação deixa vestígios e desenvolve a capacidade desse repertório inato de se aperfeiçoar (PINKER, 1998)¹². Assim, a informação parece ser uma correlação entre duas propriedades características, a inata e a passível de ser aprendida. Esse processamento mostra que um sistema é moldável, pelo que sua morfologia representa, quando suas partes processam informações de maneira não-linear e em paralelo, organizando-se estruturalmente em programas ou montagens.

Os estudos sobre percepção, que oferecem evidências de quão amplamente a experiência pode afetar sistema nervoso, e os estudos biológicos, de como as células nervosas sinalizam umas às outras, estão clareando a idéia sobre esta sinalização não fixa modulada pela atividade e pela experiência. Eles mostram que o sistema utiliza células nervosas como

¹¹ Grande parte é reativa postural, que, volitivamente e não conscientemente, acessa toda a base neurofisiológica disponível dos mecanismos neuromotores inatos projetados para facilitar o aprendizado (RASIA-FILHO, 2006) e modula variáveis de amplitude, direção, velocidade e número dos segmentos corporais envolvidos nos movimentos, além de seleção, seqüência e força musculares. Habilidades motoras aprendidas são expressas mediante desempenho voluntário, ou seja, consciência atencional, ideação, e são impregnadas por procedimentos cognitivos (ANDERSON, 1982) e há diversas regiões do encéfalo que afetam esses aspectos, principalmente quando a memória de longo prazo está envolvida (SQUIRE, KANDEL, 2003).

¹² O aprendizado ocorre a partir de circuitos pré-formados inatos que se desenvolvem com a prática deliberada de uma tarefa modulando-se pelo acúmulo de experimentos, acrescentados de novos circuitos, graças à sinalização das células nervosas umas às outras. O sistema é plástico e esse mecanismo celular e molecular é plausível para alguns aspectos do armazenamento da informação.

instrumentos elementares para o armazenamento de uma memória e que ela não é unitária, mas se apresenta de diferentes formas e utiliza lógicas distintas em diferentes circuitos no encéfalo (SQUIRE, KANDEL, 2003; PURVES, AUGUSTINE, et al, 2005, GOULDING, LANUZA, et al, 2002).

Atualmente, as Neurociências utilizam amplamente o EEG, com e sem a Ressonância Magnética Funcional (*fMRI*) ou Magnetoencefalografia (*MEEG*) para avaliar, qualitativamente e quantitativamente, parâmetros de estado da atividade elétrica gerada pelas células nervosas e a atividade metabólica no encéfalo vivo (ANDREW, PFURTSCHELLER, 1997; BABILONI, BABILONI, et al, 2003, CANTERO, ATIENZA et al, 2004; CSICSVARI, JAMIESON et al, 2003; DINESH, PURCOTT et al, 2003; FAUGERAS, 2004; GEVINS, 1979; GEVINS, ZEITLIN et al, 1979; HJORTH, 1975; ROSSINI, PAURI, 2000; JANTZEN, STEINBERG, KELSO, 2005; KIM, WLIASSEN, SANES, 2005; HIRAI, 1999; POPIVANOV, MINEVA, KREKULE, 1999, GROSS, SALENIUS, et al, 2000, GRUZELIER, 1996; SLOBOUNOV, CHIANG, et al, 2002). Esses estudos mostraram, entre outros achados, que o treinamento de determinadas tarefas em seres humanos leva a alterações na estrutura micro-anatômica, ou seja, áreas específicas do encéfalo aumentaram de representação funcional durante um aprendizado motor seqüencial e modificam mapas topográficos corticais. Na tarefa de tocar o dedo polegar com cada um dos demais dedos da mão, em uma seqüência específica, foi alcançado um aumento na velocidade do desempenho da seqüência com treinamento prolongado. Após o treino, quando os sujeitos alcançaram uma velocidade dobrada com o movimento dos dedos, a área do córtex motor que era ativada tornou-se mais ativada, o que persistiu por muitas semanas, enquanto persistiu a capacidade de realizar a tarefa a uma velocidade maior (SQUIRE, KANDEL, 2003). Parece provável que a prática motora tenha recrutado atividade de neurônios adicionais no córtex motor, em proporção à destreza e à velocidade com que os sujeitos deveriam executar os movimentos seqüenciais. Da mesma forma, o treinamento de ratos no aprendizado de labirintos alterou o córtex visual e o cerebelo, o que significa que atenção e percepção consciente estavam presentes no início do aprendizado de habilidades e deram lugar ao processamento e memorizações de informações em áreas subcorticais na medida em que o aprendizado prosseguiu. Em estágios iniciais, engajaram-se o córtex pré-frontal (o que condiz com o seu papel no armazenamento da informação para utilização temporária), o córtex parietal (área de conhecida importância para a atenção visual), o córtex temporal (hipocampo e formação parahipocampal), núcleos da base, e o cerebelo. Após exercitar a habilidade, se engajaram o córtex motor e motor suplementar atuando de forma marcada. Assim, a relação entre a

morfologia e a função fica dada pelas diferentes regiões do cérebro atuando para processar, comparar, planejar, acionar, e armazenar na memória de curta ou de longa duração a informação baseada em habilidades, permitindo a aprendizagem e aquisição de habilidade motora com execução suave (com controle) de movimentos. Quando se adquire novas informações que são armazenadas como memórias, novas alterações anatômicas se estabelecem nas estruturas que compõem o sistema e que podem agora ativar o funcionamento dos núcleos da base e do cerebelo nessas memórias de tipo não-declarativas (SQUIRE, KANDEL, 2003; GANONG, 2003).

Assim, pensa-se que a prática de habilidades motoras recruta atividade de neurônios e células gliais adicionais para modificar padrões de coordenação e de controle motor do sistema musculoesquelético. Especificamente em relação à motricidade, pode-se dizer que o processamento das informações que chegam ao sistema nervoso, provenientes do ambiente externo e interno do corpo, e o armazenamento de memórias de longo prazo associado à capacidade de sincronização entre as várias regiões encefálicas e medulares em tempo real, (MONTEIRO, 2002), programam parâmetros de força muscular e vetores de direção, amplitude e velocidade dos segmentos corporais durante o planejamento da ação. Sabe-se que existem diferentes códigos neuronais para diferentes fatores biomecânicos (KELSO, 1999).

Vários exemplos estão disponíveis na literatura para mostrar que os movimentos voluntários e automáticos são produzidos por padrões eletrofisiológicos espaciais e temporais, de contrações musculares causadas por grupos de neurônios próprios da medula espinhal, orquestrados pelo encéfalo. Resumindo-se, observa-se que estes padrões são chamados de atividades sincronizadas preparatórias, compostas por componente cognitivo, motor e somestésico, que parece ser essencial para uma precisa atuação motora (ANDREW, PFURTSCHELLER, 1997; MACKAY, 1997, HIRAI, 1999, PFURTSCHELLER, NEUPER, KALCHER, 1993; POPIVANOV, MINEVA, KREKULE, 1999, BABILONI, BABILONI, et al, 2003). Ciclos entre populações de neurônios fornecem uma referência temporal para codificação e armazenamento de informações (BRESSLER, 1990, MACKAY, 1997). A codificação da informação parece estar integrada por uma rede cooperativa de neurônios interconectados que se manifestam em padrões de modulação espaço-temporal entre frequências (SHADLEN, NEWSOME, 1994; ANDREW, PFURTSCHELLER, 1997; BABILONI, BABILONI, et al., 2003). Em modelo com outros animais e em humanos as pesquisas mostraram relações de frequência das ondas eletroencefalogramas com o tempo de

reação do EMG e mostraram a capacidade de processamento geral de informação no sistema nervoso (BASAR-EROGLU, STRUBER, 1996).

As ondas captadas pelo EEG são descritas como bandas de frequências corticais relacionadas aos movimentos voluntários que envolvem atenção. Alfa, Beta, Gama e Teta são descritas na literatura e as pesquisas mostram claramente o fenômeno de sincronização e as diferentes frequências captadas pelo EEG. (BABILONI, BABILONI, et al, 2003, MACKAY, 1997; BASAR-EROGLU, STRUBER, 1996; SHAW, 1996; CSICSVARI, JAMIESON, et al, 2003; FAIRCHOUGH, VENABLES, TATTERSALL, 2005; HIRAI, 1999; MACKAY, 1997; SAUSENG, KLIMESCH, et al, 2005). Veja-se a clássica classificação das atividades eletroencefalográficas apresentada no capítulo 2, de Desenvolvimento, no Artigo 1 e no Artigo 2, este último carregando a ampla revisão neurofisiológica que sustentou a abordagem metodológica de aquisição, análise e discussão de sinais bioelétricos de EEG e EMG de todos os experimentos que fizeram parte desta tese. Ambos os estudos embasaram-se, teoricamente e tecnicamente, em conceitos, métodos e técnicas advindos das Neurociências, da Matemática, da Informática, e da Engenharia Elétrica para alcançar seus objetivos específicos.

2 DESENVOLVIMENTO

Conforme se havia citado anteriormente, os dados referentes aos experimentos piloto e principal desta tese estão a seguir apresentados no formato de três artigos científicos, que mostram resultados, análise e discussão específica, levando-se em consideração objetivos, métodos e técnicas próprias. Expõe-se o assunto e as idéias principais que fundamentaram logicamente a pesquisa experimental, apresentando-os à luz da argumentação pertinente aos mesmos, e que, como um todo, foi delineando a construção da tese e levando-a a uma conclusão final, apresentada no capítulo 3.

O Artigo 1 (p. 48), publicado e apresentado em *International Conference on Engineering and Technology Education- INTERTECH* (2008: Santos, SP), apresenta um resumo do contexto histórico sobre a pesquisa educacional no Brasil (descrito na íntegra no capítulo 1, de Introdução). Este artigo justifica o modelo experimental proposto na tese para pesquisar processo de aprendizagem cognitivo-motora, e introduz, pelo exemplo do experimento-piloto (descrito no Artigo 2) a interdisciplinaridade com as Neurociências, com a Matemática e com a Engenharia Elétrica para aquisição de sinais por EEG. A apresentação oral no evento, que reuniu professores pesquisadores das Ciências Exatas, das Ciências Humanas e da Filosofia, vindos de laboratórios e universidades de grandes centros culturais, contribuiu para a engenharia da educação pelo viés da biologia, na avaliação de variáveis bioelétricas neurofisiológicas, e gerou curiosidade entre pesquisadores. Neste sentido confirmou-se a tese como inovadora, por apresentar dados originais que parecem servir para avaliação e diagnóstico de aprendizagem humana.

O Artigo 2 (p. 53), submetido à Revista *Ciência & Cognição*, propôs metodologia científica para a pesquisa educacional por meio da observação e quantificação de sinais de EEG relativos a evidências cognitivas de aprendizagem motora. No contexto geral da tese, que se propôs à interdisciplinaridade entre as Neurociências e as Ciências do Movimento Humano, este artigo apresenta uma revisão relativa às questões cognitivas de processamento de informações envolvidas na aprendizagem motora. Descreve-se experimento-piloto da tese, que avalia as alterações dos sinais pré-motores de EEG em 4 momentos de tarefa cognitivo-motora específica na *aquisição* das informações relativas a ela. Relacionam-se as teorias da área de aprendizagem motora com métodos, técnicas e conceitos da Neurofisiologia.

O Artigo 3 (p. 82), descreve experimento principal da tese, que monitorou *aquisição, consolidação e evocação* do objeto de aprendizado - no caso, uma notação musical

executada no violão - por EEG e EMG. No contexto geral desta tese, que se propôs à interdisciplinaridade entre Saúde, Educação e Neurociências, este artigo científico apresentou o resultado desta experiência, gerando metodologia experimental. Todos os percalços vividos pela pesquisadora e seu grupo, primeiramente com a dificuldade de adquirir um instrumento de EEG e, secundariamente, quanto ao desconhecimento da complexidade que envolveria a metodologia de aquisição e processamento de dados, culmina com este estudo, que cumpre integralmente aquilo que a tese como um todo se propôs a fazer. Guardando todas as competências adquiridas pela pesquisadora e o êxito em poder comprovar hipóteses dadas *a priori* do experimento, pôde-se, com a metodologia proposta e experimentada, apontar outras necessidades e possibilidades de análise e processamento de dados. (Pode-se conferir o banco de dados parcial - dos dados que foram analisados - no Anexo F).

2.1 Artigo 1

Pesquisa Educacional no Brasil: interdisciplinaridade como forma de agregar valor científico e experimental. (Publicação de abstract em anais, texto completo em revista virtual e apresentação oral.).

INTERTECH 2008 - International Conference on Engineering and Technology Education - (2008: Santos, SP)

161a Proceedings, International Conference on Technology and Engineering Education, INTERTECH 2008, March 02-05, 2008. Published by Cláudio da Rocha Brito (ISBN 85-89120-54-6) & Melany M. Ciampi (ISBN 85-89549-50-X), 2008.
<http://www.copec.org.br/intertech2008/>.

1.v

1. Engineering - Congress 2. Technology - Conference I BRITO, C.R., ed II CIAMPI, M.M., ed III. COPEC - Council of Researches in Education and Sciences IV. Title

CDD - 370

2.2 Artigo 2

Metodologia científica na pesquisa educacional: observação e quantificação de sinais de EEG relativos a evidências cognitivas de aprendizagem motora

(Submetido à Revista Ciências & Cognição, em 18 de Fevereiro de 2008).

ISSN 1806-5821

Instituto de Ciências Cognitivas

Sala G2-032, Bloco G – CCS – IBCCF, UFRJ. Avenida Brigadeiro Trompowski S/N – Cidade Universitária, Ilha do Fundão 21.941-590 Rio de Janeiro, RJ, Brasil – E-mail: revista@cienciasecognicao.org Rio de Janeiro, 26 de fevereiro de 2008. **Ref.: m318232**

“Metodologia científica na pesquisa educacional: observação e quantificação de sinais de EEG relativos a evidências cognitivas de aprendizagem motora.”

<http://www.cienciasecognicao.org>

2.3 Artigo 3

Processo de aprendizagem motora: metodologia experimental para observação e quantificação de sinais bioelétricos neurofisiológicos por EEG e EMG

3 CONCLUSÕES

Nesta tese, identificaram-se variáveis envolvidas no aprendizado motor, antes e após experiência, integrando o fenômeno cognitivo à motricidade, mostrando-se, no geral, a relevância da presença dos pesquisadores do movimento humano nos laboratórios de pesquisa educacional, como usuários e como produtores de conhecimento que diz respeito ao seu pensar e ao seu fazer cotidiano. Mais do que buscar respostas, a tese, enquanto pesquisa educacional, dedicou-se a identificar questões relevantes e definir um acervo teórico e técnico.

Pode-se considerar que o desenho experimental gerou as alterações nas ondas eletroencefalográficas e eletromiográficas, conforme se esperava, enquanto se identificou, teoricamente e empiricamente, os elementos do objeto de estudo proposto. Com isso, contribuiu-se com metodologia científica para avaliar fenômenos relacionados à aprendizagem, tão importante para o amadurecimento da cultura de pesquisa desta área, no Brasil, valorizando-a com métodos quantitativos de análise. Considera-se que foram integradas, de forma eficiente e produtiva ao desenho metodológico, *hardware* e *software* de aquisição e processamento, testados quanto à monitoração, quantificação e qualificação de sinais corticais e musculares de frequências e amplitudes, variáveis que foram identificadas no sinal eletrofisiológico; que permearam o processo de aprendizagem da tarefa motora específica em tempo real e no tempo que se deu todo o experimento. Experimentou-se metodologia e tecnologias para interpretação desses sinais de EEG e EMG e para isso desenvolveram-se rotinas matemáticas específicas que validaram o modelo de experimento. A apropriação de conceitos, métodos e tecnologia das outras disciplinas potencializaram a pesquisa, e o grupo ao qual está inserida, a consolidar cultura de produção de pesquisas interdisciplinares. Assim, objetivos, geral e específicos, foram alcançados, guardada as devidas proporções restritivas da amostragem no que tange a maior abrangência e generalização.

3.1 Direções Futuras

As alterações geradas e monitoradas ainda não foram analisadas na totalidade visto que não houve processamento dos sinais sonoros, monitorados e adquiridos durante gravações de áudio, considerada como a variável relacionada diretamente com o

desenvolvimento da coordenação e do controle motor durante a prática deliberada no processo. A análise e discussão de dados de desempenho no violão possibilitarão conhecer e medir parâmetros quantitativos (também no âmbito da dinâmica matemática e estatística das frequências das ondas sonoras) relacionados com a qualidade do desempenho motor do violonista (frequências das ondas sonoras X velocidade de execução da tarefa X incidência de erros) Projeta-se fazer esta complementação de resultados ainda no primeiro semestre deste ano corrente, em forma de artigo científico, como uma das continuidades imediatas deste trabalho. Além disto, dos 5 dias de coleta, foram analisados o 1º e o 5º, e das 4 tomadas de 1 minuto de prática deliberada (entre 1-2, 5-6, 9-10, e 14-15 minutos) foram analisadas a primeira e a última tomadas (1-2 e 14-15). Pode-se perceber a lógica de analisar e discutir o efeito da prática antes e após aprendizagem da tarefa (produto), e o que se está sugerindo como continuação diz respeito a uma análise de processo, assumindo-se a complexidade que isto possa representar.

Sugere-se aproveitar o rico banco de dados desta tese. Pode-se listar como exemplos desse aproveitamento (1) o aprofundamento sobre a avaliação das relações entre o comportamento dos sinais relacionados à área cortical que representa (o que foi introduzido nos Artigos 1 e 2); (2) a análise do processo de aprendizado (dos 5 dias monitorados) relacionado à aquisição, consolidação e evocação de cada tipo de processamento específico de leitura, de ouvida, de prática e de imaginação; (3) a análise dos dados de EMG, diferenças entre as etapas e os cinco dias de monitoração; (4) a análise do EMG e suas correlações com o comportamento dos sinais no eletrodo C3 (provavelmente colocado e representativo da área motora primária); (5) classificação de banda de frequência específica para o processo de aprendizagem motora, como um todo e entre suas etapas, cognitiva e motora, seguindo o exemplo da clássica apresentação de Alfa, Beta, Teta, Gama e Delta relacionadas a estados de vigília e sono; (6) repetição do desenho experimental com grupos de alunos da extensão (inexperiente) e pós-graduação (experto), e comparação com alunos de outros níveis, como os da graduação (intermediário); e (7) estudar os métodos de processamento e de análise dos sinais eletro-neurofisiológicos, no caso, o *Matlab* e *Labview*, a *DWT* e *FFT*, além da Bioestatística.

Como perguntas a serem respondidas de imediato, elegem-se (1) a que se refere à amostragem que melhor representa o fenômeno neuroglial-muscular do desenvolvimento da coordenação e do controle motor referente aprendizado de uma habilidade. A que mostra largos tempos de 1 e 2 minutos, ou as estreitas, de 3 segundos? Uma janela de 3.000 milissegundos pode

ser representativa de aprendizado motor? No geral, qual metodologia de análise representa melhor o processo que se quer observar e descrever? E (2), qual a base eletro-neurofisiológica cortical e muscular da habilidade automática? Quanto tempo leva para um sujeito automatizar uma tarefa específica? Quais os indícios eletrofisiológicos corticais e musculares disso? Como o sistema nervoso se comporta, quanto a produto e processo, frente à estabilização do comportamento à tarefa aprendida (automatização)? Pode-se comprovar com estes dados extraídos dos sinais bioelétricos captados por EEG e EMG que o sistema neuro-músculoesquelético realmente se desestabiliza e estabiliza-se frente ao objeto de aprendizado? Para investigar estas perguntas, julga-se necessário acrescentar tempo ao desenho experimental.

Concluindo-se, reitera-se que a inovação da pesquisa, em ter alcançado seus objetivos, residiu no desenvolvimento de metodologia de observação de atividade cognitiva e motora em situação experimental, fortalecendo a hipótese da importância da convergência multidisciplinar entre as questões biológicas e os impactos do meio sobre os processos de aprendizagem. Para o futuro, o desenvolvimento e a validação do desenho experimental abrem inovadoras perspectivas para o crescimento e amadurecimento desta metodologia como uma proposta de modelo empírico. Outras pesquisas experimentais, que digam respeito a outros perfis culturais, sociais, psicológicos e de saúde, também podem ser pensadas.

Com o desenvolvimento da pesquisa e seus resultados, ainda em fase de aperfeiçoamento e descobertas metodológicas, pode-se considerar que a contribuição tenha sido a de introduzir hipóteses, mais do que realmente comprová-las.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, J.A. **Human Memory**. New York: McGraw-Hill, 1976.

ADAMS, J.A. A closed-loop theory of motor learning. **Journal of Motor Behavior**. V. 3, p. 111-150, 1971.

ADAMS, J.A. Feedback theory of how joint receptors regulate of timing and positioning of a limb. **Psychological Review**. V. 84, p. 504-523, 1977.

ALBERNETHY, B.; SPARROO, W. The rise and fall of dominant paradigms in motor behavior research. J.J. SUMMER (Ed.) In *Approaches to the Study of Motor Control and Learning*. Elsevier Science Publishes, 1992, p. 3-16

ANDERSON, J. R. Acquisition of cognitive skill. **Psychological Review**. V. 89, p. 369-406, 1982.

ANDREW, C.; PFURTSCHELLER, G. On the existence of different alpha band rhythms in the hand area of man. **Neuroscience Letters**. V. 222, p. 103-106, 1997.

BABILONI, C.; BABILONI, F.; CARDUCCI, F.; CINCOTTI, F.; DEL PERCIO, C.; HALLETT, M.; KELSO, S.; MORETTI, D.; LIEPERT, J.; ROSSINI, P. Shall I move my right or my left hand? An EEG study in frequency and time domains. **Journal of Psychophysiology**. V. 17, p. 69-86, 2003.

BARELA, J.; WHITALL, J.; BLACK, P.; CLARK, J. An examination of constraints affecting the intralimb coordination of hemiparetic gait. **Human Movement Science**. V. 129, p. 251-253, 2000.

BASAR-EROGLU, C.; STRÜBER, D.; SCHÜRMAN, M; STADLER, M.; BASAR E. Gamma-band responses in the brain: a short review of psychophysiological correlates and functional significance. **International Journal of Psychophysiology**. V.24, p. 101-112, 1996.

BEEK, PJ. **Juggling Dynamics**. Amsterdam: Free University Press, 1989.

BERNSTEIN, N. **The coordination and regulation of movements**. London: Pergamon Press, 1967

BLOOM, B.S. Testing cognitive ability and achievement. NL LANGE (Editor) In *Handbook of Research on Teaching*. 5. ed. Chicago: Rand McNally & Company. p. 379-380, 1967.

BONGAARDT, R; MEIJER, O. Bernstein's theory of movement behavior: historical development and contemporary relevance. **Journal of Motor Behavior**. V. 32, p. 57-71, 2002.

BONINI-ROCHA A.C. De Fisioterapeuta a Professor. Professores fisioterapeutas e o ensino da ação fisioterapêutica. Dissertação de mestrado não publicada da linha de Políticas Públicas e Educacionais, do Programa de Pós Graduação em Educação (PPGEDU) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). (2002), sob orientação da prof. Malvina Dornelles do Amaral, em outubro de 2002.

BRESSLER, SL. The gamma wave: a cortical information carrier? **Trends in Neurosciences**. V. 13, p. 161-162, 1990.

BROOKS, V. **The Neural Basis of Motor Control**. New York: Oxford University Press, 1986.

BULLOCK, D; GROSSEBERG, S. Neural dynamics of planned arm movements: emergent invariants and speed-accuracy proprieties during trajectory formation. **Psychological Review**. V. 95, p. 49-90, 1988.

CANTERO, J., ATIENZA, M., MADSEN, J., STICKGOLD, R. Gamma EEG dynamics in neocortex and hippocampus during human wakefulness and sleep. **Neuroimage**. V. 22, p. 1271-1280, 2004.

CHOSHI, K. Aprendizagem Motora como um problema mal definido. **Revista Paulista de Educação Física**, São Paulo, supl. 3, p. 16-23, 2000.

CLARK, J.; TRULY, T.; PHILLIPS, S. **On the development of walking as a limit cycle system**. E. October, 1990. In *Dynamics Systems Development: aplicacion*. Cambridge: The Mit Press, October, 1990. p. 1-35. a

CLARK, J.; TRULLY, T.; PHILLIPS, S. A dynamical systems approach to understanding the development of lower limb coordination in locomotion. BLOCH & BERTENTHAL (Eds). In *Sensory Motor Organizations and Development in Infancy and Early Childhood*. Netherlands: Kluwer CADEMIC PUBLISHERS, 1990. p. 363-378. b

CSICSVARI, J.; JAMIESON, B.; WISE K. D.; BUZSÁKI, G. Mechanisms of gamma oscillations in the hippocampus of the behaving rat. **Journal of Neurophysiology**. V. 37, p. 311-322, 2003.

DIETZ, V. Interaction between central programs and afferent input in the control of posture and locomotion (short communication). **Journal of Biomechanics**. V. 29, p. 841-844, 1996.

DI DIO, R.A.T. A Pesquisa Educacional no Brasil. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**. V. 60, n. 136, p. 518-527, out./dez. 1974.

DINESH, N.; PURCOTT, K.; FUCHS, A.; STEINBERG, F.; KELSO, S. Cortical and cerebellar activity of the human brain during imagined and executed unimanual and bimanual action sequences: a functional MRI study. **Cognitive Brain Research**. V. 15, p. 250-260, 2003.

DUYSENS, J.; VAN DE CROMMERT, H.; SMITS-ENGELSMAN, B.; AN DER HELM, F. A walking robot called human: lessons to be learned from neural control of locomotion. **Journal of Biomechanics**. V. 35, p. 447-453, 2002.

DIETZ, V. Interaction between central programs and afferent input in the control of posture and locomotion (short communication). **Journal of Biomechanics**. V. 29, p. 841-844, 1996.

EULER, C.V. Central pattern generation during breathing. **Trends in Neuroscience**. P. 275-277, 1980.

FAUGERAS, O. et al. Variational, geometric and statistical methods for modeling brain anatomy and function. **Neuroimage**. V. 17, p. 1-10, 2004.

FAIRCHOUGH, S. H.; VENABLES, L.; TATTERSALL, A. The influence of task demand and learning on the psychophysiological response. **International Journal of Psychophysiology**. V. 56, p. 171-184, 2005.

FITCH, H; TULLER, B; TURVEY, M. The Bernstein perspective: Part III. Tuning of coordinative structures with special reference to perception. JAS KELSO (Ed.) In human Motor Behavior: an introduction. New Jersey: LEA Publishers, 1982, p.271-282.

FITCH, H; TURVEY, M. On the control of activity: some remarks from an ecological point of view. DM LANDERS & RW CHRISTINA (Eds.) In Psychology of Motor Behavior and Sport. Champaign: Human Kinetics Publishers, 1978. 271-282.

FITTS, P. M. Perceptual-motor skill learning. AW MELTON (Ed.) In Categories of Human Learning. New York: Academic Press, 1964. p. 243-255.

FITTS, M. P.; POSNER, M. I. **Human Performance**. California: Brooks-Cole, 1967.

FORRESTER, L; PHILLIPS, S; CLARK, J. Locomotor coordination in Infancy: the transition from walking to running. In Locomotor Coordination, 1993. p. 1-36.

GANONG, W. F. **Review of Medical Book of Physiology**. 21 ed. New York: McGraw Hill, 2003.

GATTI, B.A. Implicações e Perspectivas da Pesquisa Educacional no Brasil Contemporâneo. **Cadernos de Pesquisa**. V. 113, p. 65-81, Julho 2001.

GATTI, B.A. Estudos Quantitativos em Educação. **Educação e Pesquisa**. São Paulo, v. 30, n.1, p. 11-30, jan./abr. 2004.

GEVINS, A. S. et al; EEG Patterns during 'cognitive' tasks. I. Methodology and analysis of complex behaviors. **Electroencephalography and Clinical Neurophysiology**. V. 46, p. 693-703, 1979.

GEVINS, A. S.; ZEITLIN, G. M.; DOYLE, J. C.; SCHAFFER, R. E.; CALLAWAY, E. EEG Patterns during 'cognitive' tasks. II. Analysis of controlled tasks. **Electroencephalography and Clinical Neurophysiology**. V. 46, p. 704-710, 1979.

GIBSON, J. **The senses considered as perceptual systems**. Boston: Houghton Mifflin, 1966.

GIBSON, J. **The ecological approach to visual perception**. Boston: Houghton Mifflin, 1979.

GIBSON, J. Exploratory behavior in the development of perceiving, acting, and the acquiring of knowledge. **Annual Review of Psychology**. V. 38, p. 1-41, 1988.

GIBSON, J. **An odyssey in learning an perception**. Cambridge, MA: MIT Press, 1991.

GODINHO, M. (Ed.). **Controlo Motor e Aprendizagem**. Fundamentos e aplicações. Lisboa: MH Edições, 2002.

GOLDFIELD, E. **Emergent Forms: origins and early development of human action and perception**. New York: Oxford University Press, 1995.

GOLEMAN, D. **Beyond IQ, beyond Emotional Intelligence**. Social intelligence. The revolutionary new science of human relationships. New York: Bantan Books, 2006.

GORDON, W. C. **Learning and Memory**. Pacific Grove: Brooks/Cole, 1989.

GOULDING, M.; LANUZA, G.; SAPIR, T.; NARAYAN, S. The formation of sensorimotor circuits. **Current Opinion in Neurobiology**. V. 12, p. 508-515, 2002.

GOUVEIA, A.J. A Pesquisa Educacional no Brasil. **Cadernos de Pesquisa**. V. 1, p. 1-48, Julho 1971.

GOUVEIA, A.J. Algumas Reflexões sobre a Pesquisa Educacional no Brasil. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**. V. 60, n. 136, p. 496-500, out./dez. 1974.

GOUVEIA, A.J. Pesquisa sobre educação no Brasil: de 1970 para cá. **Cadernos de Pesquisa**. V. 19, p. 75-87, Dezembro 1976.

GRILLNER, S.; MARKRAM, H.; SCHUTTER, E.; SILBERBERG, G.; LEBEAU, F. Microcircuits in action - from CPGs to neocortex. **Trends of Neuroscience**. V. 20, p. 1-9, 2005.

GRILLNER, S. From egg to action. **Brain Research Bulletin**. V.53, n. 5, p. 473-477, 2000.

GRILLNER, S. Locomotion in vertebrates: central mechanisms and reflex interaction. **Physiology Review**. P. 247-304, 1975.

GRILLNER S.; ROSSIGNOL, S. On the initiation of the swing phase of locomotion in chronic spinal cats. **Exp. Brain Research**. V. 148, p. 269-277, 1978.

GRILLNER S.; ZANGGER, P. On the central pattern generation of locomotion in the low spinal cat. **Exp. Brain Research**. V. 34, p. 241-261, 1979.

GRILLNER S.; WALLEN P.; BRODIN, L. Neural Network generating locomotor behavior in lamprey. Circuitry, transmitters, membrane properties, and simulation. **Ann Review Neuroscience**. V.14, p. 169-199, 1991.

GROSS, P. A.; SALENIUS, S.; HARI, R.; FREUND, H. J.; SCHNITZLER, A. Cortico-muscular synchronization during isometric muscle contraction in humans as revealed by magnetoencephalography. **The Journal of Physiology**. V. 527.3, p. 623-631, 2000.

GRUZELIER, J.H. New advances in EEG and cognition. **International Journal of Physiology**. V. 24, p. 1-5, 1996.

HAKEN, H.; KELSO, J.A.S. A Theoretical model of phase transitions in human hand movements. **Biological Cybernetics**. V. 51, p. 347-356, 1985.

HJORTH, B. A on-line transformation of EEG scalp potentials into orthogonal source derivations. **Electroencephalography and Clinical Neurophysiology**. V. 39, p. 526-530, 1975.

HIRAI, N. et al. Enhance gamma (30-150 Hz) frequency in the human medial temporal lobe. **Neuroscience**. V. 90, p.1149-1155, 1999.

INEP. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira, site oficial, vinculado ao Ministério da Educação e Cultura do Brasil. Disponível em <http://www.inep.gov.br/institucional/historia.htm>. Acesso em 29 nov. 2006.

JANTZEN, K.; STEINBERG F.; KELSO, J. A. S. Functional MRI reveals the existence of modality and coordination-dependent timing networks. **Neuroimage**. V 25, p. 1031-1042, 2005.

KANDEL. E.R.; SCHWARTZ, J.H.; JESSELL, T.M. **Fundamentos da Neurociência e do Comportamento**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1997.

KEELE, S. W. Movement control in skilled motor performance. **Psychological Bulletin**. V. 70, p. 387-403, 1968.

KEELE, S.W. **Attention and Human Performance**. Pacific Palisades, California: Goodyear, 1973.

KEELE, S.W. Part III: From Components Analysis to Motor Program. JAS KELSO (Ed.). In: *Human Motor Behavior: An Introduction*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 1982. p. 143-186.

KELSO, J.A.S. **Dynamic Patterns: the self organizations of brain and behavior**. Cambridge: The MIT Press, 1999.

KELSO, J.A.S.; HOLT K.; RUBIN, P.; KUGLER, P.N. Pattern of Human Interlimb Coordination Emerge from the proprieties of non-linear, limit cycle oscillatory processes theory and data. **Journal of Motor Behavior**. V. 13, p. 226-263, 1981.

KELSO, J.A.S.; HOLT, K.G.; KUGLER, P.N.; TURVEY M.T. On the concept of coordinative structures as dissipative structures: II. Empirical lines of convergence. GE STELMACH & J REQUIM (Eds.) In *Tutorials in motor behavior*. Amsterdam: North-Holland, 1980. p. 49-70.

KELSO, J.A.S.; SCHÖNER, G. Self-organization of coordinative movement pattern. **Human Movement Science**. V; 7, p. 27-46, 1988.

KELSO, J. A. S.; SCHÖNER, G.; SCHOLZ, J. P.; HAKEN, H. Phase-locked modes, phase transitions and component oscillators in biological motion. **Physica Scripta**. V. 35, p. 79-87, 1987.

KELSO, J.A.S. Motor control mechanisms underlying human movement perception. **Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance**. V. 3, p. 529-543, 1977.

KIM, J. A.; WLIASSEN, J. C.; SANES, J. Movement quantity and frequency coding in human motor areas. **Journal of Neurophysiology**, V. 94, p. 2504-11, 2005.

KUGLER, P.N.; KELSO, J.S.; TURVEY, M.T. On the concept of coordinative structures as dissipative structures: I. Theoretical lines of convergence. GE STELMACH & J REQUIM (Eds.) In *Tutorials in motor behavior*. Amsterdam: North-Holland, 1980. p. 3-47.

KUGLER, PN, KELSO JL, TURVEY MT (1982) On the control and coordination of naturally developing systems. JAS KELSO & JE CLARCK (Eds.) In *The development of Movement Control and Coordination*. Chichester: John Wiley, 1982. p. 5-78.

KUGLER, PN. A morphological perspective on the origin and evolution of movement patterns. MG WADE & HTA WHITING (Eds.) In *Motor Development in Children: Aspects of Coordination and Control*, 1986. p. 459-525.

KUHN T.S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. 8. ed. São Paulo: Perspectiva, 2003.

LADEWIG, I. A Importância da Atenção na Aprendizagem de Habilidades Motoras. **Revista Paulista de Educação Física**. Supl. 3, p. 62-71, 2000.

LANGE N.L. (Ed.) **In Handbook of Research on Teaching**. 5. ed. Chicago: Rand McNally & Company, 1967.

LENT, Roberto. **Cem Bilhões de Neurônios**. Conceitos Fundamentais da Neurociência. São Paulo: Atheneu, 2001.

MACKAY, W.A. Synchronized neuronal oscillations and their role in motor processes. **Trends in Cognitive Science**. V. 1, p. 176-183, 1997.

MARTENIUK, R.G. **Information processing in motor skills**. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1976.

MEDLEY, D.M.; MITZEL, H.E. Measuring classroom behavior by systematic observation. NL LANGE (Ed.) In: *Handbook of Research on Teaching*. 5. ed. Chicago: Rand McNally & Company, 1967, 247-328.

MEIJER, OG. **The Hierarchy Debate**. Perspectives for a theory and history of movement science. Amsterdam: Free University Press, 1988.

MONTEIRO, L.H. **Sistemas Dinâmicos**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2002.

NEVES D.A. Ciência da Informação e Cognição Humana: uma abordagem do processamento de informação. **Ci. Inf. Brasilia**. V. 35, n. 1, p. 39-44, Janeiro/Abril 2006.

NEWELL, K. Constraints on the Development of Coordination. MG WAGE & HT WHITING (Eds.) In *Motor Development in Children: aspects of coordination and control*. Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers, 1986.

NEWELL, K.M.; KUGLER, P.N.; VAN EMMERIK, R.E.A.; MCDONALD, P.V. Search strategies and the acquisition of coordination. SA WAHACE (Ed.) In: *Perspective on the coordination*. SA WAHACE (Ed.) In *Perspective on the coordination of movement*. Eslevier: North-Holland, 1988. p. 85-122.

PFURTSCHHELLER, G.; NEUPER, C.; KALCHER, J. 40-Hz Oscillations during behavior in man. **Neuroscience Letters**. V. 164, p. 179-182, 1993.

PIAGET, J. **O Nascimento da Inteligência na Criança**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1987.

PIKOVSKY, A.; ROSEMBLUM, M.; KURTHS, J. **Synchronization**: a universal concept in non-linear sciences. New York: Cambridge University Press, 2001.

PINKER, S. **Como a Mente Funciona**. São Paulo: Companhia das Letras, 1998.

POPIVANOV, D.; MINEVA, A.; KREKULE, I. EEG patterns in theta and gamma frequency range and their probable relation to human voluntary movement organization. **Neuroscience Letter**. V. 267, p. 5-8, 1999.

POSNER, M.I. Short term memory systems in human information processing. RN HABER (Ed.) In *Information-processing approaches to visual perceptions*. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1969.

PRIBE, C.; GROSSBERG, S.; COHEN, M. Neural control of interlimb oscillation. II biped and quadruped gaits and bifurcations. **Biologics Cybernetics**. V. 77, p 141-152, 1997.

PURVES, D.; AUGUSTINE, G.J.; FITZPATRICK, D.; KATZ, L.C.; LAMANTIA, A-S.; McNAMARA, J.O.; WILLIAMS, SM. **Neurociências**. 2. ed. Porto Alegre: ARTMED, 2005.

RASIA-FILHO, AA. Is there anything "autonomous" in the nervous system? **Advances in Physiology Education**. V. 30, p. 9-12., 2006.

REED, E.S. Na outline of a theory of action systems. **Journal of Motor Behavior**, V. 14, p. 98-134, 1982.

ROSSINI, P.M.; PAURI, F. Neuromagnetic integrated methods tracking human brain mechanisms of sensorimotor areas "plastic" reorganization. **Brain Research Reviews**. V. 33, p. 131-154, 2000.

SAGE, G.H. **Motor Learning**. A neuropsychological approach. Dubuque, Iowa: WCB, 1984.

SAKURAI, A.; WILKENS, J. Tension sensitivity of the heart pacemaker neurons in the isopod crustacean *Ligia pallasii*. **The Journal of Experimental Biology**. V. 206, p. 105-115, 2003.

SALTZMAN, E. L.; MUNHALL, K. Skill acquisition and development: the roles of state-parameter and graph-dynamics. **Journal of Motor Behavior**, V. 24, 49-57, 1992.

SALTZMAN, E; KELSO JAS. Synergies: stabilities, instabilities, and modes. **The Behavioral and brain Sciences**. V. 8, p. 161-163, 1985.

SAUSENG, P.; KLIMESCH, W; SCHABUS, M; DOPPELMAUR, M. Fronto-parietal EEG coherence in theta and upper alpha reflect central executive functions of working memory. **International Journal of Psychophysiology**. V. 57, p. 97-103, 2005.

SCHMIDT, R. A.; LEE, T. **Motor Control and Learning**. A Behavioral Emphasis. Champaign: Human Kinetics, 1999.

SCHMIDT, R.A. A schema theory of discrete motor skill learning. **Psychological Review**. V. 82, p. 225-260, 1975.

SCHMIDT, R.A. Part IV: Generalized Motor Program and Schemas for Movement. JAS KELSO (Ed.) In: *Human Motor Behavior: An Introduction*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates. Inc. 1982. p. 189-238.

SCHMIDT R.A.; WRISBERG, C. **Aprendizagem e Performance Motora**. Uma abordagem da aprendizagem baseada no problema. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2001.

SLOBOUNOV, S.; CHIANG, H.; JOHNSTON, J.; RAY, W. Modulates cortical control of individual fingers in experienced musicians: an EEG study. **Clinical Neurophysiology**, V. 113, p. 2013-2024, 2002.

SQUIRE, L.; KANDEL E. **Memória**. Da mente às moléculas. Porto Alegre: Artmed, 2003.

SHADLEN, M. N.; NEWSOME, W. Noise, neural codes and cortical organization. **Current Opinion in Neurobiology**. V. 4, p. 569-579, 1994.

SHAW, J.C. Intention as a component of alpha-rhythm response to mental activity. **International Journal of Psychophysiology**. V. 24, p. 7-23, 1996.

SCHÖNER, G.; KELSO, J.A.S. A synergetic theory of environmentally-specified and learned patterns of movement coordination. **Biological Cybernetic**. V. 58, p. 71-80, 1988.

SHIK, M.L.; ORLOVSKII G.N. Coordination of the limbs during funning of the dog. **Biophysics**, V.10, p. 1148-1159, 1965.

SHIK, M.L.; ORLOVSKII, G.N. Neurophysiology of locomotor automatism. **Physiological Reviews**. V. 56, p. 465-501, 1976.

SHIK, M.L.; ORLOVSKII, G.N.; SEVERIN, F.V. Locomotion of the mesencephalic cat elicited by stimulation of the pyramids. **Biofizika**. V. 13, 143-152, 1966.

SJÖSTRÖM, A.; ZANGGER, P. X-y-Linkage in the spinal generator for locomotion in the cat. **Acta Physiology Scand**. V. 94, p. 130-132, 1975.

STEHOUWER D.J; FAREL, P.B. Development of hind limb locomotor activity in the bullfrog (*Rana Catesbiana*). Studied in vitro. **Science**. V. 219, p. 516-518, 1983.

STEHOUWER D.J. Metamorphosis of behavior in the bullfrog (*Rana Catesbiana*). **Developmental Psychobiology**. V. 21, p. 383-395, 1988.

SWENSON, R.; TURVEY, M. Thermodynamic reasons for perception-action cycles. **Ecological Psychology**. V. 3, p. 317-348, 1991.

STELMACH, G.E. Information-processing framework for understanding human motor behavior. JAS KELSO (Ed.) In *Human Motor Behavior: an introduction*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates Inc., 1982. p. 63-91.a

STELMACH, G.E. Motor Control and Motor Learning: the close-loop perspective. JAS KELSO (Ed.) In *Human Motor Behavior: An introduction*. New Jersey, Lawrence Erlbaum Associated Inc. 1982. p. 93-141.b

TANI, G. **Comportamento Motor**. Aprendizagem e Desenvolvimento. Rio de Janeiro: Guanabara/Koogan, 2005.

TANI, G. Processo Adaptativo em Aprendizagem Motora: o papel da variabilidade. **Revista Paulista de Educação Física**, São Paulo, supl. 3, p. 55-61, 2000.

TANI, G. Tendências do pensamento pedagógico da educação física brasileira. In: Congresso Mundial de Educação Física da AIESEP, 1998, Rio de Janeiro, Anais, Rio de Janeiro: Universidade Gama Filho, 1998. p. 239-248.

TANI, G. Desafios metodológicos do ensino da educação física. In: I Congresso Centro-Oeste de Educação Física, Esporte e Lazer, 1999, Brasília, Anais, Brasília: Universidade de Brasília, 1999. p. 37-41.

THELEN, E.; SMITH, L. **A Dynamic System Approach to the Development of Cognition and Action**. Cambridge: The MIT Press, 1994.

THOMAS, J.R., NELSON, J.K., SILVERMAN, J.S. **Métodos de Pesquisa em Atividade Física**. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.

TULLER, B.; FITCH, H.; TURVEY, M. The Bernstein perspective. Part II. The concept of muscle linkage or coordinative structure. JAS KELSO (Ed.) In Human Motor Behavior: an introduction. New Jersey: LEA Publishers, 1982, p. 253-270.

TURVEY, M.T.; CARELLO, C. Cognition: the view from ecological realism. **Cognition**. V. 10, p. 313-321, 1981.

TURVEY, M.; FITCH, H.; TULLER, B. The Bernstein perspective. Part. I. The problems of degrees of freedom and context-conditioned variability. JAS KELSO (Ed.) In Human Motor Behavior: an introduction. New Jersey: LEA Publishers, 1982. p. 239-252.

TURVEY, M.; CARELLO, C. The ecological approach to perceiving-acting: a pictorial essay. **Acta Psychologica**. V. 63, p. 133-155, 1986.

TURVEY, M.T. Preliminaries to a theory of action with reference to vision. R SHAW & G BRANSFORD (Eds.) In Perceiving, Acting, and Knowing: Toward an ecological psychology. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1977. p. 211-265.

UMPHRED, D. **Reabilitação Neurológica**. 4 ed. São Paulo: Manole, 2003.

YUSTE, R.; MACLEAN, J.N.; SMITH, J.; LANSNER, A. The cortex as a central pattern generator. **Nature Publishing Group**. V. 6, p. 477-483, 2005.

ZAJAC, E; NEPTUNE, R; KAUTZ, S. Biomechanics and muscle coordination of human walking. Part I: introduction to concepts, power transfer, dynamics and simulations. **Gait and Posture**. V. 16, p. 215-232, 2002.

WARDE, M. J. O Papel da pesquisa na pós-graduação em educação. **Cadernos de Pesquisa**. V. 73, p. 67-75, Maio 1990.

WATSON, S.J.; BEKOFF, A. A kinematic analysis of hindlimb mobility in 9- and 10-day old chick embryos. **Journal of Neurobiology**. V. 21, p. 651-660, 1990.

WELFORD, A.T. **Fundamentals of Skill**. London: Methuen, 1968.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Modelo do Termo de Consentimento Livre e Informado

APÊNDICE B - Resolução nº 093/2007 da Câmara de Pós-Graduação do Conselho de Ensino e Pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

APÊNDICE C - Carta de Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da pró-Reitoria de Pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

APÊNDICE A - Modelo do Termo de Consentimento Livre e Informado.

Variáveis do sistema nervoso e do sistema músculo-esquelético que acompanham o processo de aprendizagem de uma tarefa cognitivo-motora bimanual em violonistas antes e após prática deliberada.

Formulário de Consentimento Livre e Esclarecido para Adultos

1. A aluna de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano da Faculdade de Educação Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Ana Clara Bonini Rocha, informou-me de sua participação em uma pesquisa na UFRGS. O título da pesquisa é “Variáveis do sistema nervoso e do sistema músculo-esquelético que acompanham o processo de aprendizagem de uma tarefa cognitivo-motora antes e após prática deliberada”.
2. Eu fui informado de que o propósito da pesquisa é conhecer e tentar compreender as regras que governam as mudanças que ocorrem no sistema nervoso e no sistema músculo-esquelético dos violonistas enquanto eles aprendem uma habilidade motora musical que desconhecem. A pesquisa tem a intenção de explicar o comportamento dos sistemas corporais antes e após a prática de uma habilidade motora relacionada com a música. Serão analisados dados coletados pelo Eletroencefalograma, Eletromiografia e pela Cinemetria.
3. Eu fui informado que as intenções do estudo são de buscar dados que mostrem como são representados os padrões de sincronização do sistema nervoso e os segmentos corporais e músculos no sistema músculo-esquelético, relacionando-os à incidência de erros executados durante o desempenho motor e no padrão de geração de som.
4. Eu fui informado que a pesquisa se justifica por significar avanço metodológico nas áreas de Educação Física, Música, Neurologia e Fisioterapia, interessadas na temática de avaliação qualitativa e quantitativa do processos de ensino-aprendizagem motora.
5. Minha participação envolverá 6 sessões, 3 para registro eletroencefalográfico e 3 para captação cinemática, captação de áudio e registro eletromiográfico. O contato com a tarefa será feito no momento da primeira sessão. Em todas as sessões deverei executar a mesma seqüência após ler sua partitura e ouvi-la tocada no violão. Fui orientado a não treinar a seqüência em outro ambiente que não seja o experimental para não causar interferência no processo de coleta de dados. Fui informado também que serei submetido a seguinte rotina: (1) lerei a partitura; (2) ouvirei a seqüência musical em gravação executada no violão, (3) executarei no mínimo dez repetições da seqüência; e (4) imaginarei que estou tocando a seqüência. A coleta dos dados envolverá 40 a 60 minutos de monitorização. Nestes momentos, serei submetido à colocação de 24 eletrodos colocados na minha cabeça, 2 eletrodos na superfície da pele dos meus ante-braços e dois marcadores reflexivos no 2º dedo da mão direita. Fui informado que os eletrodos do EEG serão aderidos com um tipo de gel ao qual terei contato prévio para verificar se não apresento reações alérgicas ao produto, que marcadores reflexivos são auto-aderentes à superfície da pele, e que os eletrodos da EMG são fixados na pele por uma fita adesiva.
6. Os riscos e desconfortos esperados estão relacionados à conexão do meu corpo aos aparelhos de EEG e EMG, devido aos eletrodos, e aos marcadores reflexivos que terei que conectar nos dedos das minhas mãos para a filmagem, além do possível pequeno desconforto causado pela

rotina dos experimentos. Mas que não há riscos para minha saúde ou integridade física nem seqüelas imediatas ou tardias.

7. Fui informado que não existem procedimentos alternativos que não estejam descritos neste termo e, portanto, todas as condutas nas quais deverei participar foram abordadas antes da minha assinatura neste formulário.
8. Fui informado que todos os participantes assinarão esse termo de consentimento livre e esclarecido que estará de acordo com as normas institucionais estabelecidas e submetidas ao Comitê de Ética de Pesquisa da Fundação Federal Faculdade Ciências Médica de Porto Alegre (FFFCMPA) e da UFRGS, antes da minha participação no estudo.
9. Eu fui informado que os possíveis benefícios da minha participação nesta pesquisa se devem, primeiramente, que estarei participando de uma pesquisa importante na área do ensino-aprendizagem da música. Os conhecimentos aqui obtidos serão descritos em congressos científicos e trabalhos na literatura especializada, guardando meu anonimato e não utilização de minha imagem pessoal. Poderei adquirir conhecimento sobre o processo de aprendizagem que envolve a minha prática de violonista e utilizar deste conhecimento para ultrapassar os limites teóricos e práticos de ensinar e aprender a tocar violão.
10. Ou seja, fui informado que os resultados da pesquisa serão publicados, mas que o meu nome e demais dados de identificação não serão revelados. Para manter a confidencialidade de meus registros, a pesquisadora Ana Clara utilizará código para representar os violonistas e somente ela e seus orientadores terão acesso aos meus dados de identificação e as informações coletadas. Assim, fui informado que esta pesquisa na qual estarei participando envolve risco mínimo a minha saúde e nenhum dano a minha reputação moral.
11. Também fui informado que não serei remunerado pela minha participação e que posso não aceitar participar ou desistir de fazê-lo a qualquer momento que pese sobre mim qualquer encargo.
12. Quaisquer dúvidas que eu tiver em relação à pesquisa ou a minha participação, antes ou depois do meu consentimento, serão respondidas pela pesquisadora Ana Clara, no endereço Avenida Getúlio Vargas nº 06, bairro Menino Deus, ou pelos telefones 51-32331709 ou 51-92090057 ou com o orientador Professor Ricardo Petersen, no endereço Rua Felizardo nº 750, bairro Jardim Botânico, ou pelos telefones 51-33165808 ou 51-99932001. Os Comitês de Ética em Pesquisa que provaram este termo podem ser contatados na Rua Sarmiento Leite, 245, anexo I, sala 103 ou pelo telefone (51) 32248822 – (UFRGS).
13. Eu fui informado que se tiver dúvidas sobre os meus direitos como um participante desta pesquisa, ou se sentir que fui colocado em risco de contusão, posso contatar o Comitê de Ética em Pesquisa da FFCMPA e que minha ocasional vontade em não participar desta pesquisa não implica em nenhum prejuízo a minha pessoa.

Declaro que recebi uma cópia do presente Termo de Consentimento Livre e Esclarecido para Adultos e assino-o de forma voluntária.

Assinatura do Violonista:

Nome do Informado Violonista:

Data:/...../.....

14. Certifico que explique ao indivíduo acima a natureza e o propósito, os benefícios potenciais e os possíveis riscos associados com a participação neste estudo de pesquisa, respondi todas as questões que me foram levantadas e testemunhei a assinatura acima.
15. Furneci uma cópia ao violonista deste documento de consentimento assinado por ele.

Assinatura da Pesquisadora:
Ana Clara Bonini Rocha

Data:/...../.....

Este formulário foi lido para (violonista)
em/...../..... por Ana Clara Bonini Rocha enquanto eu estava presente.

Assinatura da Testemunha:

Nome da Testemunha:

Data:/...../.....

APÊNDICE B - Resolução nº 093/2007 da Câmara de Pós-Graduação do Conselho de Ensino e Pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Conselho de Ensino, Pesquisa e Extensão
CÂMARA DE PÓS-GRADUAÇÃO

RESOLUÇÃO N.º 093/2007

A Câmara de Pós-Graduação, em sessão do dia 12/06/2007, considerando a peculiaridade dos Cursos de Pós-Graduação *stricto sensu* e *lato sensu*, no que tange ao tipo de publicação e características de conteúdo das Teses de Doutorado, das Dissertações de Mestrados, bem como dos trabalhos de conclusão dos Cursos de Especialização,

RESOLVE:

Estabelecer as seguintes orientações para fins de publicação e redação de Teses de Doutorado, Dissertações de Mestrado e trabalhos de conclusão de Cursos de Especialização:

Art. 1º É responsabilidade da Coordenação do Programa de Pós-Graduação definir e submeter às instâncias competentes, de acordo com estas orientações e a regulamentação geral da Pós-Graduação na UFRGS e no país, a forma de publicação, o idioma e o conteúdo das Teses de Doutorado e das Dissertações de Mestrado.

Art. 2º A forma de publicação, o idioma e o conteúdo dos trabalhos de conclusão de Cursos de Especialização deverão ser explicitados no Projeto do Curso e estar de acordo com estas orientações e a regulamentação da Pós-Graduação *lato sensu* na UFRGS e no país.

Art. 3º A publicação de Tese de Doutorado, de Dissertação de Mestrado ou Trabalho de Conclusão de Curso poderá ser na forma de:

- a) Tese, Dissertação tradicional ou Trabalho de Conclusão de Curso;
- b) Tese, Dissertação ou Trabalho de Conclusão de Curso que contenham artigo(s) prontos para submissão a publicação;
- c) Tese, Dissertação ou Trabalho de Conclusão de Curso que contenham artigo(s) já publicado(s);

Parágrafo Único – Nas alternativas (b) e (c) a Tese, Dissertação ou Trabalho de Conclusão de Curso deverá conter, além do(s) artigo(s), os elementos identificatórios normatizados pelo Sistema de Bibliotecas da UFRGS, Introdução ao tema ou problema, contendo descrição geral dos objetivos e uma ampla revisão bibliográfica, bem como Considerações Finais, contendo síntese dos resultados gerais que serviram de base para as conclusões, e mais Referências Bibliográficas pertinentes à Introdução e ao capítulo final, além dos Anexos, sendo todos estes elementos redigidos em Português.

Art. 4º O idioma de redação da Tese de Doutorado, Dissertação de Mestrado ou Trabalho de Conclusão de Curso deverá ser o Português.

Art. 5º Excepcionalmente, tendo em vista a peculiaridade de certas áreas, serão admitidas:

a) na Área de Letras, Línguas e Literatura Estrangeiras - Teses e Dissertações redigidas nos idiomas estrangeiros correspondentes devendo estas, contudo, incluir ao início do volume substancial resumo em língua vernácula, que evidencie os objetivos da obra, os métodos utilizados no seu desenvolvimento, o núcleo da mesma e as conclusões obtidas, destacando o que é apresentado em cada capítulo redigido;

b) Teses e Dissertações que contenham artigo(s) para publicação ou já publicados em periódico científico, em língua estrangeira, desde que apresentados na forma e língua de publicação, mas complementados do modo indicado no Parágrafo Único do Art. 3º desta Resolução.

c) Teses e Dissertações realizadas em co-tutela serão redigidas nas línguas previstas no respectivo acordo de co-tutela assinado entre as instituições.

Art. 6º A presente Resolução passa a vigorar a partir desta data, revogando-se a Resolução 26/79 e a Resolução 23/90 da Câmara de Pós-Graduação, bem como as demais disposições em contrário.

Sala das Sessões, 12 de junho de 2007.

Roberto Fernando de Souza
Presidente

Av. Paulo Gama, 110/térreo - Porto Alegre/RS – CEP: 90040-060
Fone: (51) 316-3223 - Fax: (51) 316-3013 - e-mail: camarapg@ufrgs.br

APÊNDICE C - Carta de Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da pró-Reitoria de Pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA
CARTA DE APROVAÇÃO

pro.pesq

O Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul analisou o projeto:

Número : 2006654

Título : Variáveis do Sistema Nervoso e do Sistema Músculoesquelético envolvidas no Processo de Aprendizagem cognitivo-motora de uma tarefa bimanual em violonistas antes e após prática deliberada

Pesquisador (es) :

<u>NOME</u>	<u>PARTICIPAÇÃO</u>	<u>EMAIL</u>	<u>FONE</u>
RICARDO DEMETRIO DE SOUZA PETERSEN	PESQ RESPONSÁVEL	00004230@ufrgs.br	33085806
ALBERTO ANTONIO RASIA FILHO	PESQUISADOR	rasiafilho@yahoo.com.br	
ANA CLARA BONINI ROCHA	PESQUISADOR	anabonini@via-rs.net	
DANIEL WOLFF	PESQUISADOR	danyeah@uol.com.br	33084310

O mesmo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFRGS, reunião nº 8 , ata nº 88 , de 14/6/2007 , por estar adequado ética e metodologicamente e de acordo com a Resolução 196/96 e complementares do Conselho Nacional de Saúde.

Porto Alegre, quinta-feira, 14 de junho de 2007


LUIZ CARLOS BOMBASSARO
Coordenador de CEP-UFRGS

ANEXOS

ANEXO A - *Epistemological Basis of Coordination and Motor Control*

ANEXO B - Rotina de Matlab 5.3

ANEXO C - Rotina do Labview 7.1

ANEXO D - Escala de Unidades Subjetivas (*SUDS*) calibrada pelo violonista e os escores marcados antes e depois da exposição e prática da tarefa no 1º e 5º dias.

ANEXO E - Sub-rotina que mostra transformada dos dados em *FFT* e trajeto do sinal até os valores atribuídos a cada banda de frequência.

ANEXO F - Banco de Dados do estudo principal - Tabelas de Excel 2003

ANEXO A - Epistemological Basis of Coordination and Motor Control

***EPISTEMOLOGICAL BASIS TO DEVELOPMENT OF COORDINATION
AND MOTOR CONTROL***

**BONINI-Rocha, Ana Clara
PETERSEN, Ricardo Demétrio de Souza**

The development of coordination and motor control brings along the learning and memory process. This contemporary perspective suffered paradigmatic influences during the history and evolution of the science of human movement. The objective of this text is to critically examine the main behavioral theoretical approaches that explain this phenomenon from the 1960's until the present. Three theoretical models based the arguments: information processing, action system, and dynamical systems theory. The behavioral approach of information processing considered coordination and control as results of the hierarchical organization of superior nervous areas towards inferior areas, represented by motor programs. In this explanation, information is stored due to feedback and is induced by processing stages that produce control, precision and motor learning. The concept of indirect perception is based in sensations that compared to a basic on process of representation. The action system theory is explained on the domain of freedom of degrees and the contest variability through heterarchy. Internal and external constraints would limit the role of representations. The development of motor coordination would take place by pattern changes in the dynamics of the coordinative structures submitted to a control by modulation of power parameters, speed, and amplitude of pattern in sequential order. This explanation was based on an ecological approach in which direct perception and sensorial information would guide the subject to perform a skill that he learned during the experience in the environment. The approach of dynamic systems works with a model that explains the order and emergent complexity that generated motor coordination patterns during development and learning control. The cooperation among the individual parts of motor system would represent the probability of information occurrence of each coded message, from perception to motor action, mediated by plastic memories that would determine learning, supplying neuromotor basis the human beings behavior. Considering the examined approaches, aspects that were put as antagonistic, contradictory, and consensual with three theoretical arguments, supplied a solid epistemological base that supports the research in the development of coordination and motor control areas. They, nowadays, integrate biomechanical, behavioral molecular, and cognitive neuroscience.

From the end of the 1960's until now, three behavioral models of theoretical approaches tried to conceptualize the phenomenon of coordination and developmental control of the human motor behavior.

Research that originated from Psychology is sustained, reformulated or innovated due to the scientific change of paradigms that occurred during this short period and allowed the interdisciplinary dialogue among the science of the human movement and biology, neurosciences, engineering, and physics, among others.

The first theoretical approach based on the behavioral model of information processing [100] was the model of "Human Performance" [19,26,118]. The subject of the practice would use information from the environment to realize, decide, and organize through a memory system [1,51,71,80]. The subject would, previously, create an image of movement from memorized information about a sequence of command and specific variables without the influence of the environment. The concept of "Motor Program" (MP) explained this set of muscle command pre-structured in the executive level, prescribed to command the execution of skilled movements [52,53]. The argument of the human performance model used theories and terms such as concepts to information processing and transmission, motor perception skill, motor perception performance versus learning, feedback, kinesthesia, and proprioception, learning of the performance and results, code of information, plan of action, motor command, control of movements and execution, and open and closed skills [69]. The concept of feedback appeared in the "Closed-loop Theory", used to explain the correction of the mistakes to answers or alterations in the following movement [2,3,101]. So the theory as restricted, theoretically and experimentally, to slow and positioning movements. Therefore, the

Schema Theory [87] discussed open and closed circuits, with or without feedback respectively, in control of quick, ballistic, and also, slow movements, reformulating the PM concept. The "Generalized Motor Program" (GMP) was also described as an abstract memory structure that when activated would promote the achievement of a movement and it would perform as a program. But different from MP, this program, characterized by a common pattern, would take place in an open circuit. In this argument, the information stored into the brain, due to the feedback, would pass by processing stages that would cause control, precision, and also motor learning. Through an indirect perception, the feelings would be compared in a basic representation process. Throughout processing stages information would pass, in a linear way, from several sense organs to the brain, the stimuli would be identified and the answer would be selected and programmed until producing muscle contraction [88,89]. In this theoretical prescriptive cognitive context, today we still study Reaction Time from the nature of the stimuli to the kind of movement that must be made [90].

Nevertheless, these studies did not answer to problems that related to many degrees of freedom that involve human anatomy nor to variability conditioned to internal and external context involved in the fulfillment of a task [10,11,109].

Therefore, looking for answers, part of the scientific community turned towards ecological approach. Research on exploratory function of the perceptual system that involved vision showed how the subjects were able to get information directly from their sensorial system and, by experience, become more competent to receive and act on information (affordance) [29,20,31]. In a scale of involvement, the animal would be the creator of shapes in order to link itself with the environment, using the perceptive system to guide it through the performance of its skill [32,107]. In the scale of involvement, an animal would be in constant unbalance with the environment and, because of this, it would be necessary not only to react to stimuli, but also to act all the time, in constant evaluation of this action regarding all the conditions of a change. At the same time, it would modulate activities to supply the essential demand and reach the goal of the task, contextualized in its environment. A new model of motor behavior would be an organizing in order to show motor activities as cyclic expressions of perception-action: the "Action System Theory" rejected the concepts of MP and GMP replacing them with a basic property that is the animal's skill to explore the environment through a cyclic process of activity to inferior centers of Nervous System (NS) [25,82,108]. Thus, we could understand the domain of freedom degrees and the role of conditioned variability context, so far impossible through a prescriptive hierarchic model of indirect perception. With these the limited role of representations in the actions was understood. In this case, information would not only be stored information, but a close relation between animal and its adaptation to ecological needs and changes.

Coordination and motor control had specific concepts. Then, coordination as a function to constraint free variables by the organization of a single behavioral unit (synergy) and control as a parameter modulation of this function [58,62,73]. In a developmental perspective, motor coordination was understood as a complexity unit, able to develop and proliferate in a highly complex process that evolves and organization given by control parameters being modulated. A function resulting from interactions between the subject and the environment, considering the dynamic relation between them, under genes control and strong sensitivity to extrinsic factors. It would include the period from fertilization until the environment where the fetus developed, and all individual, genetic and extrinsic factors that could interact with development [103]. The brain and spinal cord would control the power generated by the body depending on the context variability. A model of organization (coordination) where central signs would be constantly modulated (control) by the sensorial activity taking place in the body, dependent on passive power, mass and gravity effects, independently from will and consciousness [34]. In order to confirming these argumentations, it is known that, at the

moment the muscle net of a given joint is activated, information of joint structures, called joint net, is also activated and it may be sufficient to access a motor control pattern, because its origin is the parameter of muscle strength [15]. The action system was not the only arguments, but a variety of separated arguments with a number of strong similar representations that share many aspects of the biological action. As a whole, this approach originated from research that radically questioned the belief in motor programs whose cognitive representation widely pre-structured motor action [61,63,106]. The general advanced claim is that the acquisition of coordination, in both phylogenetic and ontogenetic activities, may be modeled by a perceptual-motor work space. The critical point is that the coordination patterns observed, at the macro level of behavior, exist in both the kinematics and kinetics field properties of the organism environment interaction [54,74]. This theoretical advance made the study of development of coordination and control without the study of perception incompatible, and vice versa. This is when the classical controversy between motor system (hierarchic perspective) and the action system (heterarchic perspective) began which, in the 90's, was the reason of a long speech on hybridization versus the emergency of a new dominant paradigm [4].

In 1977, Turvey was probably the first researcher to use the word heterarchy, attacking the hierarchic position of MP and seriously facing the ecological problem, degree of freedom problems, context conditioned variability and the perception-action cycles [70,106]. The concept of heterarchy was one of the first attempts to overcome the hierarchic order of the information processing model, assuming that the concept of constraints [73] from which nature was in the organism, in the task and in the environment, as limitations on the role of representations.

In 1991, Swenson and Turvey announced the direct and deep connection between perception-action cycles and the thermodynamic principles, marking the emergency of a new theoretical trend of interdisciplinarity with physics [102]. The thought that emerged was that perception-action cycles expressed significant auto-organizational quality, which would explain the emergency for coordinated patterns. The organization among limbs and among limbs segments, in harmony between the trunk and the limbs and the control of parameters in each one of these organizations, during acquisition of locomotion, is a good example. The segments would behave as a cyclic and dissipative system because they would lose energy and would be necessary to reinforce the procedure of the cycle to continue the patterns of dislocation of the body by space [7]. Coordination may be expressed, not only among the components of the organism, from the organism itself and of the organism and its environment, but in the space temporal relation of the movement, described in a discontinued way as a result of continuous changes. These changes would generate a system of new patterns of coordination with new patterns in control that would replace the oldest ones in complexity, changing the state and improving in time. For example, subjects walking on a treadmill. Treadmill's speed is a parameter of control that affects the relative phase (collective variable) of cycle components of the step (step of the walk). This coordination pattern remains unstable at certain speed, keeping arms and legs organized at 180° in anti-phase. However, at a faster speed, it reorganizes itself in a new pattern given by self-organization (where the phase's difference is lost) and the race step emerges [18]. The system can be represented by mapped trajectories in a space that describes it completely. Each state of phase is represented in a single trajectory that shows, in the same axes, a picture's behavior of the set of trajectories [34].

Haken, Kelso, and collaborators developed a lot of research on patterns of human interlimbs coordination which emerge from the properties of non-linear and limit cycle oscillatory and presented a theoretical model of phase in human's hand movements [44,54,55,56,57].

To illustrate the phase's behavior as this periodical movement that repeats itself in time and that is defined, quantitatively, by variables, we considered Kelso's observation between fingers in-phase and anti-phase movements [apud 44,55,56,79]. In the experiment, subjects were instructed to perform anti-phase oscillatory movements from the index fingers forming and 180° angle in relation to the palm of the hand. As the subjects gradually increased fingers' speed movements, the pattern started becoming unstable, until a transition to other coordination pattern in-phase happened.

This experiment explored the hypothesis that the rhythmic in-phase fingers movement was being controlled in spinal cord through the interaction coupling between two pools of motoneurons (MNs) called "Central Pattern Generators" (CPGs). Data suggested a kind of slow non-linear filter performed by high frequency stimuli. The synchronization in anti-phase would be the result of coupling between the brain and the information of positions, and joint speed. A time of delay between the couplings' looping, compared to half period, would be equivalent to an observed transition of phase. If it is better to a system to operate in-phase, anti-phase, or out of different phase, it will depend on the system and internal and external conditions to which it will be subjected. The CPGs coupled between limbs that, hypothetically, in the experiment by Kelso, took on a coordination pattern independent to the subjects' skill, are examples of periodical biological oscillators that synchronized in-phase when they lost brain control, representing a minor complexity degree from those that synchronize in anti-phase. When a system operates in-phase, we have a simple, trivial synchronization among biological systems. Synchronization, or adjustment of rhythms due to an interaction that share common time, refers to a variety of phenomena that are present in almost all natural sciences' branches, engineering, and social life, and it appears in different levels of biological systems. The synchronized variation in the core of the cell, the synchronized discharges of neurons (as in the self-organizations' case among CPGs), the adjustments of heart speed with breathing during certain locomotion rhythms, different ways of cooperation in animals' behavior and even human beings, show that our environment is taken by oscillating self-sustained objects, sub-group of a large class of dynamic systems that express themselves through synchronization. Violins in an orchestra, glow-worms that produce light pulses, crickets producing sounds, birds flapping their wings, chemical systems exhibiting oscillatory variations of reagents' concentration, a neural core of contraction control of the human heart, and the heart itself, a core of pathological activity that uses involuntary tremors as consequence of Parkinson's. Disease, are systems that have in common the fact of producing rhythms. Usually these objects are not apart from their environment, but they interact with other objects, they are open systems. This interaction can be weak or, some times, strongly perceptible but, in spite of this, it is, frequently, the cause of a quantitative transition when an object adjusts to its rhythm in conformity with the rhythm of other objects [79].

All these state patterns that can be reached by a system, synchronized or not, as it develops, may be represented arithmetically by a point, a cycle limit, or a fractal, called attractors. We identify the parameter of order, or a collective variable, through the identification of these trajectories' dimensions in a space of states. The space of states leaves from a determined initial position and shows the set of all possible pairs between angular position and speed, making that attraction basin and the attractor clear [72,83].

To exemplify, see the classic physic-mathematical example of *pendulum* that, when weakly coupled, may synchronize among themselves. It is possible to make an analogy with the human body. A pendulum presents two variables, or two degrees of freedom, that are angular position and speed. Imagine that we hold a person's arm and this person is lying on a stretcher, unconscious and with no control of the arm, in a way that it is stretched in a vertical position. When we release the arm, it falls down. Because gravity is a power that attracts all

bodies down, the arm falls out of the stretcher and standstill in a down vertical position. If we think in terms of dynamic systems theory, we can ask: what is the space of the states to the arm? What are the possible configurations of trajectories that the arm can take? It can take any position. It can stay up in the vertical, down in the vertical, it can lean at 45°, etc, which are the possible states of the system. But the system always converges to a single defined state, characterized by the arm will take its position back. We can imagine also that this same arm can develop two different situations, depending on how it was at the beginning. Now, we hold the arm firstly up in the vertical, however not perfectly in the vertical. It can be leaned in to the stretcher or out of the stretcher. In this first case, the arm will fall on the subject's chest. In the second, it will fall out of the stretcher. In this first case, the arm will fall on the subject's chest. In the second, it will fall out of the stretcher. In this situation, dynamics has two distinct attractors and it is the initial condition (or attraction basin-arm more into or out of the stretcher) which will determine to which attractor the system will tend.

Attraction basin attracts the dynamics and determines the attractor. The stability of an attractor as a behavioral standstill state system consists of variability's notion. That is, if a system is slightly disturbed, it will spontaneously return to a standstill state that will resist to disturbances. On the contrary, it will be unstable, and nothing that is unstable lasts. A real system is constantly subjected to adaptations to the environment's disturbances [33].

The human locomotion has two patterns of relative time within two attractor's states: a locomotion coordination pattern and a race coordination pattern, together with Kelso's experiment with the fingers, are examples of events that start when others finish, showing a border separating the emergent flow among behavioral patterns attracted to different dynamics [103].

A classical pendulum will always be in friction and, independently from its initial position, it will tend to stop in an upright position to the ground because, attracted by gravity, it will take a single point. However, if we associate an external power to this pendulum, it will never stop in a point because the loss and gain from energy will tend to level, it will draw a kind of sharp bend trajectory (or cycle-limit). An ideal pendulum, without friction, will swing cyclically forever between two points. The two examples of pendulum with friction are dissipative systems that can lose energy until taking on a standstill position at some point, or receiving energy during the movement, which will make it take turns in the state space representative of competition between loss and gain of energy.

Researchers in science of human movement, in the aspect of development of coordination and motor control, have been using the premises of dynamic systems theory to support their hypothesis related to ontogenetic development and motor learning. [7,18,27,34,42,43,44,57,62,103].

Nowadays, there is a strong tendency for this behavioral approach to dynamic systems. System understudied as a set of objects grouped by some interaction or interdependence in a way that there are relations of cause and effect on the phenomena that happen with in their elements. And dynamic understudied as a greatness that characterizes these objects that are part of this system and changes in time (temporal evolution) [72].

In this model, we can consider the animal nervous system as the neuromotor base of its behavior. Its grouped cell sets, the relations and greatness that develop with time and that motivate experiences, have an important role in all levels of motor action, from perception, identification of stimuli that enter in parallel and in a continuous way into the system; passing by intention, selection, program, and the behavior itself in real time. Firstly, to think about this logic without being reductionist one need to understand the information processing that happens in the system, according to a model of a computational mind and not through a computational brain's metaphor. A system of organs projected in a way where components perform their function in a synchronized way because each of them has a heterogeneous

structure of many specialized parts to perform a task. Engineering problems that we, humans, solve when we see, walk, plan and do our daily routine are much more challenging than the most advanced computational model [46].

Probably, the beginning of interdisciplinarity of the human motor behavior area with neuroscience has been through Sherrington's studies and discoveries which started around 1906. Sherrington discovered the neuronal components of the response-produced feedback in the spinal cord in animal models. Grilner and collaborators, for the first time, recorded, during the fictitious swimming of lampreys [36], instead of the coordination of reflexes, a locomotion command being done through rhythms created in generator centers which are situated in spinal cord [41].

On the wavy propulsion of fish, on the wavy crawling of reptiles, on birds' fly, on the trot of quadruped mammals, and the walking and running of human beings, we can observe differences in the movement patterns of each one; however, the rhythmical and cyclic pattern stands out. The first premises mentioned CPGs activation and deactivation exclusively performed in the highest levels by the encephalic centers of hierarchical control over reflexes, with the brain turning on the generator, modulating it, when possible, by sensorial feedback and the generator directly turning on the muscles. Described as a certain automatism that can be modified by the will or imposed by the irregularities of the environment the neural structure of CPGs seems to be genetically predetermined [66].

Experimental contemporary studies with bullfrog [98,99], chick [9,117], lobster [92], rabbit [110], cat [12,39,40,50,65,81,97,111], dog [94], horse [64], monkey [15,16,17,28] and human [18,27,55,103], among others, marked the research on this characteristic patterns.

To simplify, if a determined neuron 1 was excited and activated a certain neuron 2 (that excites the MN of the flexor muscle), and that activated neuron 3 which activated neuron 4 (that excited the MN of the extensor muscle), through out the time that neuron 2 was activated by neuron 1, the flexor muscles would also be activated, and the same would happen with neuron 4 and the extensor muscles. While this continuous cycle lasted, flexor and extensor muscle explosions would happen in different points and/or opposite to the circuit [89].

The classic experiment about cats that were subdue to midbrain preparation, where the animal received a cut on the spinal cord with total separation from the upper centers and were put on the rug of a treadmill which started functioning, showed a total pattern of flexion and extension, organized to the march, which emerged from the movement generated by sensorial input of the environment (the treadmill movement). The flexor and extensor muscles performed in coordination and the feedback originated in the limbs could serve to modify the output of the MNs. In case of increasing the treadmill speed, the stimulus started a quality of locomotion, from slow steps to a trot pattern. Coupling among CPGs resulted in an output of locomotion pattern alternated even on the cats that had the spinal cords transected [95,96].

It is in the spinal cord that basic control units organize an efficient locomotion and it can use the feedback of peripheral limb's sensors to automate the locomotion control and answer to unexpected disturbances [21].

Pribe and collaborators describe a CPG as a population of cells of equal membranes whose model is described by spinal neurons interconnected by a periodical net. In this concept, in particular, the cells self-excite through signs of quick feedback and, simultaneously, they self-inhibit via slow feedback signs, as is evident in the motor sensor system, in which reflex specialized tracts of quick synaptic sign, as those of input sensors of Ia fiber of the muscle fuse, causing a delay of about 0,5m/s in each synapse, can reach the MNs.

The muscle fuses are very sensitive to stretching and, for this, they are highly active in different periods of the step cycle, generally when the pair muscles are stretched by nature.

The result of this reflexive activation can or can not be used, depending on the cycle phase [111].

Today, a CPG model used to explain the animals and humans' locomotion is a version of the Ellias-Grossberg's oscillator. Descendant stimuli, called go commands, generate in-phase and anti-phase oscillations for different amplitudes. When a CPG is controlled by anti-phase or in-phase inputs, the net's interaction is generated observing properties of frequency and variables that move emergent output properties of the whole net from data about the angle of the limbs phase. Thus, a same go sign can divide the trigger among different oscillatory patterns [81].

Neurophysiological mechanisms of reciprocal and recurrent inhibition have been used as examples of sending nervous information to limbs, provoking simultaneous movements from both limbs during the action of one, in an automated way, without intervention thoughts. Considering reciprocal inhibition, in human locomotion pattern, a flexor activity is activated while the extensor is inhibited. The spinal cord does not only generate pattern of basic locomotors to alternate movements in a limb, as it establishes a reciprocal relation between the right and left side which is necessary to the human march. In the animal models to fictitious locomotion, the rhythmical flexor output can occur in the absence of extensor activity [89].

The recurrent inhibition is exerted in spinal cord by Renshaw cells, on alpha and gamma MNs as well as on IA interneurons. Renshaw cells are interneurons innervated by collateral branches of MNs axons that run in recurrent fashion to order MNs in their own (homonymous) nucleus and to (heteronymous) synergies. In the brain, the corticospinal cell is the recurrent axon collateral from central nervous system (CNS) that innervate inhibitory interneurons in order to reduce the discharge of other neurons nearby but, in contrast to Renshaw cells, facilitate their neighbours [14].

Summing up, this alternated cyclic generator system needs the brain or proprioceptive input to start and stop. The activation of mechanic receptors to muscle fuse and Golgi Tendon Organs (GTOs) has direct access to the spinal cord and to the CPG, as well as to the descendent brain pathways. The CPGs can also be activated by nets of spinal interneurons that originate and end in the spinal cord, pre-motoneuronal from CPG, and this net can generate multiple centers to control many joints in different spinal levels [111].

Walking involves a collection of variables that are used to describe the limbs' procedure during several periods inside a cycle. Variables of control as speed and power can alternate in some period(s) limited by coordination patterns to flexion and extension that emerge during the oscillatory system organization. The relative phase between the coordination of elements can serve as a parameter of order to the levels of intralimbs (among the segments of the limbs) and interlimbs (among the four limbs). To understand the coordination interlimbs, time and distance of the relative phase of the two legs are investigated. To access the coordination intralimbs, the organization of the limb, in different phases between segments, is investigated. Being the limbs coordinated among them (interlimbs coordination), they can influence the way some segment inside a member is coordinated (intralimbs coordination) [7].

CPGs of breathing control are also exposed to a variety of sensorial loops and reflex feedback to adjust the output pattern according to the necessity, for example, to minimize the energetic cost of ventilation and to adapt it to different behavior, such as production voices in the speech, smelling and sense of smell to exploratory orientation, expulsive actions from defecation and urination, and the trunk posture during movements. In the basic automatic breathing, the CPGs are isolatedly located in the portion of the brainstem and a continuous input seems to be necessary for the generators continuous action. The experimental analysis of CPGs in the breathing control has been performed in cats of deafferentation, anesthetized and ventilated by a breathing-server continuously ruled by its own activity. The basic

mechanism necessary to generate a breathing rhythm claims for an active inhalation that must increase gradually and finished almost suddenly, with an inhibition during expiratory. Once the neural mechanism which controls the time inhalation lasts also influences the time of expiration, inhalatory timing and this relation can remain constant in spite of the time variations of the cycle. Regularity in shape and inclination of the inhalatory trajectory suggests a period of short and continuous timing. Even with the total absence of feedback, the excitability of the mechanisms increases during the occurrence of inhalation [23]. In locomotor pattern, it can be a simple pulse that turns on the generator and the oscillator can continue operating [112].

The brainstem masticatory CPG plays a crucial role in generating basic activity patterns of these cranial MTNs groups too. However, descending inputs from cerebral cortex and from mastication-generated peripheral sensory also play important roles in modulating the activity pattern of each MN so that the final motor outputs fit the environmental demand. Mastication is the first stage of digestion and involves several motor processes such as food intake, intra-oral food transport, bolus formation, and chewing in its broad sense. These complicated motor functions can be accomplished by the well-coordinated activities of the trigeminal, facial and hypoglossal MN innervating the jaw, hyoid, tongue, and facial muscles [112].

In the fictitious motor pattern in leeches with denervated nerve cords it seems that the heart pacemaker beating is driven and coordinated by activities in segmental MTNs, controlled by rhythmic inhibitory input from the network of heart interneurons that compose the heartbeat CPG to proper timing, coordination and switching in the beating [119]. In the crustacean neurogenic heart, the cardiac ganglion acts as a peripherally located CPG by producing rhythmic motor output that initiates the heartbeat. These results suggested that the neurons have tension sensitivity in addition to their pacemaker and MN functions. Such multifunctional neurons that may form a single neuron reflex are inside the heart [84].

Artificial models efficiently represented and introduced the approach in which some simple CPGs are implemented on biologically inspiring robotic prototypes [6,20,21,28,47,48].

Research shows that, in vertebrates, CPGs are located in the spinal cord (for locomotion and scratching) and can produce functional output in the absence of presence of sensorial input. In this aspect, neocortical circuits are akin because they present rich dynamic, spontaneous nets strongly modulated or self-generated [38].

New important judgments have been obtained these past years about molecules, nets, and behaviors mainly based on understanding the cellular bases, regarding changes in the composition of ions and in the properties and effects of neural net, whose evidences are found in several levels of anatomical, biophysics, developmental, dynamic, and pathological analysis that show synchronization with the encephalic system [35,37,49]. It is possible that cortical dynamic circuits are particularly kinds of plastic CPGs (learning CPGs) with a probability to predict a basic principle of organization and function [114].

The improvement of the performance happens with time through several interaction processes of adjustment that give instructions to the system about its environment. New circuits are being added due to the nervous cell signs to one another, from the modulation made by activity and experience [46].

When we acquire new information and we store them as memories, new anatomical alterations set up in the structures that compose the system. Studies on perception that give us evidences of how widely experience can affect the NS, and the biological study of how nervous cells sign one another, are brightening up the idea about this not fixed sign, modulated by activity and experience [93].

The first systematic textbook on motor behavior and neuroscience was *The Neural Basis of Motor Control*, from 1986. In this text, physiology, neuroanatomy, kinesiology, and psychology were synthesized and dealt with posture and movement, adaptation, motor

learning, and guidance by limbic system to show how the NS processes information, leans and self-adjusts in to the circumstances of the behavior [14].

Nowadays, we believe that coordination and motor control development take place during life, while one is acting and retroacting with the environment, coming up with emergent learning from a system of memories resultant from motor experiences. Learning an ability means to be able to organize it, or coordinate it, in a way that the goal of the task is achieved with a high level performance, of high control. This organization involves the whole NS structures, in all life experiences, from the cerebral cortex to the muscles [45,105].

In this aspect, Kruger, Turvey, Kelso, and collaborators, essentially contributed to the comprehension of this multivariate function that pre-establishes plastic arrangements among the components. They offer us aggregates called coordinative structures that constraint degrees of freedom of nearly 10^{14} cellular units in 10^3 varieties, 10^3 muscles and 10^2 joints, restricting these potentially free variables through muscle recruitment and sequence in a single unit controlled by parameters of power, speed, and amplitude. These structures, or muscle links, or synergies [59,85,91], spread over several joints, limited to act as a system of few laws. What would be previously an aggregation of many degrees of freedom becomes a system of minor dimensions organized among structure, function, environment, and organisms, resultant in a dynamic pattern that emerges (organizes), stabilizes (stable state), and qualitatively changes (transition of phase). This process of coordination imposes parameters to the variables that are being constrained. A control parameter is the one that when changeable, causes a non-linear change in the behavior of a system. That means values are determined by the variables and changes are produced in the values of function, characterizing the parameters and three dynamics of the system. The state dynamics has variables united by parameters established in short periods of time. It forms movement patterns in real time. For example, the variation in angular positions, and the speed of the elbow and shoulder joints while performing the task of lifting a cup, is a specific way of actin in its environment. The parameter dynamics directly coordinates movement patterns in operations in a long period of time in which a single action is ruled by a set of specific task parameters that remain relatively constant. Once abilities are acquired, parameters change in adaptation to developmental changes induced by movements in the biomechanical geometry of the body. For example, the balance of the posture has a frequency parameter that seems constant but oscillates in long rhythms. In this case, spatial position of the goal restricts the evolution of variables as angular position and speed. The graph dynamics directly influences the evolution of a coordinative structure and it is responsible for change in the “architecture” of this dynamic system. Changes in the size, composition, and connections among sets of muscles that require long periods of time are associated to learning processes and motor skills development. Each time-scale and assembly process determines these different dynamics to the coordinative structures [24,63,86,104].

At present, the approach that sustains the essential qualities of the coordinative structures and all the concepts that serve to the understanding of coordination and motor control development in the area of the human movement science, allied to the complex view of neuroscientists about genetic and epigenetic factors of experience, is a necessary and emergent point of view to be considered [60,74,78,105].

The property of synchronization of the CNS, considering neural microcircuits, is clear in the electroencephalographic (EEG) records, magnetelectroencephalographic (MEEG) and functional nuclear magnetic resonance (fRMN) in mice, cas, monkeys and human beings [5,13,68,76,77]. Artificial intelligence also seems to be an instrument of efficient analysis with the methodological approach of artificial neural nets (ANNs) presently being used to predict parameter control of muscle strength [67,75,116].

To understand learning and development of the coordination and motor control, researchers critically review a number of the constructs in schema theory: the notion of a generalized motor program that is not based on motor program but still accounts for the strong tendency for responses to maintain their characteristics; the mechanism or processes whereby abstract movement structure based on proportional principles to relative timing and relative force is developed through practice; and explanation for parameter learning that accounts for the benefits of parameter variability but also considers how variability is scheduled [22,115,120].

Considering all the examined arguments, aspects presented as antagonistic, contradictory, and consensual supply a solid epistemological basis that supports research in the area of coordination development and motor control.

The human movement sciences have provided many explanations about coordination and modulation of controlled movements and, although they can differ in many details, all are built trying to distinguish between what is controlled and what controls, when and how. Coordination is the organization of a total pattern of susceptible order to modulation through the control of certain necessary parameters so that behaviors adjust to the environment's demands [8].

ACKNOWLEDGMENTS

My thanks to professors Marcelo Disconzi, Alberto Reynaldo Reppold Filho and Marco Aurélio Vaz; to Silvia Suzana Wolff; and to my classmates Antonio Carlos Dourado, Débora Schnardors, and Sionara Tamanini.

REFERENCES

- [1] ADAMS, JA. *Human Memory*. New York: McGraw-Hill, 1976
- [2] ADAMS, JA. A closed-loop theory of motor learning. *Journal of Motor Behavior*. 1971, **3**, 111-150.
- [3] ADAMS, JA. Feedback theory of how joint receptors regulate of timing and positioning of a limb. *Psychological Review*. 1977, **84**, 504-523.
- [4] ALBERNETHY, B; SPARROO, W. The rise and fall of dominant paradigms in motor behavior research. JJ SUMMER (Ed.) In *Approaches to the Study of Motor Control and Learning*. Elsevier Science Publishes, 1992, p. 3-16
- [5] ANDREW, C; PFURTSCHELLER. G. On the existence of different alpha band Rhythms in the hand area of man. *Neuroscience Letters*. 1997, **222**, 103-106
- [6] ARENA, P. The central pattern generator: a paradigm for artificial locomotion. *Soft Computing*. 2000, **4**, 251-265
- [7] BARELA, J; WHITALL. J; BLACK, P; CLARK, J. An examination of constraints affecting the intralimb coordination of hemiparetic gait. *Human Movement Science*. 2000, **129**, 251-253
- [8] BEEK, PJ. *Juggling Dynamics*. Amsterdam: Free University Press, 1989.
- [9] BEKOFF, A. Development of locomotion in vertebrates: a comparative perspective. ES GOLLIN (Ed.), In *Comparative development of adaptive skills: Evolutionary implications*.

- Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1985. p. 57-94.
- [10] BERNSTEIN, N. *The Coordination and Regulation of movement*. London: Pergamon Press, 1967.
- [11] BONGAARDT, R; MEIJER, O. Bernstein's theory of movement behavior: historical development and contemporary relevance. *Journal of Motor Behavior*. 2002, **32**, 57-71.
- [12] BRADLEY, NS; SMITH, JL. Neuromuscular patterns of stereotypic hind limb behaviors in the first two postnatal months. Stepping in normal kittens. *Development Brain Research*. 1988, **38**, 37-52
- [13] BRESSLER, SL. The gamma wave: a cortical information carrier? *TINS*. 1990, **13**, 161-162.
- [14] BROOKS, V. *The neural basis of motor control*. New York: Oxford University Press, 1986.
- [15] BULLOCK, D; GROSSEBERG, S. Neural dynamics of planned arm movements: emergent invariants and speed-accuracy proprieties during trajectory formation. *Psychological Review*. 1988, **95**, 49-90.
- [16] BULLOCK, D; GROSSBERG, S. Adaptive neural network for control of movement trajectories invariant under speed and force rescaling. *Human movement Sciences*. 1990, **10**, 3-53.
- [17] BULLOCK et al. A neural network model for a cursive script production. *Biological Cybernetics*. 1993, **70**, 15-28.
- [18] CLARK, J; TRULY, T; PHILLIPS, S. *On the development of walking as a limit cycle system*. E. October, 1990.
- [19] CROSSMAN, ER. Information process in human skill. *British medical bulletin*. 1964, **20**, 32-37
- [20] CRUZ, FA; CORTEZ, CM. Computer simulation of a central pattern generation via Kuramoto model. *Physica*. 2005, 258-270.
- [21] DUYSSENS, J; VAN DE CROMMERT, H; SMITS-ENGELSMAN, B; AN DER HELM, F. A walking robot called human: lessons to be learned from neural control of locomotion. *Journal of Biomechanics*. 2002, **35**, 447-453
- [22] DIETZ, V. Interaction between central programs and afferent input in the control of posture and locomotion (short communication). *Journal of Biomechanics*. 1996, **29**, 841-844.
- [23] EULER, CV. Central pattern generation during breathing. *Trends in neuroscience*. 1980, 275-277.
- [24] FITCH, H; TULLER, B; TURVEY, M. The Bernstein perspective: Part III. Tuning of coordinative structures with special reference to perception. JAS KELSO (Ed.) In human Motor Behavior: an introduction. New Jersey: LEA Publishers, 1982, p.271-282.
- [25] FITCH. H; TURVEY, M. On the control of activity: some remarks from an ecological point of view. DM LANDERS & RW CHRISTINA (Eds.) In Psychology of Motor Behavior and Sport. Champaign: Human Kinetics Publishers, 1978. 271-282.
- [26] FITTS, MP; POSNER, MI. *Human Performance*. Belmont, California: Brooks-Cole, 1967.
- [27] FORRESTER, L; PHILLIPS, S; CLARK, J. Locomotor

- coordination in Infancy: the transition from walking to running. In *Locomotor Coordination*, 1993. p. 1-36.
- [28] GAUDIANO, P; GROSSBERG, S. Vector associative maps: unsupervised real-time error-based learning and control of movements trajectories. *Neural Network*. 1991, **4**, 147-183.
- [29] GIBSON, J. *The senses considered as perceptual systems*. Boston: Houghton Mifflin, 1966.
- [30] GIBSON, J. *The ecological approach to visual perception*. Boston: Houghton Mifflin, 1979.
- [31] GIBSON, J. Exploratory behavior in the development of perceiving, acting, and the acquiring of knowledge. *Annual Review of Psychology*. 1988, **39**, 1-41.
- [32] GIBSON, J. *Na odyssey in learning an perception*. Cambridge, MA: MIT Press, 1991.
- [33] GLEICK, J. *Caos: a criação de uma nova ciência* Rio de Janeiro: Campus, 1990.
- [34] GOLDFIELD, E. *Emergent Forms: origins and early development of human action and perception*. New York: Oxford University Press, 1995.
- [35] GRILLNER, S. From egg to action. *Brain Research Bulletin*. 2000, **53**, 473-477.
- [36] GRILLNER, S. Locomotion in vertebrates: central mechanisms and reflex interaction. *Physiology Review*. 1975, 247-304.
- [37] GRILLNER, S; CANGIANO, L; Y HU, G; THOMPSON, R; HILL, R; WALLEN, P. The intrinsic function of a motor system from ion channels to network and behavior. *Brain Research*. 2000, **886**, 224-236.
- [38] GRILLNER, S; MARKRAM, H; SCHUTTER, E; SILBERBERG, G; LEBEAU, F. Microcircuits in action – from CPGs to neocortex. *Trends of Neuroscience*. 2005, **20**, 1-9.
- [39] GRILLNER S; ROSSIGNOL, S. On the initiation of the swing phase of locomotion in chronic spinal cats. *Exp. Brain Research*. 1978, **148**, 269-277.
- [40] GRILLNER S; ZANGGER, P. On the central pattern generation of locomotion in the low spinal cat. *Exp. Brain Research*. 1979, **34**, 241-261.
- [41] GRILLNER S; WALLEN P; BRODIN, L. Neural Network generating locomotor behavior in lamprey. Circuitry, transmitters, membrane properties, and simulation. *Ann Review Neuroscience*. 1991, **14**, 169-199.
- [42] GROSSBERG et al. Neural representations for sensory-motor control. II. Learning a head-centered visuomotor representation of 3-D target position. *Neural Network*. 1993, **6**, 43-67.
- [43] GROSSBERG et al. Neural control of interlimb oscillations. I. Human bimanual coordination. *Biological Cybernetics*. 1997, **77**, 131-140.
- [44] HAKEN, H; KELSO, JAS. A Theoretical model of phase transitions in human hand movements. *Biological Cybernetics*. 1985, **51**, 347-356.
- [45] HAYHOOD, K; GETCHELL, N. *Desenvolvimento Motor ao Longo da Vida*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.
- [46] HAYKIN, S. *Redes Neurais*. Princípios e prática. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

- [47] USPEERT, AJ; CRESPI, A; CABELGUEN, JM. Simulation and robotics studies of salamander locomotion: applying neurobiological principles to the control of locomotion in robots. *Neuroinformatics*. 2005, **3**, 171-96.
- [48] INADA, H; ISHII, K. Bipedal walk using a central pattern generator. *International Congress Series*. 2004, **1269**, 185-188.
- [49] JIRSA, V; KELSO S. The excitatory as a minimal model for the coordination dynamics of discrete and rhythmic movement generation. *Journal of Motor Behavior*. 2005, **37**, 35-52.
- [50] KAWAHARA, K.; MORI, S. A two compartment model of the stepping generator: analysis of the roles of a stage-setter and a rhythm generator. *Biology Cybernetic*. 1982. **43**, 225-230.
- [51] KEELE, SW. *Attention and Human Performance*. Pacific Palisades, California: Goodyear, 1973.
- [52] KEELE, SW. Part III: From Components Analysis to Motor Program. JAS KELSO (ED). In *Human Motor Behavior: An Introduction*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 1982. p. 143-186.
- [53] KEELE, SW. Movement control in skilled motor performance. *Psychological Bulletin*. 1968, **70**, 387-403.
- [54] KELSO, JAS. Motor control mechanisms underlying human movement perception. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*. 1977, **3**, 529-543.
- [55] KELSO, JAS. *Human Motor Behavior: an introduction*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 1982.
- [56] KELSO, JAS. *Dynamic Patterns: the self organizations of brain and behavior*. Cambridge: The MIT Press, 1999.
- [57] KELSO, JAS; HOLT K; RUBIN, P; KUGLER, PN. Pattern of Human Interlimb Coordination Emerge from the proprieties of non-linear, limit cycle oscillatory processes theory and data. *Journal of Motor Behavior*. 1981, **13**, 226-263.
- [58] KELSO, JAS; HOLT, KG; KUGLER, PN; TURVEY MT. On the concept of coordinative structures as dissipative structures: II. Empirical lines of convergence. GE STELMACH & J REQUIM (Eds..) In *Tutorials in motor behavior*. Amsterdam: North-Holland, 1980. p. 49-70.
- [59] KELSO, JS; SCHÖNER, G. Self-organization of coordinative movement pattern. *Human Movement Science*. 1988, **7**, 27-46.
- [60] KOCH, C; LAURENT G. Complexity and the nervous system. *Science*. 1999, **284**, 96-98.
- [61] KUGLER, PN. A morphological perspective on the origin and evolution of movement patterns. MG WADE & HTA WHITING (Eds.) In *Motor Development in Children: Aspects of Coordination and Control*, 1986. p. 459-525.
- [62] KUGLER, PN; KELSO, JS; TURVEY MT. On the concept of coordinative structures as dissipative structures: I. Theoretical lines of convergence. GE STELMACH & J REQUIM (Eds.) In *Tutorials in motor behavior*. Amsterdam: North-Holland, 1980. p. 3-47.

- [63] KUGLER, PN, KELSO JL, TURVEY MT (1982) On the control and coordination of naturally developing systems. JAS KELSO & JE CLARCK (Eds.) In *The development of Movement Control and Coordination*. Chichester: John Wiley, 1982. p. 5-78.
- [64] KULAGIN AS; SHIK, ML. Interaction of symmetrical limbs during controlled locomotions. *Biophysics*, 1970, **15**, 171-178.
- [65] LAFRENIERE-ROULA, M; McCREA, DA. Deletions of rhythmic motoneuron activity during fictive locomotion and scratch provide clues to the organization of the mammalian central pattern generator. *Journal of Neurophysiology*. 2005, **94**, 1120-32.
- [66] LENT, R. *Cem Bilhões de Neurônios: conceitos fundamentais de neurociência* São Paulo: Editora Atheneu, 2001.
- [67] LIU, MM; HERZOG, W; SAVELBERG, HHCM. Dynamic muscle force predictions from EMG: and artificial neural network approach. *Journal of Eletromyography and Kinesiology*. 1999, **9**, 391-400.
- [68] MACKAY, WA. Synchronized neuronal oscillations and their role in motor processes. *Trends in Cognitive Science*. 1997, **1**, 176-183.
- [69] MARTENIUK, RG. *Information processing in motor skills*. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1976.
- [70] MEIJER, OG. *The hierarchy debate*. Perspectives for a theory and history of movement science. Amsterdam: Free University Press, 1988.
- [71] MILLER, GA. The magical number seven plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*. 1956, **63**, 81-97.
- [72] MONTEIRO, LH. *Sistemas Dinâmicos*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2002.
- [73] NEWELL, K. Constraints on the Development of Coordination. MG WAGE & HT WHITING (Eds.) In *Motor Development in Children: aspects of coordination and control*. Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers, 1986.
- [74] NEWELL, KM; KUGLER, PN; VAN EMMERIK, REA; MCDONALD, PV. Search strategies and the acquisition of coordination. SA WAHACE (Ed.) In *Perspective on the coordination*. SA WAHACE (Ed.) In *Perspective on the coordination of movement*. Eslevier: North-Holland, 1988. p. 85-122.
- [75] NUSSBAUM, MA; MARTIN, BJ; CHAFFIN DB. A neural network model for simulation of torso muscle coordination. *Journal of Biomechanics*. 1997, **30**, 251-258.
- [76] PADOA-SCHIOPPA, C; RAY LI, C-S; BIZZI, E. Neuronal activity in the supplementary motor area of monkeys adapting to a new dynamic environment. *Journal of Neurophysiology*. 2004, **91**, 449-473.
- [77] PFURTSCHELLER, G; NAUPER, C; KALCHER, J. 40-Hz Oscillations during behavior in man. *Neuroscience Letters*. 1993, **164**, 179-182.
- [78] PICKENHAIN, L. A neuroscientists view on theories of complex movement behavior. OG MEIJER & K ROTH (Eds.) In *The*

- motor-action controversy, 1988. p. 463-487.
- [79] PIKOVSKY, A; ROSEMBLUM, M; KURTHS, J. *Synchronization: a universal concept in non-linear sciences*. New York: Cambridge University Press, 2001.
- [80] POSNER, MI. Short term memory systems in human information processing. RN HABER (Ed.) In *Information-processing approaches to visual perceptions*. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1969.
- [81] PRIBE, C; GROSSBERG, S; COHEN, M. Neural control of interlimb oscillation. II biped and quadruped gaits and bifurcations. *Biologics Cybernetics*. 1997, **77**, 141-152.
- [82] REED, ES. Na outline of a theory of action systems. *Journal of Motor Behavior*, 1982, **14**, 98-134.
- [83] RUELLE, D. *Acaso e Caos*. São Paulo: Editora UNESP, 1993.
- [84] SAKURAI, A; WILKENS, J. Tension sensitivity of the heart pacemaker neurons in the isopod crustacean *Ligia pallasii*. *The Journal of Experimental Biology*. 2003, **206**, 105-115.
- [85] SALTZMAN, E; KELSO JAS. Synergies: stabilities, instabilities, and modes. *The Behavioral and Brain Sciences*, 1985, **8**, 161-163.
- [86] SALTZMAN, EL; MUNHALL, K. Skill acquisition and development: the roles of state-parameter and graph-dynamics. *Journal of Motor Behavior*, 1992, **24**, 49-57.
- [87] SCHMIDT, RA. A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review*. 1975, **82**, 225-260.
- [88] SCHMIDT, RA. Part IV: Generalized Motor Program and Schemas for Moviment. JAS KELSO (Ed.) In *Human Motor Behavior: An Introduction*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates. Inc. 1982. p. 189-238.
- [89] SCHMIDT, RA; LEE, T. *Motor Control and Learning*. A Behavioral Emphasis. Champaign: Human Kinetics, 1999.
- [90] SCHMIDT RA; WRISBERG, C. *Aprendizagem e Performance Motors*. Uma abordagem da aprendizagem baseada no problema. 2 ed. Porto Alegre: Artmed, 2001.
- [91] SCHÖNER, G; KELSO, JAS. A synergetic theory of environmentally-specified and learned patterns of movement coordination. *Biological Cybernetic*. 1988, **58**, 71-80.
- [92] SILVERSTON, AI; KING, DG; RUSSEL, DF; MILLER, JP. (1976) The stomatogastric nervous system: structure and function of a small neural network. *Progress in Neurobiology*, 1976 (In Press).
- [93] SQUIRE, L; KANDEL E. *Memória*. Da mente às moléculas. Porto Alegre: Artmed, 2003.
- [94] SHIK, ML; ORLOVSKII GN. Coordination of the limbs during funning of the dog. *Biophysics*, 1965, **10**, 1148-1159.
- [95] SHIK, ML; ORLOVSKII, GN. Neurophysiology of locomotor automatism. *Physiological Reviews*, 1976, **56**, 465-501.
- [96] SHIK, ML; ORLOVSKII, GN; SEVERIN, FV. Locomotion of the mesencephalic cat elicited by stimulation of the pyramids. *Biofizika*. 1966, **13**, 143-152.
- [97] SJÖSTRÖM, A; ZANGGER, P. X-y-Linkage in the spinal generator for locomotion in the cat. *Acta*

- Physiology Scand.* 1975, **94**, 130-132.
- [98] STEHOUWER DJ; FAREL, PB. Development of hind limb locomotor activity in the bullfrog (*Rana Catesbiana*). Studied in vitro. *Science*. 1983, **219**, 516-518.
- [99] STEHOUWER DJ. Metamorphosis of behavior in the bullfrog (*Rana Catesbiana*). *Developmental Psychobiology*. 1988, **21**, 383-395.
- [100] STELMACH, GE. Information-processing framework for understanding human motor behavior. JAS KELSO (Ed.) In Human Motor Behavior: an introduction. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates Inc., 1982. p. 63-91.
- [101] STELMACH, GE. Motor Control and Motor Learning: the close-loop perspective. JAS KELSO (Ed.) In Human Motor Behavior: An introduction. New Jersey, Lawrence Erlbaum Associated Inc. 1982. p. 93-141.
- [102] SWENSON, R; TURVEY, M. Thermodynamic reasons for perception-action cycles. *Ecological Psychology*. 1991, **3**, 317-348.
- [103] THELEN, E; SMITH, L. A *Dynamic System Approach to the Development of Cognition and Action*. Cambridge: The MIT Press, 1994.
- [104] TULLER, B; FITCH, H; TURVEY, M. The Bernstein perspective. Part II. The concept of muscle linkage or coordinative structure. JAS KELSO (Ed.) In Human Motor Behavior: an introduction. New Jersey: LEA Publishers, 1982, p. 253-270.
- [105] TURVEY, M. Coordination dynamics: issues and trends. VK JIRSA & JAS KELSO. In Applied Complex System. New York: Springer Verlag. 2004.
- [106] TURVEY, MT. Preliminaries to a theory of action with reference to vision. R SHAW & G BRANSFORD (Eds.) In Perceiving, Acting, and Knowing: Toward an ecological psychology. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1977. p. 211-265.
- [107] TURVEY, MT; VARELLO, C. Cognition: the view from ecological realism. *Cognition*. 1981, **10**, 313-321.
- [108] TURVEY, M; CARELA, C. The ecological approach to perceiving-acting: a pictorial essay. *Acta Psychologica*. 1986, **63**, 133-155.
- [109] TURVEY, M; FITCH, H; TULLER, B. The Bernstein perspective. Part. I. The problems of degrees of freedom and context-conditioned variability. JAS KELSO (Ed.) In Human Motor Behavior: an introduction. New Jersey: LEA Publishers, 1982. p. 239-252.
- [110] VIALA, D; VIDAL, C. Evidence for distinct spinal locomotion generators supplying respectively fore and hindlimbs in the rabbit. *Brain Research*. 1978, **155**, 182-186.
- [111] YAKOVENKO, S; GRITSENKO, V; PROCHAZKA, A. Contribution of stretch reflexes to locomotor control: a modeling study. *Biologic Cybernetics*. 2004, **19**.
- [112] YAKOVENKO S; McCREA DA; STECINA, K; PROCHAZKA, A. Control of locomotor cycle durations. *Journal of Neurophysiology*. 2005, **94**, 1057-65.
- [113] YAMADA, Y; YAMAMURA, K; INOUE, M. Coordination of cranial motoneurons during

- mastication. *Respiratory Physiology and Neurobiology*. 2005, **147**, 177-89.
- [114] YUSTE, R; MACLEAN, JN; SMITH, J; LANSNER, A. The cortex as a central pattern generator. *Nature Publishing Group*. 2005, **6**, 477-483.
- [115] ZAJAC, E; NEPTUNE, R; KAUTZ, S. Biomechanics and muscle coordination of human walking. Part I: introduction to concepts, power transfer, dynamics and simulations. *Gait and Posture*. 2002, **16**, 215-232.
- [116] ZHANGA, K; SUNC, M; LESTERC, DK; PI-SUNYERA, FX; BOOZERA, BC; LONGMAND RW. Assessment of human locomotion by using an insole measurement system and artificial neural networks. *Journal of Biomechanics*. 2005, **38**, 2276-2287.
- [117] WATSON SJ; BEKOFF A. A kinematic analysis of hindlimb mobility in 9- and 10-day old chick embryos. *Journal of Neurobiology*, 1990, **21**, 651-660.
- [118] WELFORD, AT. *Fundamentals of Skill*. London: Mathuen, 1968.
- [119] WENNING, A; HILL, AVA; CALABRESE, R. Heartbeat control in Leeches. II. Fictive Motor Pattern. *Journal of Neurophysiology*. 2004, **91**, 397-409.

ANEXO B – Processamento dos Sinais em Matlab 5.3

% Interpretação de coeficientes DWT de sinais de indivíduo com e sem PA
% Nota: uso do toolbox wavelet do matlab

```
clear all  
close all
```

```
x=load('prática 2 C3.3 txt.');
```

% Em W_n

```
Wn=[0.001 0.3];  
[b,a]=butter(3, Wn);  
s=filter(b,a,x);
```

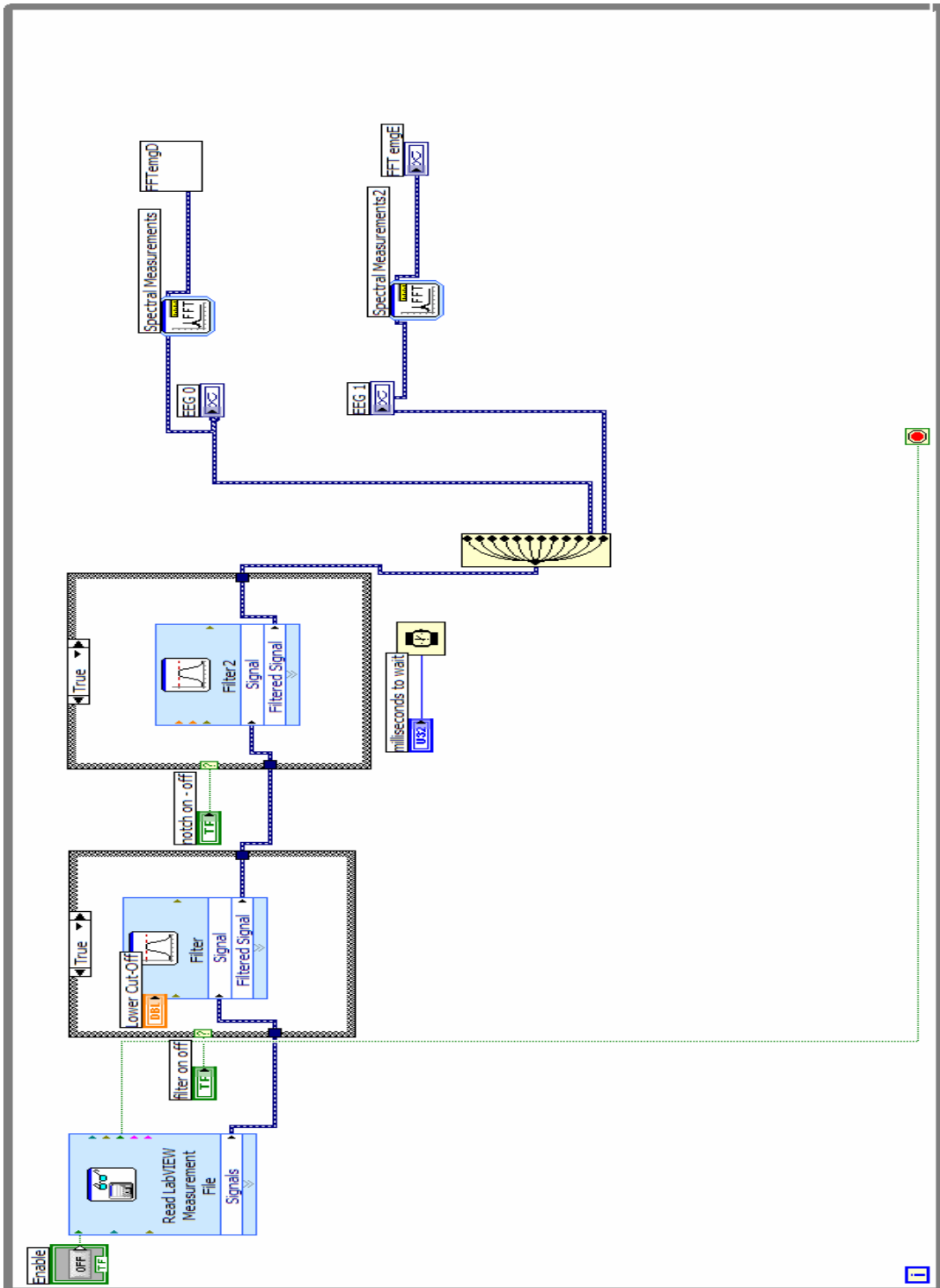
```
sinal=s;  
subplot(2,1,1)  
plot(s)  
% axis=([0 000 -2 2]);  
grid on  
title('Sinal de EEG');
```

```
tipo='db4';  
nivel=6;  
di=[];  
[c,l]=wavedec(sinal,nivel,tipo);
```

```
subplot(2,1,2);  
plot(c);  
grid on  
title('Coeficientes DWT');
```

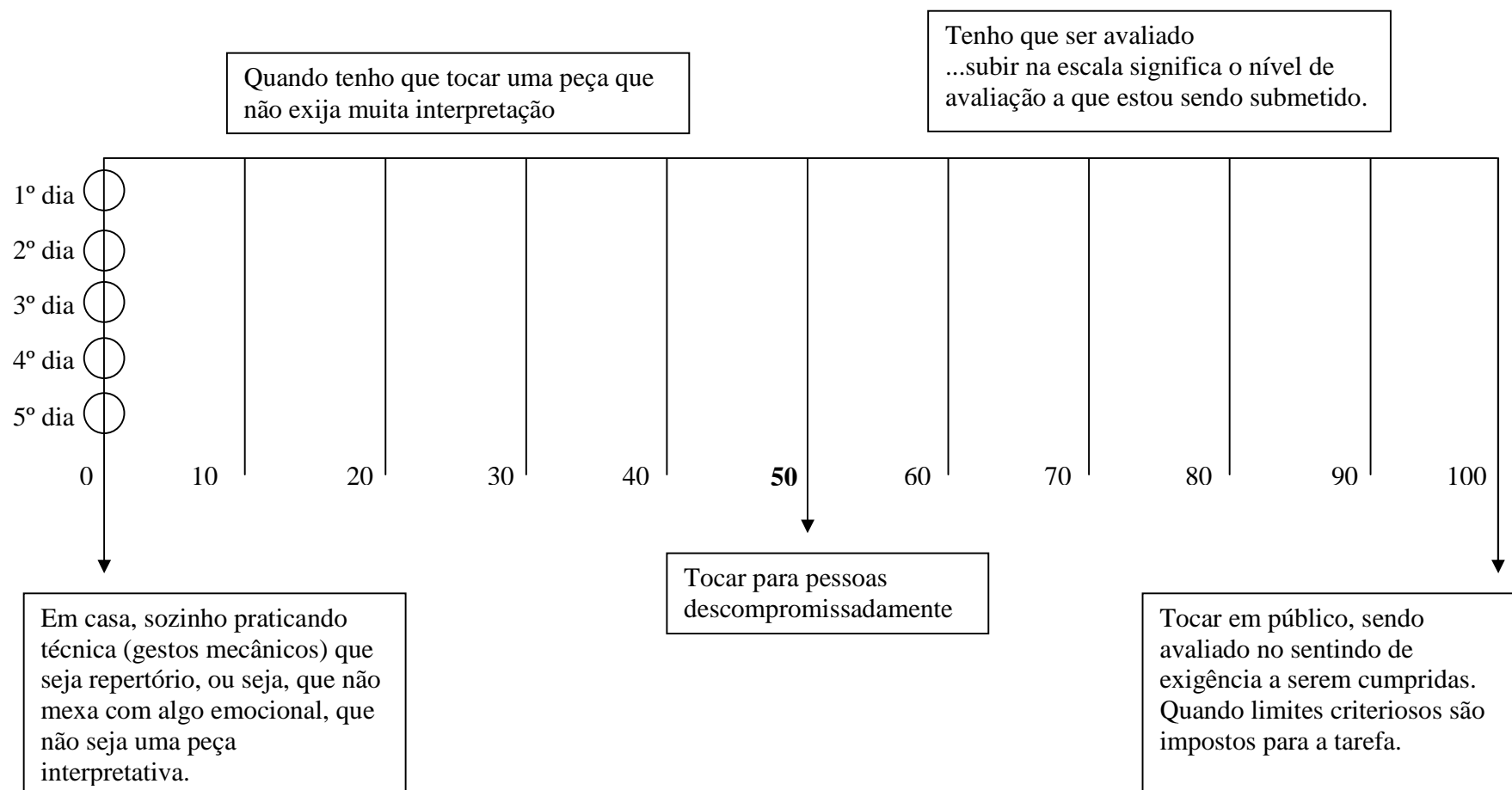
```
fp= fopen('c.txt','w')  
fprintf(fp,'%f\n', c)  
fclose(fp)
```


ANEXO C – Processamento dos sinais em *Labview 7.1* relativa ao processamento dos sinais monitorados nos estudos pilotos.

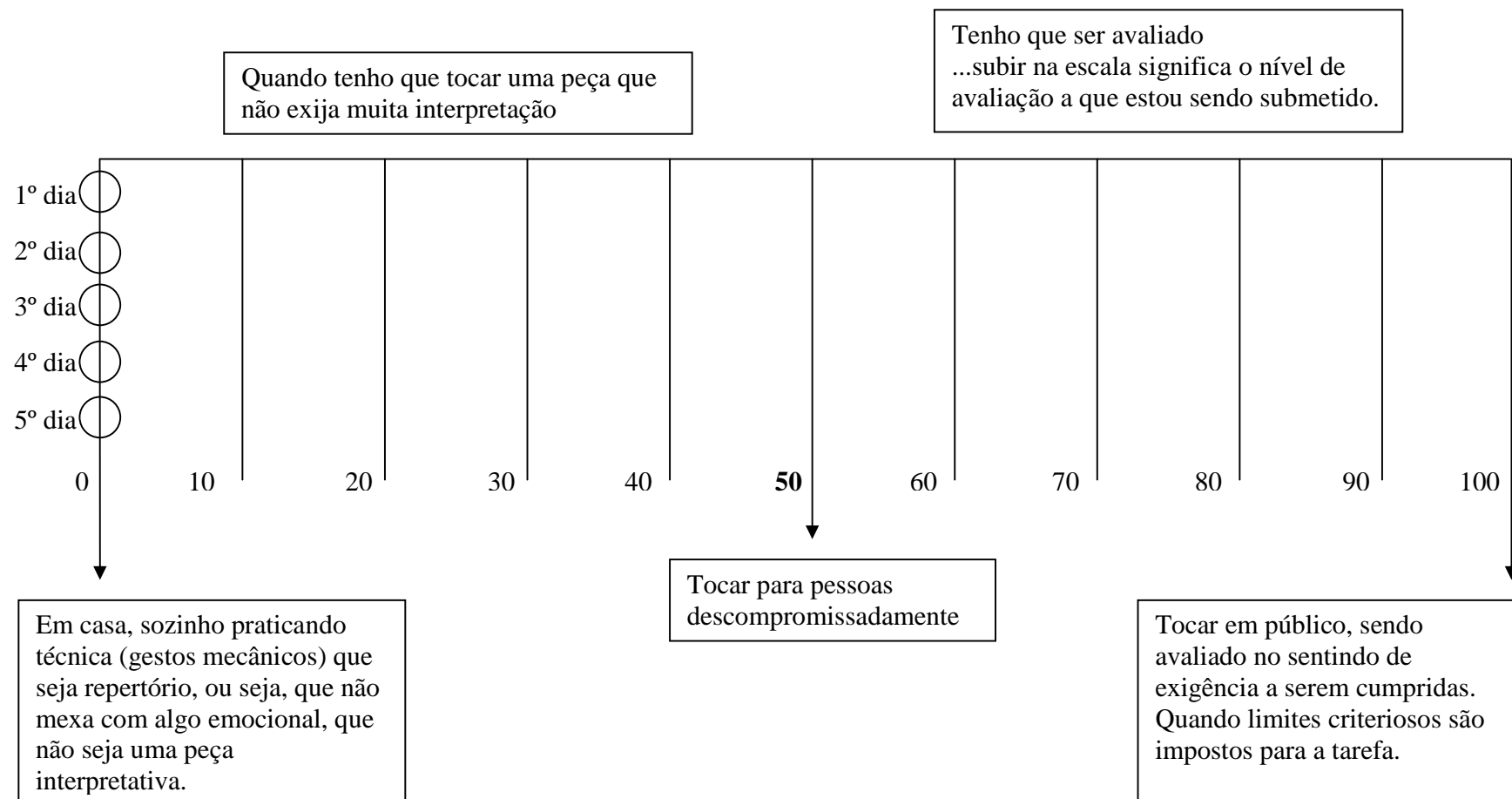


ANEXO D - Escala de Unidades Subjetivas (*SUDS*) calibrada pelo violonista e os escores marcados antes e depois da exposição e prática da tarefa, no 1° e 5° dias.

Antes

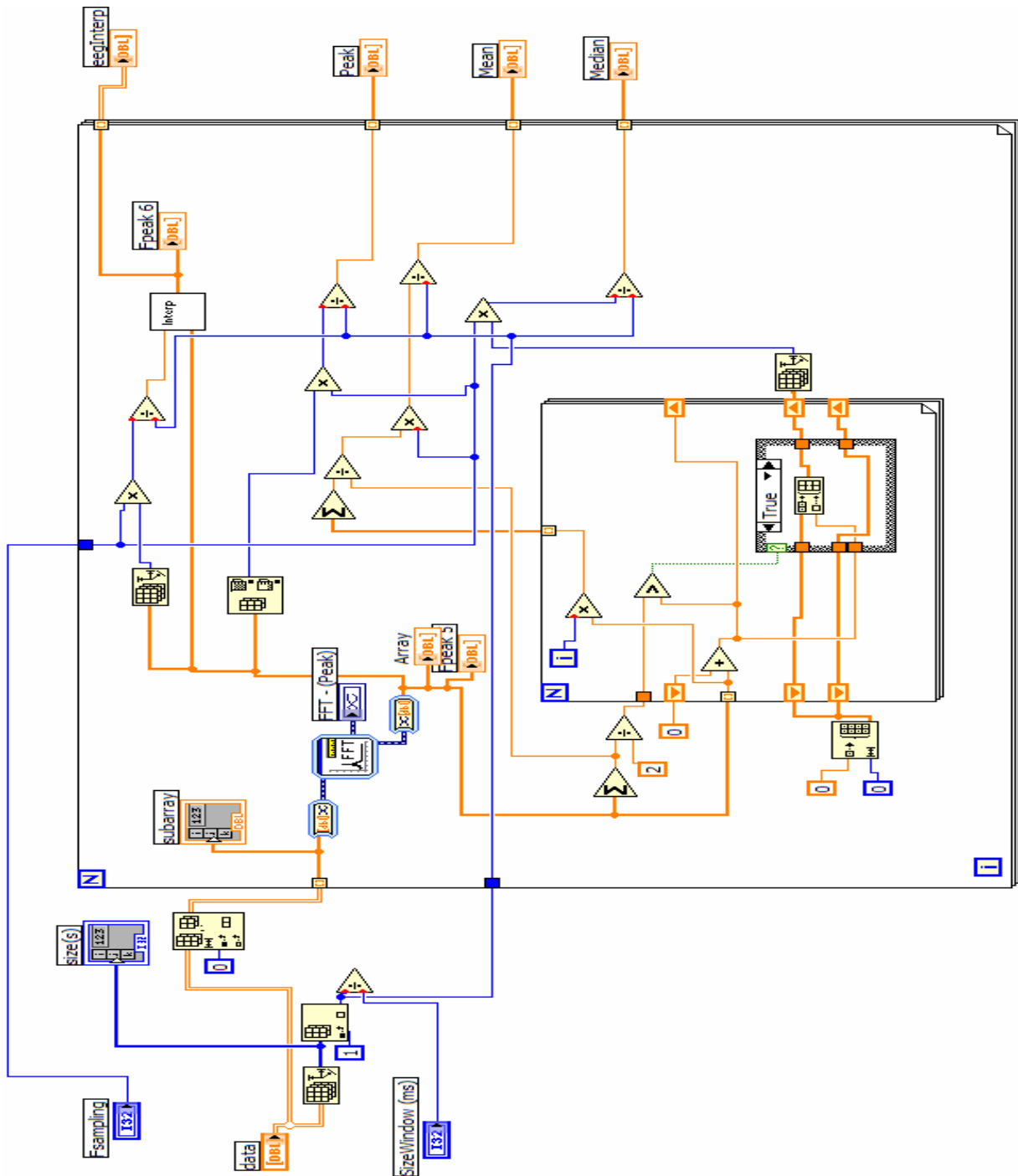


Depois

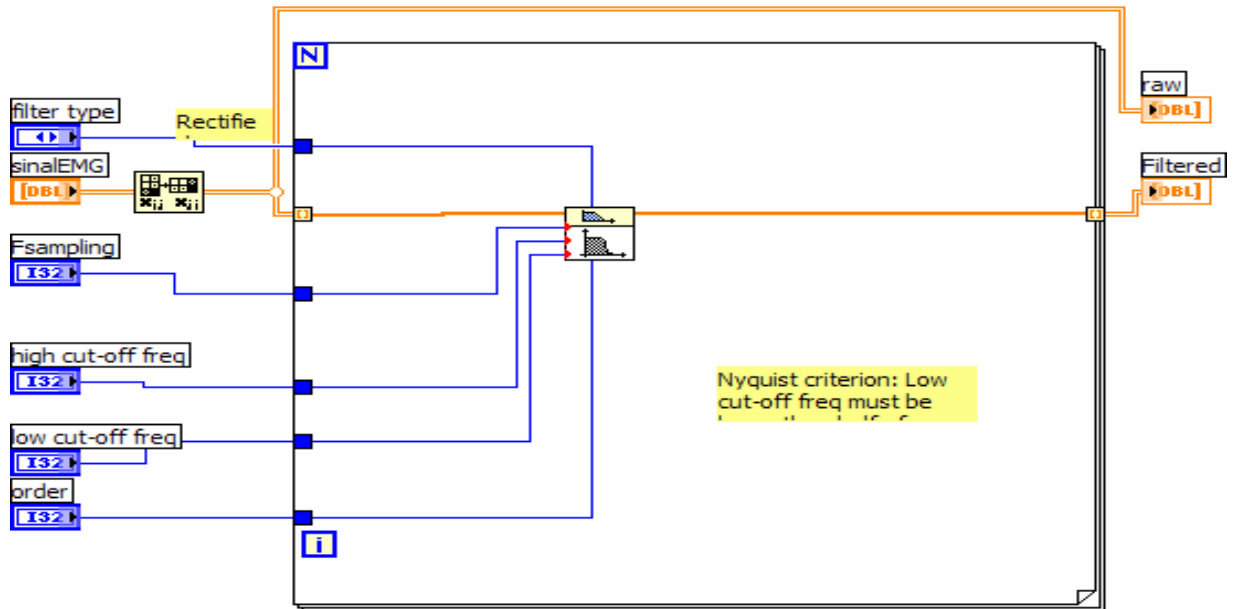


ANEXO E - Sub-rotinas do *Labview 8.2* relativas ao processamento dos sinais monitorados no estudo principal.

- Cálculo da FFT



- Filtragem por banda de EEG e EMG



ANEXO F - Banco de Dados do estudo principal

Tabela 1 - Tempo (1 = antes, 2 = após) /eletrodos EEG X Etapas /bandas (1 = Teta, 2 = Alfa, 3 = Beta, 4 = Gama)

T/el (1)	BASE				LEITURA				OUVIDA				PRÁTICA				IMAGINAÇÃO			
	teta	alfa	beta	gama	teta	alfa	beta	gama	teta	alfa	beta	gama	teta	alfa	beta	gama	teta	alfa	beta	gama
t3	6.67	11.00	27.33	68.67	5.67	10.33	26.33	71.33	6.33	9.67	28.00	72.00	6.33	11.00	29.33	73.33	6.00	10.00	24.67	71.67
t5	6.00	10.33	27.00	70.00	5.67	10.67	30.33	70.00	7.33	9.33	25.00	72.33	5.33	10.67	29.33	73.00	6.33	10.33	28.67	66.00
cz	6.67	10.00	26.67	72.00	6.33	10.00	27.00	72.33	7.33	10.00	25.33	73.33	6.33	10.33	27.33	70.67	6.00	9.67	28.67	73.00
p3	6.33	10.67	26.67	72.00	5.33	11.00	27.00	73.33	7.33	9.67	25.00	70.67	5.67	10.67	27.33	72.67	6.33	10.33	26.33	68.33
c3	6.33	10.33	27.00	69.67	5.67	10.00	29.33	71.00	6.67	9.67	24.33	71.00	6.67	9.67	26.67	71.00	6.00	10.00	26.33	68.33
p4	6.67	10.00	26.33	72.00	5.67	9.67	29.00	68.67	7.00	9.67	26.33	70.00	6.00	10.33	28.33	71.00	7.00	10.67	29.67	69.00
c4	5.67	10.00	27.67	71.67	6.33	10.33	25.00	70.33	7.00	9.67	25.33	73.67	6.33	10.33	27.00	70.67	6.67	10.67	27.67	70.33
pz	6.33	10.00	28.33	74.67	6.33	9.67	28.67	72.33	7.33	9.67	24.33	71.67	6.33	10.33	26.67	72.33	6.67	10.67	28.67	67.00
t4	5.67	10.67	27.33	70.67	5.33	11.00	26.33	72.67	6.67	9.67	32.00	70.33	6.00	10.67	29.33	71.00	6.33	10.33	27.67	71.67
t6	6.33	10.67	28.33	73.00	5.67	11.33	28.67	73.00	6.33	10.33	30.00	67.67	6.00	10.67	30.67	73.33	6.00	10.67	26.00	67.33
méd	6.27	10.37	27.27	71.43	5.80	10.40	27.77	71.50	6.93	9.73	26.57	71.27	6.10	10.47	28.20	71.90	6.33	10.33	27.43	69.27
(2)																				
t3	6.33	10.00	27.00	74.33	6.33	9.67	27.67	75.00	7.67	10.00	27.00	72.67	5.67	10.67	29.67	73.67	6.33	10.00	28.67	73.33
t5	6.33	10.00	26.67	72.33	7.00	10.00	27.33	71.67	7.00	9.67	26.67	71.67	6.33	11.33	29.33	73.00	6.00	10.00	27.67	70.67
cz	5.67	10.33	28.00	72.33	6.67	10.33	29.67	64.67	7.33	9.67	28.33	72.67	5.67	10.33	26.00	70.00	7.00	10.00	23.67	69.00
p3	6.00	10.33	26.67	73.00	8.00	9.67	27.00	71.67	7.00	9.67	26.33	70.00	6.67	10.67	29.33	72.00	6.33	10.00	26.00	70.00
c3	6.67	10.00	27.33	74.00	7.00	10.00	29.33	70.33	7.00	10.00	26.00	73.67	6.00	10.67	27.33	75.33	6.67	10.00	29.33	69.67
p4	6.33	10.33	28.33	68.33	6.33	10.00	29.00	68.00	6.33	10.67	28.67	73.67	6.00	11.33	27.33	72.33	6.33	10.33	26.33	69.67
c4	6.33	10.00	26.33	73.00	7.33	9.67	28.67	69.33	6.67	9.67	26.67	68.00	6.33	10.00	28.67	73.67	6.33	10.00	29.67	69.67
pz	6.33	11.33	28.00	70.33	6.33	11.33	29.00	72.67	6.67	11.00	30.33	73.67	6.00	11.00	28.67	76.00	6.33	10.67	29.00	70.33
t4	6.00	10.00	28.00	72.00	6.00	9.67	29.67	72.00	6.67	9.67	29.00	73.00	5.67	10.67	29.67	74.00	6.33	10.33	29.33	69.67
t6	5.67	10.00	27.00	63.00	5.33	11.33	27.00	71.33	6.33	11.33	29.00	65.67	6.00	10.67	32.33	75.00	5.67	10.67	28.00	69.33
méd	6.17	10.23	27.33	71.27	6.63	10.17	28.43	70.67	6.87	10.13	27.80	71.47	6.03	10.73	28.83	73.50	6.33	10.20	27.77	70.13

Tabela 2 - Teste Bonferroni relacionando o efeito entre as bandas ($p=0.05$)

TETA			ALFA		
Etapas	Antes	Depois	Etapas	Antes	Depois
base X leitura	(0.092)	(0.292)	base X leitura	(1.00)	(1.00)
base X ouvida	(0.003)	(0.015)	base X ouvida	(0.009)	(1.00)
base X prática	(1.00)	(1.00)	base X prática	(1.00)	(0.291)
base X imaginação	(1.00)	(1.00)	base X imaginação	(1.00)	(1.00)
leitura X ouvida	(0.0001)	(1.00)	leitura X ouvida	(0.005)	(1.00)
leitura X prática	(0.882)	(0.059)	leitura X prática	(1.00)	(0.144)
leitura X imaginação	(0.033)	(1.00)	leitura X imaginação	(1.00)	(1.00)
ouvida X prática	(0.0001)	(0.002)	ouvida X prática	(0.002)	(0.100)
ouvida X imaginação	(0.011)	(0.130)	ouvida X imaginação	(0.016)	(1.00)
prática X imaginação	(0.09)	(1.00)	prática X imaginação	(0.207)	(0.207)
BETA			GAMA		
base X leitura	(1.00)	(1.00)	base X leitura	(1.00)	(1.00)
base X ouvida	(1.00)	(1.00)	base X ouvida	(1.00)	(1.00)
base X prática	(1.00)	(0.324)	base X prática	(1.00)	(0.531)
base X imaginação	(1.00)	(1.00)	base X imaginação	(0.075)	(1.00)
leitura X ouvida	(0.883)	(1.00)	leitura X ouvida	(1.00)	(1.00)
leitura X prática	(1.00)	(1.00)	leitura X prática	(1.00)	(0.154)
leitura X imaginação	(1.00)	(1.00)	leitura X imaginação	(0.060)	(1.00)
ouvida X prática	(0.339)	(1.00)	ouvida X prática	(1.00)	(0.777)
ouvida X imaginação	(1.00)	(1.00)	ouvida X imaginação	(0.131)	(1.00)
prática X imaginação	(1.00)	(1.00)	prática X imaginação	(0.014)	(0.045)

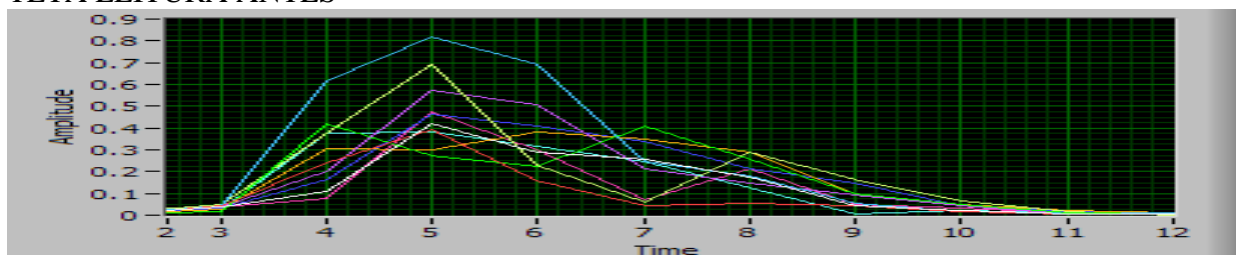
Tabela 3 - Teste T por tempo e etapas ($p=0.05$)

TETA	ALFA
base (0.555)	base (0.540)
leitura (0.012)	leitura (0.434)
ouvida (0.733)	ouvida (0.043)
prática (0.749)	prática (0.136)
imaginação (0.995)	imaginação (0.166)
BETA	GAMA
base (0.846)	base (0.910)
leitura (0.809)	leitura (0.389)
ouvida (0.150)	ouvida (0.823)
prática (0.129)	prática (0.022)
imaginação (0.719)	imaginação (0.306)

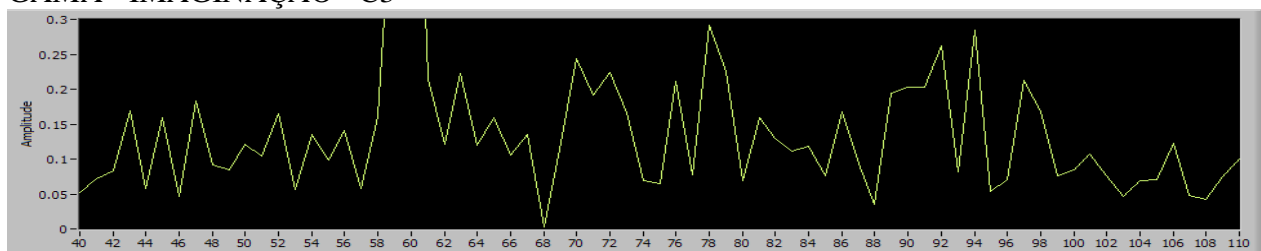
- FFT em Labview 8.1 - Traçados de EEG (10 eletrodos) e EMG (2 eletrodos)



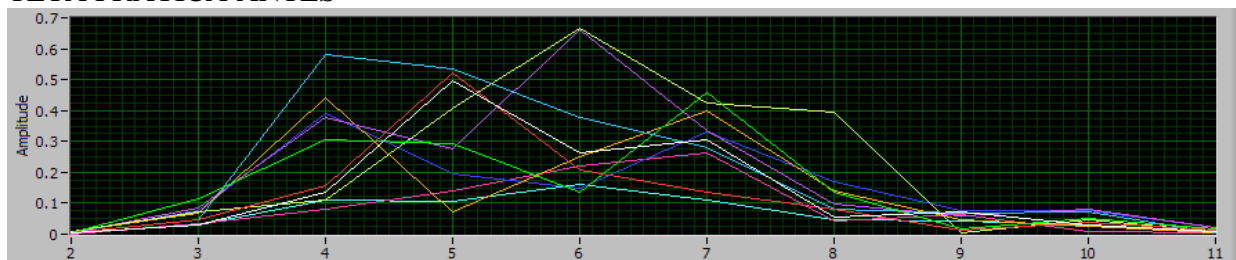
TETA LEITURA ANTES



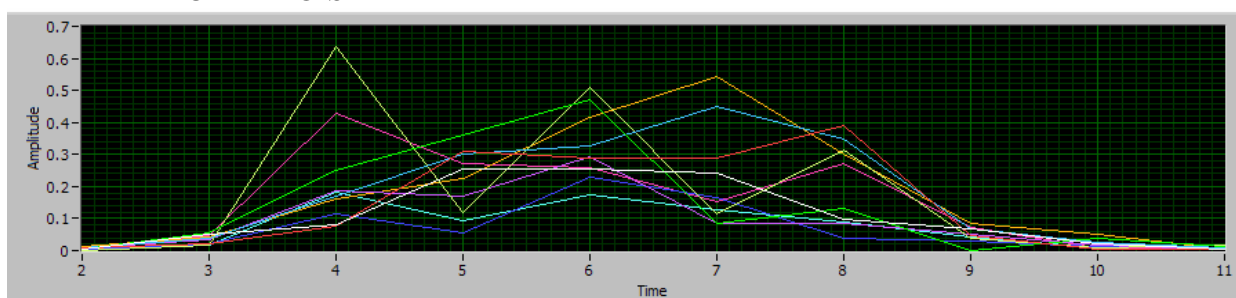
GAMA - IMAGINAÇÃO - C3



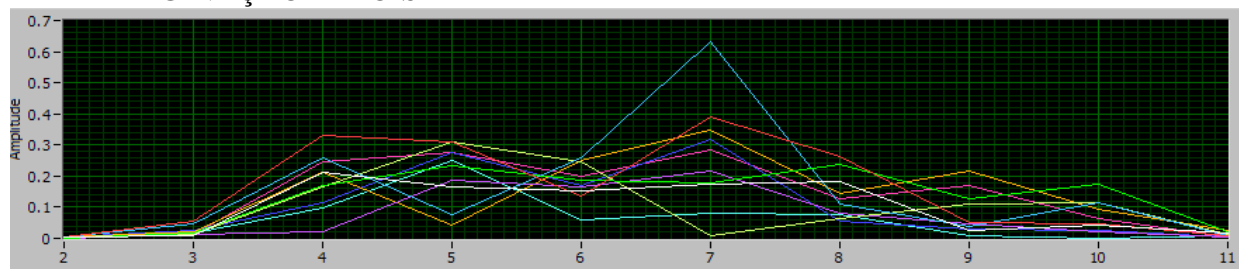
TETA PRÁTICA ANTES



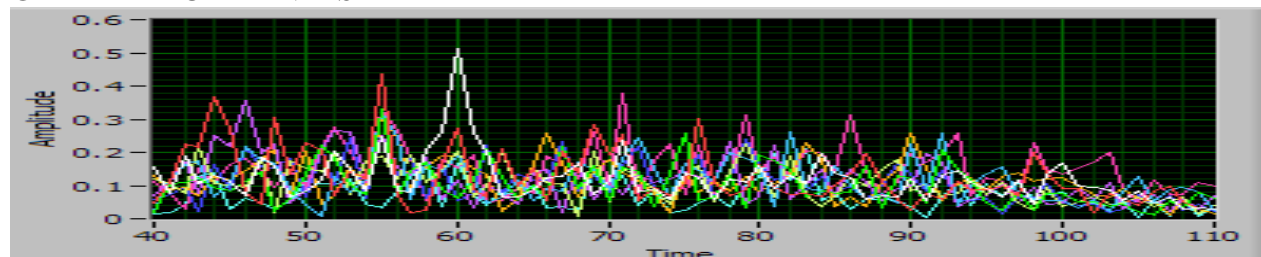
TETA PRÁTICA DEPOIS



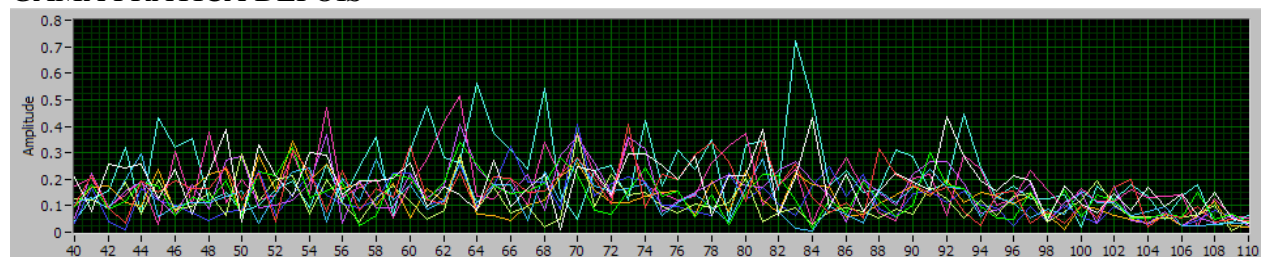
TETA IMAGINAÇÃO DEPOIS



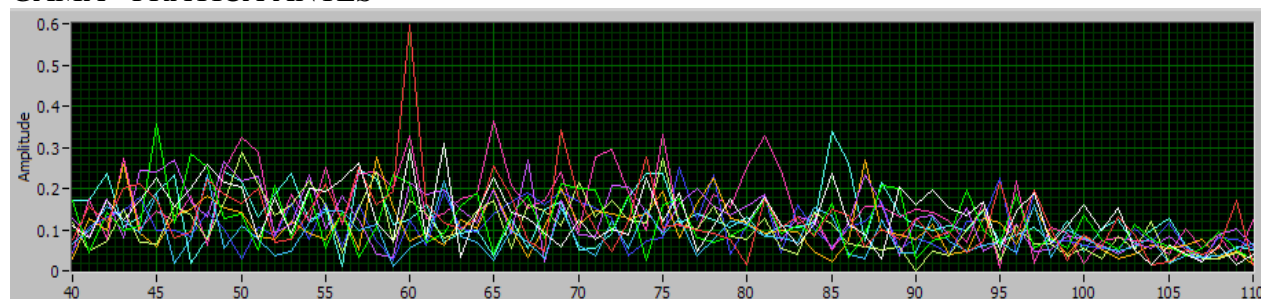
GAMA LEITURA ANTES



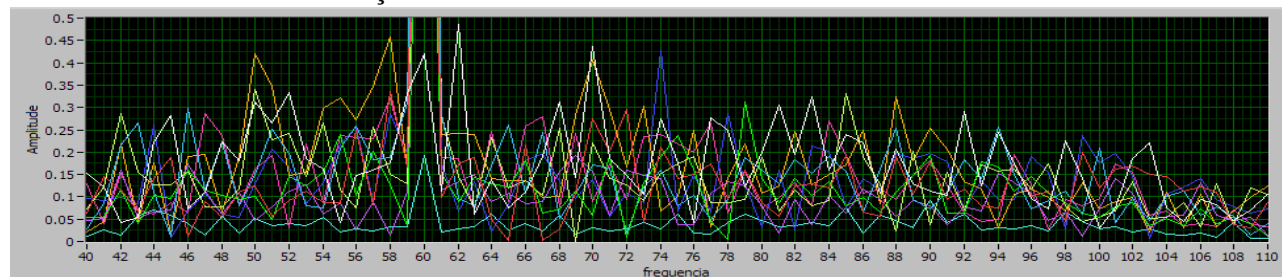
GAMA PRÁTICA DEPOIS



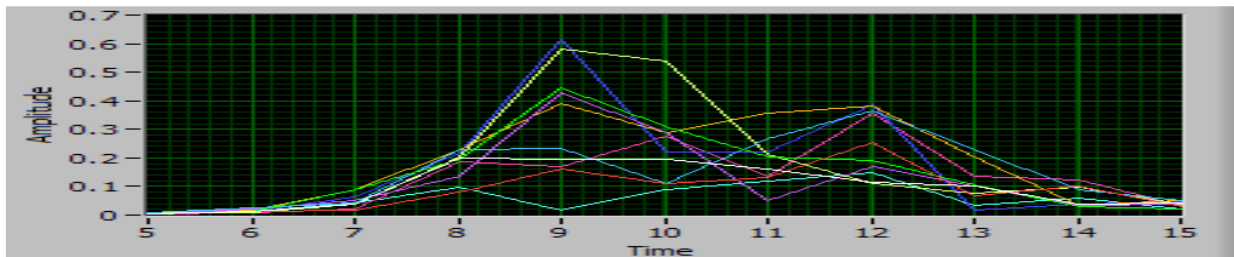
GAMA - PRÁTICA ANTES



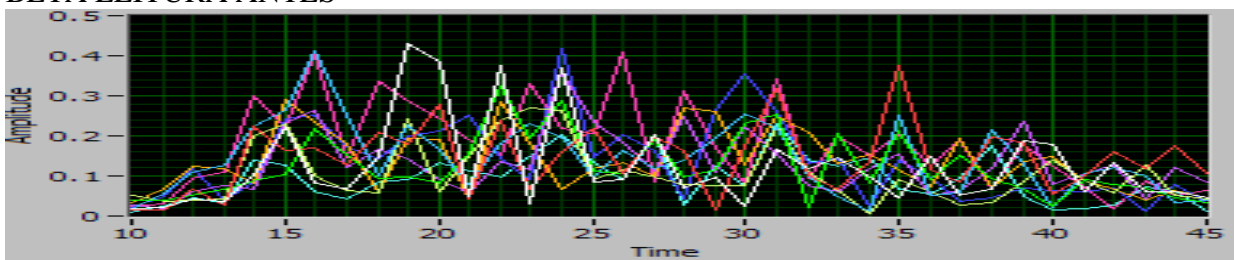
GAMA DEPOIS IMAGINAÇÃO



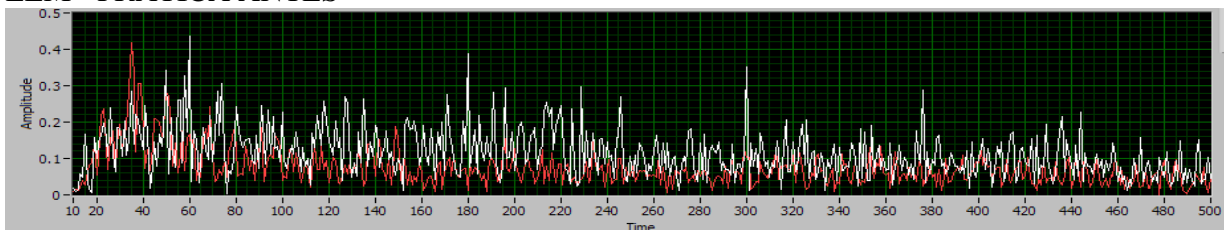
ALFA LEITURA ANTES



BETA LEITURA ANTES



EEM - PRÁTICA ANTES



EMG PRÁTICA DEPOIS



EMG IMAGINAÇÃO

