



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE BIOLOGIA

*Departamento de Fisiologia e Biofísica*



ADRIANE BEATRIZ DE SOUZA SERAPIÃO

UNICAMP

Tese de Doutorado BIBLIOTECA CENTRAL  
SEÇÃO CIRCULANTE

# ANÁLISE ESTATÍSTICA DA ATIVIDADE CEREBRAL EM EVENTOS RELACIONADOS A JOGOS COGNITIVOS

|                                                                                    |                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida pelo (a) candidato. a) | Adriane Beatriz de Souza Serapião |
| e aprovada pela Comissão Julgadora.                                                | 5/04/2001                         |

Tese apresentada ao Instituto de Biologia da Universidade Estadual de Campinas, para a obtenção do Título de Doutor em Biologia Funcional e Molecular, na área de Fisiologia.

Orientador: Prof.<sup>o</sup> Dr. Armando Freitas da Rocha

2001



UNIDADE: BC  
 N.º CHAMADA: T/ UNICAMP  
Se65a  
 V. Ex.  
 TOMBO BC/ 46049  
 PROC. 16-392103  
 C ☐ D ☒  
 PREC. R\$ 11,00  
 DATA 16-03-01  
 N.º CPD

CM00158785-2

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
 BIBLIOTECA DO INSTITUTO DE BIOLOGIA – UNICAMP**

**Se65a Serapião, Adriane Beatriz de Souza**

Análise estatística da atividade cerebral em eventos relacionados a jogos cognitivos/ Adriane Beatriz de Souza Serapião. - - Campinas, S.P. [s.n.], 2001.  
 141f: illus.

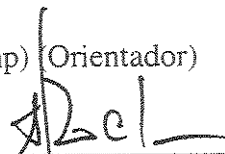
Orientador: Armando Freitas da Rocha  
 Tese(doutorado) – Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Biologia.

1. Eletroencefalografia. 2. Cérebro. 3. Crianças com lesões cerebrais. 4. Deficiência mental. 5. Cognição – fatores de idade. 6. Cognição nas crianças. 7. Informática médica. 8. Computadores.  
 I. Rocha, Armando Freitas da. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Biologia. III. Título.

Data da defesa: 05/04/2001.

BANCA EXAMINADORA:

Prof<sup>o</sup> Dr. Armando Freitas da Rocha (DBF/IB/Unicamp) (Orientador)



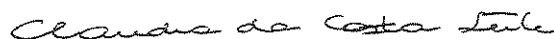
---

Prof<sup>o</sup> Dr. Cláudio Antônio Barbosa de Toledo (Unicid – SP)



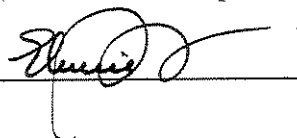
---

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cláudia da Costa Leite (HC/InRad/FMUSP)



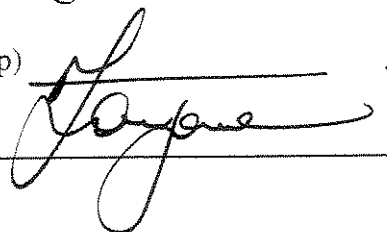
---

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Elenice Aparecida de Moraes Ferrari (DBF/IB/Unicamp)



---

Prof<sup>o</sup> Dr. Francesco Langone (DBF/IB/Unicamp)



---

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Suzete Maria Cerutti (USF – Bragança Paulista)

---

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Liana Lins Melo (USF e DBF/IB/Unicamp)

---

*Aos meus pais, Regina e Armando<sup>†</sup> (que não  
teve tempo para acompanhar-me até o final),  
por todo amor, dedicação e apoio, e por me  
ensinarem a viver de maneira simples e feliz.*

*À minha avó Margot<sup>†</sup>, minha “florzinha”.*

*“Se eu pudesse deixar algum presente a você, deixaria  
aceso o sentimento de amar a vida dos seres humanos.  
A consciência de aprender tudo o que foi ensinado pelo  
tempo afora...  
Lembraria os erros que foram cometidos para que não mais  
se repetissem.  
Mostraria a capacidade de escolher novos rumos.  
Deixaria para você, se pudesse, o respeito àquilo que é  
indispensável:  
Além do pão, o trabalho.  
Além do trabalho, a ação.  
E, quando tudo mais faltasse, um segredo:  
O de buscar no interior de si mesmo a resposta e a força  
para encontrar a saída.”*

*(Mahatma Gandhi)*

# Agradecimentos

A Deus, que me deu o dom da vida, que guia meus passos, que me fortalece a cada dia, e em quem busco inspiração para fazer tudo e tornar-me sempre melhor.

Aos meus pais, Armando<sup>†</sup> e Regina, meus grandes incentivadores, aos meus irmãos, Ana Cláudia e Roberto, expressões do meu mais puro afeto, e aos meus familiares. A todos eles que incondicionalmente sempre estiveram comigo, em todos os momentos, apesar das centenas de quilômetros que nos separam, dando-me força e suporte para eu poder superar dificuldades e concretizar meus sonhos. São “o porto seguro para onde sempre rumo”.

Ao Prof<sup>o</sup> Dr. Armando Freitas da Rocha, pela orientação.

À Dr<sup>a</sup> Renée Menezes (DIM/FMUSP), pela supervisão e pelas sugestões no desenvolvimento da análise estatística deste trabalho.

Aos amigos Andréa, Fábio e Ivan Rizzo Guilherme, que mais que amigos (os melhores que alguém poderia desejar), foram para mim uma verdadeira família durante todos estes anos. Sem eles tudo seria muito mais difícil.

À amiga Maria Salette Mayer de Aquino Giuliano, por compartilhar comigo os momentos mais intensos de nossas vidas; por estar sempre muito presente, mesmo quando distante; pelo carinho mútuo; pela profunda confiança. Acima de tudo, pelas lições de vida e pelo admirável exemplo-vivo de dignidade, de amor e de um coração puro e verdadeiro. Também ao Natan, ao Eduardo e ao Carlo Giuliano, pelos bons momentos que passamos juntos, permitindo-me curtir e participar de um convívio familiar tão gostoso e divertido. (*Alles wirklich sehr schön!*)

Às minhas amigas Iraídes Nunes dos Santos e Lilian Pinto da Silva, por dividirem comigo bem mais que um espaço. Foram sonhos, desejos, alegrias, dúvidas, dificuldades, tristezas. A força e os conselhos na hora certa. Também pela nossa ótima convivência, que só pôde ser atingida através de uma grande amizade e muito respeito.

Aos amigos Reinaldo Martinez Palhares, Ana Rosa de Jesus da Silva e Valéria de Andrade Oliveira Tonante, por acompanharem-me em várias etapas da minha vida, acreditando em mim e animando-me a seguir sempre em frente.

Aos amigos de Goiânia, que mesmo de longe me apoiam e torcem por mim, entendendo a minha ausência, alegrando-se com minhas conquistas, e incentivando-me a superar as “pedras no meu caminho”.

Aos professores do Departamento de Fisiologia e Biofísica, pelos sólidos conhecimentos transmitidos.

Aos colegas da Pós-graduação com quem tive o prazer de conviver dentro e fora dos cursos.

À Prof<sup>a</sup> Maria Lúcia Ramos de Moraes do Centro de Ensino de Línguas (CEL/UNICAMP), pela consultoria gentilmente concedida na língua inglesa.

Aos funcionários do Departamento de Fisiologia e Biofísica e do Departamento de Bioquímica do Instituto de Biologia, e do Departamento de Engenharia de Petróleo da Faculdade de Engenharia Mecânica (DEP/FEM/UNICAMP), pela solicitude com que inúmeras vezes me atenderam.

Aos amigos do EINA (Estudos em Inteligência Natural e Artificial), Andréa, Cássia, Rita, Flávia, Cecília, Caco, Fábio e Ednilson, pelo companheirismo e disposição em ajudar

continuamente, pelo ambiente saudável e convivência agradável. Em especial à Cássia, pela confecção de alguns dos desenhos que fazem parte deste trabalho, e à Andréa, que com muita boa vontade e paciência acompanhou-me em minhas idas e vindas de Jundiaí.

À Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO) - Paraná e aos colegas do Departamento de Informática (DEINF), pela solidariedade, apoio e compreensão.

Al Prof. Dr. Armando Blanco Morón, del Departamento de Ciencias de Computación e Inteligencia Artificial (DECSAI) de la Escuela de Ingeniería Informática de la Universidad de Granada (España), por las oportunidades, por la colaboración, por la disponibilidad y por la amistad con que me ha recibido. También a todos los demás miembros del Departamento, por la cordialidad y hospitalidad.

A mis amigos Marisol Báez Montero y Santos Parra Jaén, por acogerme de manera tan cariñosa y especial; por la sincera, enorme e inestimable amistad que llenó de alegría mi vida en tierras tan lejas, y de donde guardo dulces y felices recuerdos.

Al amigo Oscar Germán Duarte, por dedicarme toda su atención y ayudarme sin medir esfuerzos en todos los momentos que necesité de ello; por su magnífica compañía e inúmeras y largas charlas, que mucho me han enseñado.

Finalmente, ao CNPq, por financiar-me durante parte deste trabalho, assim como a todos os colaboradores anônimos deste país.

A todos, os meus mais sinceros e  
profundos agradecimentos:

MUITÍSSIMO OBRIGADA.

MUCHÍSIMAS GRACIAS.

# Prefácio

Começo estas linhas com uma certa timidez por violar normas e padrões de apresentação de um trabalho de doutoramento, justamente por escrever este prefácio – item que não faz parte do modelo formal de uma tese. Por outro lado, neste momento tão importante de minha vida, não poderia omitir de compartilhar aqui algumas reflexões, simplesmente por não haver espaço para comentários e colocações pessoais dos autores de trabalhos científicos nos moldes de escritura de tese. Qualquer tipo de imposição ou de limitação injustificada é para mim somente uma restrição à liberdade de expressão e à criatividade individual que todos os seres possuem e devem cultivar. Assim, se não fosse aqui, onde poderia a autora expor seu pensamento crítico pessoal? Não há nada aqui que não tenha sido dito antes, mas a descoberta íntima de questões que já são importantes preocupações coletivas me fizeram acreditar que a minha trajetória universitária tenha valido a pena, e isso trouxe em si o desejo maior de compartilhar minhas pequenas e singelas descobertas.

O pensamento do pós-graduando insere-se num contexto maior que a experiência acadêmica e o convívio com laboratórios, instrumentos, técnicas e tecnologias, ou livros. O pós-graduando deve ser preparado para ser um formador de opinião, para pensar o futuro da universidade, da sociedade e da nação. Ele deve possuir habilidades para perceber, analisar, interpretar, criticar, discutir e até mesmo propor saídas para questões importantes, sejam elas locais, regionais ou nacionais, e não simplesmente ser um repetidor do aprendizado adquirido durante a sua formação universitária.

O curso superior é a primeira etapa de educação continuada do homem, e não deve estar somente voltado para a formação rápida de profissionais requisitados como mão-de-obra qualificada para o mercado de trabalho, com um conhecimento efêmero e volátil, que aos poucos vai-se tornando obsoleto por causa das próprias urgências mercadológicas. O ensino superior deve buscar sua universalidade, a sua marca primordial que é a formação do ‘ser’ e do ‘saber aprender’.

A universidade é o nascedouro das elites intelectuais orientadoras do progresso e do desenvolvimento do país, e sua essência precisa estar sedimentada por um sistema de

produção de saberes que deve alcançar e interpretar as dimensões humanas. Esse sistema é alicerçado por uma confiança da sociedade em formar o homem integral – o cidadão e o profissional – capaz de corresponder às responsabilidades e aos anseios coletivos. Entretanto, a universidade brasileira tem guardado distância e mantido-se à sombra dos principais acontecimentos do país, omitindo-se de suas responsabilidades de educação do homem como indivíduo, de (in)formação da sociedade, e da preocupação em construir um ‘know-how’ nacional. Não se percebe uma grande inquietação da comunidade universitária com uma estrutura social que é pautada por diferenças alarmantes, e cujos menos afortunados se sentem usurpados de seus direitos e excluídos de qualquer oportunidade real de usufruir do sistema (inclusive educacional) que ajudam a manter. O primeiro passo para a universidade reconhecer e retornar à sua legitimidade é ser democratizada, ter o conhecimento transformado em política pública e tornado acessível a quem dele precisar. Seja ampliando as oportunidades de ingresso na comunidade universitária, seja estendendo sua atuação para demandas específicas da sociedade.

Por outro lado, o país não tem autonomia tecnológica e vive uma dependência e(x)terna de conhecimento. A experiência acadêmica tem que ser aproveitada para produzir tecnologia nacional, a fim de que o país consiga crescer e diminuir as desigualdades de renda e de nível social, apesar do olhar exigente e ameaçador dos outros ‘interesses’ (inter)nacionais. Para isso, faz-se necessário investimento em ciência e tecnologia, principalmente em pesquisas que tenham relevância social e possam atender necessidades de melhoria da qualidade de vida da população brasileira. Assim, também é papel fundamental da universidade gerar conhecimento, traduzi-lo em tecnologia para servir à sociedade e ajudar a consolidar uma identidade nacional. Para tal fim deve servir a pesquisa acadêmica brasileira.

Para que isso se torne verdade, é necessário rever os critérios de produtividade da universidade. Lançar na interrogação os critérios que apenas exprimem *quanto, em quanto tempo e a qual custo* se produz – que são critérios de caráter mercantilista, funcional e operacional, e inserir critérios que valorizem *o que, como, para que e para quem* se produz – que são critérios de cunho mais sócio-desenvolvimentista.

Não se pode esquecer que acima dos desenvolvimentos econômico, científico e tecnológico deve estar o homem, e esses devem servir para sustentar o desenvolvimento social. São inegáveis os bens que a ciência trouxe e vem trazendo à humanidade, entretanto,

este esforço só é válido se estiver a serviço de todos, sobrepujando os interesses individuais ou sectários.

Além da Ciência e Tecnologia, as Humanidades (Ciências, Letras e Artes) têm a missão de projetar visões do futuro baseadas no ser humano – que na verdade é o cerne da sociedade – preocupando-se com a civilização, criando pensamento, recuperando a história, promovendo o uso da linguagem e a comunicação, valorizando a expressão cultural e as tradições populares. Todas as áreas de conhecimento juntas, fomentando a curiosidade para levar à descoberta do novo e à preservação do passado, fazendo assim o país crescer.

É evidente que a universidade não carrega sozinha em si a solução dos problemas brasileiros, mas indiscutivelmente o caminho a ser percorrido tem que passar por ela, através de suas atividades – científicas ou não – internas ou abertas à comunidade. É preciso também que ela ajude a reavivar a consciência cívica, a recuperar valores morais, fundamentais, fundadores do homem, válidos em qualquer tempo e lugar, e a reinstalar a solidariedade. Como papel principal, e aí não somente da universidade, mas de todas as instâncias educacionais, impulsionar o reencantamento do homem com o próprio homem.

Resta ainda a esperança de que a universidade, num futuro bem próximo, esteja comprometida com a construção de uma sociedade mais justa, na qual todos os cidadãos possam ter mesa farta, casa digna, trabalho decente, educação completa e saúde perfeita – vida plena. E se a universidade não conseguir fornecer oportunidades a todos os cidadãos, que pelo menos ajude a apontar novos horizontes para a edificação de um mundo mais justo e menos desigual. Para isso, a defesa da universidade – principalmente a pública e gratuita – e o investimento em educação, ciência e tecnologia são essenciais, são a salvaguarda do futuro nacional.

Por tudo isso, lutemos pela sobrevivência da universidade pública!

*Adriane B. de S. Serapião*

# Resumo

O cérebro é considerado um sistema de processamento distribuído, onde a distribuição é suportada por sistemas neurais (agentes) localizados em diferentes regiões cerebrais, que interagem e comunicam-se entre si, trocando informações durante a solução de uma dada tarefa. A solução desta tarefa precisa ser dividida em um conjunto de soluções de sub-tarefas menores, onde para cada agente do sistema a solução de uma ou mais sub-tarefas lhe é atribuída, a fim de que a solução global seja alcançada a partir da integração dessas soluções parciais. A comunicação entre os agentes é importante para o sucesso da solução da tarefa, e no caso do cérebro, apoia-se na conectividade neural entre os agentes.

Grupos de crianças deficientes mentais, portadoras ou não de lesões, – e separados segundo o sexo, o nível escolar e o tipo de lesão – executaram jogos no computador referentes a diferentes tarefas cognitivas relacionadas a: reconhecimento visual de padrões, linguagem e raciocínio-planejamento. O objetivo foi analisar a atividade cerebral das crianças deficientes para verificar se o processo educacional auxilia-as a desenvolver a sua capacidade de aprendizagem e se para alguma tarefa cognitiva elas eram prejudicadas de alguma maneira por algum tipo de lesão.

Para cada criança, o eletroencefalograma (EEG) mediu a atividade cerebral de várias regiões corticais (agentes) durante a execução de um jogo e avaliou a comunicação entre elas através de índices de correlação linear. O comprometimento de cada agente com a solução da tarefa foi calculado pela sua entropia com o sistema como um todo (com os outros agentes), e uma medida da capacidade computacional global do cérebro (atividade cerebral) foi estimada por meio da composição destes índices de todos os agentes. A capacidade computacional global foi a medida utilizada para a avaliação do sucesso dos componentes de cada grupo de estudo na solução das tarefas cognitivas propostas. Uma análise estatística desta medida baseada em regressão múltipla foi utilizada para investigar as diferenças de atividade cerebral em cada grupo de estudo, assim como para as diferenças de desempenho e tempo durante a execução de jogos cognitivos, juntamente com o teste U de Mann-Whitney.

# Abstract

The brain is considered a distributed processing system, where the distribution is supported by neural systems (agents) located at different brain regions which interact and communicate with each other, exchanging information during the solution of a given task. The solution must be divided into a set of smaller sub-task solutions, where the solution of one or more sub-tasks is attributed, so that the whole solution will be achieved from the integration of these partial solutions. The communication among the agents is important for the successful solution of the task, and in the case of the brain, it is based on the neural connectivity among the agents.

Groups of mentally retarded children, holders or not of cerebral lesions, – and classified according to gender, schooling and kind of lesion – played computer games concerning to different cognitive tasks related to: visual pattern recognition, language and reasoning-planning. The purpose was to analyze the cerebral activity of these handicapped children in order to verify whether the educational process helps them to develop their learning ability and whether they were somehow impaired for any cognitive task by any kind of lesion.

For each child, the electroencephalography (EEG) measured the cerebral activity of several cortical regions (agents) during the playing of a game and it evaluated the communication among them through linear correlation rates. The commitment of each agent with the task solution was calculated through its entropy with the system as a whole (with the other agents), and a measure of the global computational capacity of the brain was established as the composition of these rates from all agents. The global computational capacity (cerebral activity) was the measure utilized to evaluate the success of the members of each study group in the solution of the cognitive tasks proposed. A statistical analysis based on multiple regression from that measure was used to investigate differences on the cerebral activity for each study group, as well to investigate differences on the performance and on the playing cognitive games, using likewise the Mann-Whitney U test.

# Índice

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| 1. Introdução .....                                          | 1  |
| 2. Sistemas Inteligentes Distribuídos .....                  | 5  |
| 2.1. Introdução .....                                        | 5  |
| 2.2. O que é um agente? .....                                | 7  |
| 2.3. O que é inteligência? .....                             | 7  |
| 2.4. Habilidades de um agente individual .....               | 9  |
| 2.5. Especialização de agentes e divisão de tarefas .....    | 9  |
| 2.6. Coordenação de atividades e conflito .....              | 10 |
| 2.7. Hierarquia e autoridade .....                           | 11 |
| 2.8. Sistemas de comunicação entre agentes .....             | 12 |
| 2.8.1. <i>Correio</i> .....                                  | 12 |
| 2.8.2. <i>Difusão de mensagens</i> .....                     | 12 |
| 2.8.3. <i>Sem comunicação</i> .....                          | 13 |
| 3. Definição formal de SIDs .....                            | 15 |
| 3.1. Aspectos teóricos .....                                 | 15 |
| 4. O cérebro humano na cognição .....                        | 21 |
| 4.1. Mecanismos de integração da informação no cérebro ..... | 22 |
| 4.2. O sistema visual .....                                  | 25 |
| 4.3. Linguagem .....                                         | 28 |
| 4.3.1. <i>O sistema verbal cortical</i> .....                | 30 |
| 4.3.2. <i>Compreensão de sentenças</i> .....                 | 33 |
| 4.4. Memória .....                                           | 34 |
| 4.4.1. <i>Memórias declarativa e não-declarativa</i> .....   | 35 |
| 4.4.2. <i>Memórias prospectiva e retrospectiva</i> .....     | 37 |
| 4.4.3. <i>Memória de trabalho</i> .....                      | 39 |

|                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------|-----|
| 4.5. Planejamento .....                                       | 41  |
| 4.6. Funções especializadas do córtex cerebral.....           | 41  |
| 4.7. O cérebro como um sistema distribuído .....              | 42  |
| 5. Metodologia.....                                           | 45  |
| 5.1. Introdução .....                                         | 45  |
| 5.2. Grupos de estudo .....                                   | 46  |
| 5.2.1. Grupo 1: sexo.....                                     | 47  |
| 5.2.2. Grupo 2: classe escolar.....                           | 47  |
| 5.2.3. Grupo 3: lesão.....                                    | 48  |
| 5.3. Jogos e eventos relacionados.....                        | 50  |
| 5.3.1. Rotação de números .....                               | 51  |
| 5.3.2. Rotação de letras.....                                 | 52  |
| 5.3.3. Rotação da figura humana.....                          | 54  |
| 5.3.4. Charada de profissões .....                            | 54  |
| 5.3.5. Charada de instrumentos.....                           | 56  |
| 5.3.6. Quebra-cabeça.....                                     | 57  |
| 5.4. Aquisição do EEG .....                                   | 58  |
| 5.5. Colocação dos eletrodos.....                             | 58  |
| 5.6. Análise do EEG .....                                     | 59  |
| 6. Análise estatística .....                                  | 69  |
| 6.1. Fatores investigados.....                                | 69  |
| 6.2. Resultados da análise estatística .....                  | 71  |
| 6.2.1. Análise das idades .....                               | 71  |
| 6.2.2. Análise estatística do grupo por sexo .....            | 73  |
| 6.2.3. Análise de regressão no grupo por classe escolar ..... | 75  |
| 6.2.4. Análise de regressão no grupo por lesão.....           | 89  |
| 6.3. Discussão.....                                           | 99  |
| 6.3.1. Sexo.....                                              | 99  |
| 6.3.2. Classe escolar .....                                   | 101 |
| 6.3.3. Lesão.....                                             | 103 |
| 6.3.4. Metodologia .....                                      | 106 |

|                                                       |     |
|-------------------------------------------------------|-----|
| 7. Considerações finais.....                          | 109 |
| 7.1. Conclusões .....                                 | 109 |
| 7.2. Contribuições metodológicas deste trabalho ..... | 110 |
| 7.3. Sugestões de trabalhos futuros.....              | 111 |

# Lista de Figuras

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 4.1 – Processamento léxico e semântico.....                                           | 31 |
| Figura 4.2 – Organização da memória de trabalho .....                                        | 39 |
| Figura 4.3 – Áreas corticais especializadas .....                                            | 42 |
| Figura 5.1 – Aquisição do EEG durante a realização de uma atividade.....                     | 46 |
| Figura 5.2 – Jogo de rotação de números .....                                                | 52 |
| Figura 5.3 – Jogo de rotação de letras .....                                                 | 53 |
| Figura 5.4 – Jogo de rotação da figura humana .....                                          | 53 |
| Figura 5.5 – Jogo de charada de profissões .....                                             | 55 |
| Figura 5.6 – Jogo de charada de instrumentos .....                                           | 56 |
| Figura 5.7 – Jogo de quebra-cabeça .....                                                     | 57 |
| Figura 5.8 – Colocação do eletrodos no Sistema 10-20 .....                                   | 59 |
| Figura 5.9 – Exemplo de um EEG com o registro dos eventos .....                              | 60 |
| Figura 5.10 – Promediação dos eventos .....                                                  | 61 |
| Figura 5.11 – Diagrama de processamento do EEG da criança em cada jogo .....                 | 61 |
| Figura 5.12 – Diagrama de dispersão entre duas derivações $d_1$ e $d_2$ .....                | 63 |
| Figura 5.13 – Diagrama de análise das derivações.....                                        | 65 |
| Figura 5.14 – Capacidade computacional global das crianças em cada jogo.....                 | 66 |
| Figura 6.1 – Gráfico da distribuição das médias das idades em cada classe para cada jogo. 72 |    |
| Figura 6.2 – Gráfico do desempenho de cada sexo em cada jogo .....                           | 74 |
| Figura 6.3 – Gráfico do tempo de cada sexo em cada jogo .....                                | 75 |
| Figura 6.4 – Gráficos do desempenho e do tempo para cada classe em cada jogo.....            | 81 |
| Figura 6.5 – Estatística dos eventos do jogo de rotação de números no grupo por classe ....  | 83 |
| Figura 6.6 – Estatística dos eventos do jogo de rotação de letras no grupo por classe .....  | 84 |

|                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 6.7 – Estatística dos eventos do jogo de rotação da figura humana no grupo por classe.....                              | 85 |
| Figura 6.8 – Estatística dos eventos do jogo de charada de profissões no grupo por classe..                                    | 86 |
| Figura 6.9 – Estatística dos eventos do jogo de charada de instrumentos no grupo por classe .....                              | 87 |
| Figura 6.10 – Estatística dos eventos do jogo de quebra-cabeça no grupo por classe.....                                        | 88 |
| Figura 6.11 – Gráficos das médias e dos valores de beta do desempenho e do tempo para lesões significativas em cada jogo ..... | 91 |
| Figura 6.12 – Estatística dos eventos do jogo de rotação de números no grupo por lesão ....                                    | 93 |
| Figura 6.13 – Estatística dos eventos do jogo de rotação de letras no grupo por lesão .....                                    | 94 |
| Figura 6.14 – Estatística dos eventos do jogo de rotação da figura humana no grupo por lesão .....                             | 95 |
| Figura 6.15 – Estatística dos eventos do jogo de charada de profissões no grupo por lesão .                                    | 96 |
| Figura 6.16 – Estatística dos eventos do jogo de charada de instrumentos no grupo por lesão .....                              | 97 |
| Figura 6.17 – Estatística dos eventos do jogo de quebra-cabeça no grupo por lesão .....                                        | 98 |

# Lista de Tabelas

|                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 5.1 – Distribuição das crianças por sexo em cada jogo .....                                                                | 47 |
| Tabela 5.2 – Separação das crianças por classe escolar em cada jogo.....                                                          | 48 |
| Tabela 5.3 – Separação das crianças por tipo de lesão em cada jogo .....                                                          | 49 |
| Tabela 5.4 – Eventos analisados nos jogos rotação.....                                                                            | 51 |
| Tabela 5.5 – Eventos analisados nos jogos de charada .....                                                                        | 55 |
| Tabela 5.6 – Eventos analisados no jogo de quebra-cabeça .....                                                                    | 58 |
| Tabela 6.1 – Distribuição das médias de idade por sexo e por classe .....                                                         | 73 |
| Tabela 6.2 - Distribuição das lesões nas classes para as crianças que jogaram o jogo de rotação de números .....                  | 76 |
| Tabela 6.3 - Distribuição das lesões nas classes para as crianças que jogaram o jogo de rotação de letras .....                   | 76 |
| Tabela 6.4 - Distribuição das lesões nas classes para as crianças que jogaram o jogo de rotação de rotação da figura humana ..... | 77 |
| Tabela 6.5 - Distribuição das lesões nas classes para as crianças que jogaram o jogo de charada de profissões .....               | 77 |
| Tabela 6.6 - Distribuição das lesões nas classes para as crianças que jogaram o jogo de charada de instrumentos .....             | 78 |
| Tabela 6.7 - Distribuição das lesões nas classes para as crianças que jogaram o jogo de rotação de números .....                  | 78 |

# 1. Introdução

*“O essencial não se ensina. Ele se revela a cada pessoa no seu íntimo como um anúncio que murmura a esperança.”  
(Marcel Legaut)*

O tema central da Teoria de Sistemas Inteligentes Distribuídos é o estudo de comunidades que compreendem coletâneas de agentes coordenados e especializados que interagem entre si, a fim de solucionar um problema ou realizar uma tarefa. O problema (ou tarefa) é decomposto em partes menores, de modo que um ou mais agentes é responsável pela execução de uma das partes para a qual é especializado, e a solução global é dada pela integração das respostas individuais dos agentes. Agentes se especializam na coleta de dados (sensores), solução de problemas (especialistas), comunicação de dados (canais), atuam sobre o ambiente ao seu redor (efetores), etc. A inteligência destes sistemas é abordada em termos de uma sociedade de especialistas que se comunicam (Chandrasekaran, 1981; Hewitt & Inman, 1991; Gasser, 1991).

Várias regiões corticais do cérebro, bem como outras regiões também, são extremamente especializadas em realizar determinadas funções, tais como percepção sensorial, processamento de linguagem, reconhecimento de faces, controle de movimentos, processamento visual, etc. Entretanto, estas regiões não atuam isoladamente na realização de suas funções. Existe uma grande integração e cooperação entre as áreas cerebrais, que trocam e enviam sinais entre si para produzir respostas eficientes para uma dada função, por meio da coativação ou ativação de outras áreas. Assim, apesar da especificidade de uma certa área em um tipo de função ou atividade, muitas outras regiões atuam juntas a ela, com diversos graus de integração, fornecendo as informações necessárias para o bom desempenho da atividade.

O cérebro humano é considerado como o mais complexo sistema inteligente distribuído natural existente (Minsky, 1985; Edelman, 1987; Dennet, 1991), pois a distribuição e a especialização de regiões corticais cerebrais permitem que a integração destas regiões produzam respostas eficientes e inteligentes na realização de atividades diárias, sejam elas repetitivas, ou que exijam raciocínio, ou, simplesmente, de manutenção de equilíbrio com o ambiente. O raciocínio (programação) para a produção de respostas eficientes pretende construir modelos em que a estrutura do controle do sistema emerge (é aprendida) como um padrão de mensagens passadas entre os agentes que estão sendo modelados, de modo que o raciocínio seja uma atividade cooperativa entre os conjuntos de especialistas que fornecem a solução de um dado problema.

Para investigar as atividades cerebrais relacionadas a tarefas cognitivas como reconhecimento visual de padrões (rotação de imagens), compreensão de linguagem e raciocínio-planejamento foram projetados seis jogos em computador que fornecem estímulos apropriados para o estudo das categorias cognitivas pesquisadas. A estes jogos estão associados eventos de interesse específicos para a análise de cada tipo de tarefa cognitiva, como por exemplo, a apresentação de uma imagem, o início e o término de um som, e o acerto ou o erro em uma tomada de decisão.

Os grupos de estudo que realizaram essas tarefas cognitivas foram compostos por crianças deficientes mentais dos dois sexos em diferentes idades, diferentes níveis de escolaridade e diferentes tipos de lesões cerebrais. A escolha desta população deve-se ao fato de que compreender que o cérebro lesionado sofre alterações em várias de suas funções e verificar se a plasticidade e a versatilidade do cérebro estão em uso nas crianças deficientes para associar diferentes grupos neuronais em compensação às regiões lesionadas para adaptar o seu comportamento a distintas condições impostas pelo ambiente é o passo inicial na direção de fornecer assistência adequada ao deficiente cerebral.

Deste modo, os pontos de interesse deste trabalho são investigar a atividade cerebral de crianças deficientes mentais em diferentes estágios de aprendizagem e a atividade cerebral relacionada às diferentes lesões cerebrais dessas crianças. Pretende-se ainda estudar o grau de dificuldade que as crianças apresentam na realização das tarefas cognitivas propostas, seja esta dificuldade decorrente do seu repertório de conhecimento (escolaridade) ou do dano cerebral

associado. Além disso, deseja-se verificar se há diferença na eficiência das crianças nas tarefas propostas quando comparadas pelo sexo.

No desenvolvimento de tarefas cognitivas, quando diversas áreas corticais trabalham sincronizadamente, estas áreas estão dedicadas durante um certo período de tempo a resolver parte da tarefa ou estão trabalhando para manter a comunicação entre as áreas responsáveis para a solução de parte da tarefa, a fim de se chegar à solução global. Isto quer dizer que as áreas em sincronismo, de alguma maneira, mantêm uma relação temporal e dependente do tipo de tarefa para a qual é requisitada. Assim, o cérebro pode ser visto como um conjunto de agentes (áreas) que trabalham juntos temporal e coordenadamente para tentar atingir uma solução satisfatória para uma tarefa. O EEG é uma ferramenta eficaz para medir esta cooperação e este sincronismo no tempo, pois permite quantificar quais áreas estão ativas durante um determinado espaço de tempo, já que toma medidas simultaneamente em todas as regiões do cérebro, possibilitando o monitoramento e a identificação das regiões que participam desta função

O comprometimento de cada região cerebral na solução de uma tarefa pode ser calculado através de índices de correlação que utilizam a atividade cerebral registrada em cada região pelo EEG. A capacidade de cada região em trocar informações para a obtenção da solução da tarefa e o esforço global despendido na execução da tarefa pelo cérebro podem ser avaliados através de índices entrópicos (Tononi, Edelman & Sporns, 1998; Serapião, 1999). O índice entrópico correspondente à atividade cerebral total da criança durante a resolução de um jogo no computador, chamado de *capacidade computacional global*, é usado para cada evento do referido jogo como medida para a análise estatística dos grupos estudados, a fim de investigar os já mencionados pontos de interesse desta pesquisa.

Embora o modelo de sistemas distribuídos desenvolvido e aplicado nesta pesquisa permita a análise individual de cada agente, assim como a análise de suas interrelações, o presente trabalho limitar-se-á simplesmente a estudar a capacidade computacional global, cujo significado é medir da atividade cerebral como um todo durante a realização da tarefa cognitiva, independentemente de quais sejam os agentes (ou regiões corticais) recrutados para resolver a tarefa. Desta forma, para se buscar diferenciar a atividade cerebral dos vários sujeitos envolvidos nos grupos de estudo separados por classe escolar e separados por lesão, utilizou-se a análise estatística por regressão múltipla. A variável de interesse neste caso foi o

valor do beta padronizado da reta de regressão. Esta mesma análise de regressão múltipla foi aplicada ao estudo da eficiência dos componentes de cada grupo. A eficiência caracterizou-se por avaliar a taxa de erros (desempenho) cometido pelas crianças na realização do jogo construído para uma tarefa cognitiva em questão, e do tempo que elas levaram para executar tal jogo. Na investigação referente às diferenças de desempenho e tempo de execução dos jogos entre os sexos no desenvolvimento das tarefas cognitivas, empregou-se o teste U de Mann-Whitney.

O presente trabalho está estruturado da seguinte forma. No capítulo 2, os conceitos fundamentais da Teoria de Sistemas Inteligentes Distribuídos são abordados de maneira genérica, com o propósito de mostrar, sucintamente, as principais características dos sistemas distribuídos. O capítulo 3 formaliza matematicamente aspectos da Teoria de Sistemas Inteligentes Distribuídos para que o cérebro possa ser tratado como tal nos capítulos subsequentes.

A fim de salientar que existem diferenças na ativação cortical durante a realização dos muitos tipos de tarefas cognitivas, o capítulo 4 fornece dados científicos indicando que existe mesmo uma distribuição cortical de funções espacialmente localizadas, dependente das funções cognitivas. Assim, fundamenta-se então neste capítulo o cérebro como um sistema distribuído.

O capítulo 5 apresenta os grupos de estudo, os seis jogos utilizados para as investigações cognitivas e a metodologia desenvolvida para o processamento do eletroencefalograma: análise por complexidade. Uma análise estatística dos fatores relevantes para a compreensão da capacidade da criança deficiente na solução das tarefas e do grau de dificuldade apresentado por elas em cada atividade cognitiva é mostrada no capítulo 6, baseando-se na formação dos três grupos de estudo: um dividido pelo sexo (masculino e feminino), o outro conforme a classe escolar (grau de aprendizagem), e o último conforme o tipo de lesão cerebral.

Por fim, o capítulo 7 destaca as principais conclusões, contribuições deste trabalho, e sugere novas linhas de investigações para trabalhos futuros.

## 2. Sistemas Inteligentes Distribuídos

*“Aprendemos a voar com os pássaros,  
aprendemos a nadar com os peixes, mas  
não aprendemos a conviver com os outros.”  
(Martin Luther King)*

Os sistemas distribuídos se baseiam em muitas características das organizações humanas, tais como o governo, corporações e empresas, e a própria sociedade (Chandrasekaran, 1981; Gasser, 1991; Kornfield & Hewitt, 1981). Outra fonte de analogia é o cérebro humano (Minsky, 1985). Neste capítulo discute-se brevemente vários pontos que formam a Teoria de Sistemas Inteligentes Distribuídos.

### 2.1. Introdução

Um Sistema Inteligente Distribuído (SID) é definido como um conjunto de agentes (inteligentes ou não) que interagem para resolver um problema em um domínio de conhecimento definido (Chandrasekaran, 1981; Davis & Smith, 1983; Durfee & Montgomery, 1991; Hewitt, 1981; Hewitt & Inman, 1991; Kornfield & Hewitt, 1981; Lesser & Corkill, 1981; Lesser, 1991). A solução deste problema deve ser dividida em um conjunto de soluções de sub-tarefas (problemas menores), e cada agente do SID é designado para resolver uma destas sub-tarefas. Os agentes são constituídos de modo que tomem uma decisão que permita-lhes realizar seus objetivos em um mundo povoado por outros agentes inteligentes com seus próprios objetivos. Uma mesma sub-tarefa pode ser atribuída a um ou mais agentes do sistema. As sub-tarefas podem ser de qualquer tipo, como por exemplo, seguindo uma analogia com o sistema nervoso, atividades de base de dados (memória), fornecimento de

microteoria (raciocínio), controle de dispositivo eferente (controle muscular), aquisição de dados (atividade sensorial), etc. Considerando-se que as sub-tarefas não requerem uma solução inteligente, esta propriedade tem origem principalmente através do modo pelo qual os agentes interagem para resolver o problema como um todo.

Basicamente, ainda seguindo a analogia com o sistema nervoso, os agentes (neurônios) solicitam informações de outros agentes e fornecem informações para outros agentes. O fluxo de informação pode ser especificado tanto por meio de um sistema de *correio* (axônio), quando pelo menos um dos agentes (o neurônio pré-sináptico) conhece precisamente o endereço do outro (neurônio pós-sináptico); quanto por meio de um sistema de *difusão de mensagens* (neuromoduladores, hormônios, etc.), quando os agentes selecionam as mensagens em que eles estão interessados, baseados no conteúdo delas. Estas mensagens são distribuídas entre os agentes por meio de sistemas de transportes não muito específicos (e.g. a corrente sanguínea). Está implícito em ambas as estratégias que a comunicação é suportada por um conjunto de relações específicas ou gerais. Em ambos os casos, assume-se algum tipo de *conexionismo*.

Os conceitos de conflito, consenso e negociação são pontos centrais para a noção de utilização de um conjunto de agentes para obter uma solução inteligente para um dado problema. Como os agentes são considerados independentes na solução das tarefas para as quais eles são especializados, e que diferentes agentes podem ser designados para realizar uma mesma tarefa, podem existir informações conflitantes (inconsistentes) no sistema. O *consenso* pode ser usado como uma via para resolver *conflito* se as partes oponentes da informação mostrarem diferentes graus de confiança (autenticidade) e se os agentes que as fornecerem possuírem graus fortes de relevância, pois nesta condição o consenso poderia ser calculado dependendo da confiança da mensagem e da relevância do agente. Diferentemente, a *negociação* pode ser usada para mudar a confiança da mensagem e/ou a relevância do agente, na tentativa de se obter uma solução consensual (Davis & Smith, 1983). A *hierarquia* é um outro processo que pode ser usado na solução do conflito e negociação (Durfée & Montgomery, 1991). Entretanto, a hierarquia deve ser mantida em limites, caso contrário, a inteligência do sistema é reduzida para aquela (se alguma) do agente de mais alto poder. A *sincronização* da liberação da mensagem é também uma estratégia útil para manter o conflito

em um mínimo, pois ela evita que os diferentes agentes que processam a informação de uma mesma variável coletem-na em tempos diferentes.

Cada agente possui uma capacidade computacional, isto é, uma medida de quanto ele está apto para realizar uma tarefa, ou melhor, quanto dos seus recursos está sendo requerido na execução de uma tarefa. Esta capacidade computacional está intimamente ligada com a relação entre o tipo da tarefa (e o conteúdo) e a especialização do agente. A capacidade computacional do agente deve ser uma função da entropia deste agente com o sistema como um todo.

## 2.2. O que é um agente?

Antes de tudo, é útil se fazer uma definição do que seja um agente. Embora não se encontre na literatura uma única e universal definição do termo agente, a definição de Ferber (Sichman et al., 1990) é bem geral e apropriada:

*“um agente é uma entidade real ou virtual que está imersa em um ambiente onde ela pode tomar algumas ações; que é capaz de perceber e representar parcialmente este ambiente; que é capaz de comunicar-se com outros agentes; e que possui um comportamento autônomo que é uma consequência de suas observações, de seus conhecimentos e de suas interações com os outros agentes”.*

## 2.3. O que é inteligência?

Uma questão básica que vem sendo discutida exaustivamente pela comunidade científica internacional é o conceito de inteligência. Quando se diz que algum sistema, seja ele natural ou artificial, é inteligente, muitas interpretações podem ser dadas a este conceito.

A inteligência pode ser considerada relacionada a vários aspectos, como a manipulação de números, palavras ou outros símbolos, ações práticas no mundo, criatividade, invenção, formação de conceito, raciocínio, bem como em fenômenos internos como desejo, aprendizagem, memória, emoção, percepção, sabedoria, julgamento, etc. A partir destes pontos de vista pode-se reconhecer inteligência como uma qualidade manipulativa, verbal,

filosófica, imaginativa, adaptativa, etc., como na Teoria das Inteligências Múltiplas (Gardner, 1998).

Concorda-se que uma entidade inteligente natural ou artificial é um sistema capaz de encontrar eficientemente novas soluções para um novo problema. O fato de ter um problema requer ter objetivos e criar estratégias (planos, modelos) para usar eficientemente as ferramentas disponíveis para atingir os objetivos desejados. Ter objetivos significa ter motivação para fazer (ou obter) alguma coisa. Conhecer sobre falhas na obtenção dos objetivos demanda ferramentas para comparar o desempenho e os objetivos; a comparação, por sua vez, requer memória para armazenar os dados a serem usados no processo de avaliação. Ser eficiente implica em fazer um bom trabalho sob restrições de tempo e de custo; a eficácia sendo calculada pelo sucesso em sobreviver. A eficiência de tempo e custo é mais comumente atingida se novas soluções puderem ser construídas pela reorganização e/ou generalização de antigos modelos, da re-seleção de ferramentas e capacidades, etc. Mas ter problemas está necessariamente acima de tudo em ter inquietação para sentir a necessidade de explorar novos mundos mesmo se a vida não estiver longe do perigo. Os problemas são geralmente mais originados da exploração ativa que da adaptação a um ambiente em mudança lenta (baixa entropia).

A inteligência não é, desta forma, nenhum conceito simples abstrato ou uma qualidade inerente ou implementada por projetistas criativos. Ao contrário, ela é uma propriedade muito real de certos sistemas que aproveitam algum tipo de estrutura definida. Estes sistemas devem ser compostos por sub-sistemas ou agentes que têm alguma especialização na solução de problemas definidos, pois eles têm ferramentas específicas para agir. Por exemplo, alguns agentes são exigidos para definir objetivos, outros para definir planos e estratégias, outros para colocar estes planos e estratégias em ação, etc. Neste tipo de sistema, a inteligência começa a ser uma função não apenas dos tipos de agentes (ou ferramentas) que compõem o sistema, mas também de como e com que propósito estas ferramentas são usadas. A inteligência pode tornar-se dependente do comportamento dos agentes de propósito geral que estão em mudança da organização das transações entre outros agentes, mas acima de tudo, a inteligência emerge como uma função de quão versáteis são as relações partilhadas pelos diferentes agentes, de quão plásticos podem ser os comprometimentos das ações entre estes agentes.

## 2.4. Habilidades de um agente individual

Para um agente individual, espera-se as seguintes habilidades, segundo Rosa & Martins Jr. (1997):

1. *argumentação sobre os outros agentes*: ou seja, a habilidade do agente em raciocinar sobre as ações e planos de outros agentes a fim de prognosticar os comportamentos deles, tanto como seu próprio comportamento;
2. *avaliação de uma situação distribuída*: isto é, a habilidade do agente em estimar seu meio, a fim de atualizar seu modelo do mundo ao redor e seus modelos de outros agentes.

Um ponto crucial na argumentação é o relacionamento entre conhecimento e ação. O conhecimento é necessário para representar ações, e novo conhecimento é obtido como resultado de ações executadas. Muitos modelos de conhecimento e confiança estão baseados em modelos de mundos possíveis.

Um agente em um sistema distribuído deve ter, em um momento, uma ampla variedade de escolha sobre o que acreditar, sobre que conhecimento pode ser considerado como relevante, e que ações seguir. Qual o problema e quando o agente o está tratando, pode ser visto como uma questão básica dos SIDs. Para resolver esse problema cada agente individual (ou apenas um agente, se o controle é centralizado) deve avaliar a situação distribuída na qual envolve muitos agentes. Geralmente a avaliação da situação envolve obter, organizar e abstrair informações sobre o meio, as quais devem também correlacionar-se com as expectativas do agente ou servir para criar novas expectativas.

## 2.5. Especialização de agentes e divisão de tarefas

O raciocínio em um sistema inteligente distribuído é uma atividade cooperativa entre um conjunto de especialistas descentralizados e frouxamente conectados. A descentralização significa que tanto o controle quanto a informação estão distribuídos logicamente e, muitas vezes, geograficamente. Não existe nenhum controle global e nenhum armazenamento global da informação. Um sistema frouxamente conectado quer dizer que os agentes individualmente gastam a maior parte do seu tempo em computação do que em comunicação.

A distribuição de tarefas é um processo interativo, um debate que ocorre entre um agente que tem uma tarefa a ser cumprida e um grupo de agentes que podem estar aptos a executar a tarefa. Muitos agentes em sistemas distribuídos podem estar envolvidos na solução de uma mesma tarefa, cada um deles produzindo soluções similares, mas não iguais, pois eles podem receber informações de fontes diferentes e compartilhar algumas outras. Esta redundância faz com que os SIDs tenham uma propriedade particular muito interessante, ou seja, alguns agentes do sistema podem ser perdidos sem afetar muito o desempenho do sistema.

A atividade assíncrona capacita cada agente participante a operar tão rapidamente quanto possível, segundo as suas circunstâncias locais (Hewitt & Inman, 1991), mas favorece o conflito, pois novas informações podem gerar novas incumbências que são conflitantes com incumbências anteriores que não puderam ainda ser atualizadas com as circunstâncias locais. Os agentes possuem uma autoridade local que permite a eles reagir imediatamente às circunstâncias em mudança (Hewitt, 1977; Hewitt & Inman, 1991). Além disso, eles podem ter que consultar (ou ser consultados por) agentes decisores mais centrais quando surge o conflito, como em um sistema hierárquico, por exemplo. O sincronismo força os agentes a receber e a transmitir mensagens em épocas mais ou menos definidas para reduzir qualquer possível desacordo em um ambiente sob mudança, ou para manter-se inteirados de eventos rítmicos, reduzindo assim a possibilidade de conflito.

## **2.6. Coordenação de atividades e conflito**

Existem várias situações em que as especificações das atribuições dos vários agentes de um sistema distribuído podem gerar conflito. Pode existir conflito sobre recursos utilizados ou disponíveis; um agente pode por desconhecimento desfazer os resultados de outros; as mesmas ações podem ser realizadas redundantemente por vários agentes, etc. Desta forma, um conjunto de agentes pode falhar ao agir como uma equipe bem coordenada (Davis & Smith, 1983). Este problema é causado principalmente devido à dificuldade fundamental em se obter um comportamento coordenado, quando cada agente tem apenas o conhecimento local, limitado, do problema a ser resolvido.

A coordenação e a organização do conhecimento poderiam ser garantidas se todo agente conhecesse tudo, ou melhor, tivesse um conhecimento completo de tudo o que acontece no sistema, o que é impraticável. De outro lado, o conhecimento incompleto leva a inconsistência, incerteza, conflito, indecisão, etc.

Uma coordenação central, como em um sistema hierárquico, certamente reduz a capacidade computacional do sistema distribuído proporcionalmente à capacidade do coordenador principal. *Auto-confiança* é a capacidade do agente em agir usando os recursos locais disponíveis. *Interdependência* é a capacidade do agente em obter recursos de outras fontes para poder melhor atuar (Hewitt & Inman, 1991). O equilíbrio entre auto-confiança e interdependência é a questão-chave de qualquer SID para manter o conflito em limites aceitáveis e para permitir o surgimento de uma atividade coerente em uma equipe de agentes.

A comunicação entre os diversos agentes é muito importante para que eles possam combinar seus esforços de maneira efetiva. Além disso, a comunicação de objetivos (compartilhamento de tarefas ou compartilhamento de resultados) é freqüentemente necessária para se obter a cooperação. A cooperação, por sua vez, pode ser vista como um caso especial de coordenação entre agentes não antagonistas.

A cooperação total entre agentes possibilita a resolução do problema global, mas freqüentemente paga-se um preço caro gerado pelos custos de alta comunicação entre os agentes.

## 2.7. Hierarquia e autoridade

A hierarquia é um processo que pode ser bastante útil na resolução de conflito. Ao surgir um conflito, agentes de mais alta instância no sistema utilizam critérios próprios para determinar o fim do conflito, ou para responder a consultas de agentes de mais baixa hierarquia.

Por outro lado, decompor um sistema em uma organização hierárquica é análogo a reduzir a abstração (especialização) de que resultados serão atingidos. Além disto, a hierarquia determina como os agentes devem atuar, determinando comportamento, e enfatiza algumas relações entre alguns agentes.

Um outro recurso que pode ser utilizado quando o conflito é causado pelo conteúdo das mensagens que um agente recebe é a *autoridade*. Autoridade é a relação que indica qual ênfase deve ser dada a mensagens de diferentes fontes, ou possivelmente, diferentes mensagens da mesma fonte. Se uma mensagem tem uma autoridade, ela deve ter um maior impacto nas atividades do agente.

## 2.8. Sistemas de comunicação entre agentes

Os agentes, para conseguirem resolver o problema como um todo, mantendo um nível alto de conhecimento (implícito ou geral) no sistema, podem trocar dinamicamente mensagens entre si. Esta troca de mensagens, em um ou vários níveis de distribuição ou especialização, permite sintetizar resultados parciais a serem disponibilizados como informação para outros agentes no desempenho da sua função.

Dois tipos de sistemas de comunicação entre agentes são considerados: *correio* e *difusão de mensagens*. Um outro caso é a não existência da comunicação entre os agentes.

### 2.8.1. Correio

O sistema de correio é definido quando um agente que quer remeter uma mensagem conhece perfeitamente o endereço do(s) agente(s) para o(s) qual(quais) a mensagem deve ser liberada ou entregue.

### 2.8.2. Difusão de mensagens

Um sistema de difusão é aquele em que um agente seleciona as mensagens transmitidas por outros agentes, de acordo com o seu interesse nos conteúdos delas.

Em uma segunda instância, a difusão pode ser usada quando um agente deve comunicar-se com vários outros e quer reduzir a quantidade de canais de comunicação específicos para os outros agentes. Desta forma, um agente difunde sua mensagem de modo que ela seja acessível a quem possa interessar.

### **2.8.3. Sem comunicação**

Neste caso, o agente tira suas conclusões e toma suas ações sem consultar os outros agentes, baseado na sua própria percepção do mundo.

## 3. Definição formal de SIDs

*“O cérebro é mais amplo do que o céu.”  
(Emily Dickinson)*

Neste capítulo, formaliza-se aspectos gerais da Teoria de Sistemas Inteligentes Distribuídos, a fim de fornecer subsídios para compreender e modelar o cérebro como tal, conforme será apresentado nos capítulos subseqüentes.

### 3.1. Aspectos teóricos

Seja  $N$  um sistema inteligente distribuído definido como (Serapião, 1999):

- a) o conjunto  $A$  de  $n$  agentes  $a_i$ , onde cada um deles possui um endereço lógico ou físico  $D_i$ , e é especializado no processamento de um conjunto de tarefas  $T^i$ ,  $t_k \in T$ . Assim:

$$a_i = \{T^i \subset T, D_i\} \quad (3.1)$$

- b) o conjunto  $I$  de canais de informação (correio ou difusão) que suporta uma troca de mensagens entre os elementos de  $A$ . Cada canal de informação  $I_m \in I$  é especificado como:

- um conjunto  $D_{i,j}$  de endereços físicos ou lógicos que se refere aos agentes  $a_j \in A_j$  (sub-conjunto de agentes transmissores) que produzem (enviam) mensagens a serem liberadas para (ou recebidas por)  $a_i \in A_i$  ( $A_i$  é um sub-conjunto de agentes receptores);
- um conjunto de funções  $\Delta_{i,j}$  que determinam a possibilidade  $\rho(a_i, a_j)$ , com  $0 \leq \rho \leq 1$ , da transmissão-recepção das mensagens entre dois agentes através do correspondente canal;

- um conjunto de mensagens  $M$  a serem transmitidas e recebidas através do canal de um dado sistema de transmissão de mensagens. Assim:

$$I_{i,j} = \{D_{i,j}, M_k, \Delta_{i,j}\} \quad (3.2)$$

Seja  $c_i$  a quantidade de recursos de comunicação disponível para o agente  $a_i$ , e  $m_i$  a quantidade média de informação a ser compartilhada entre o agente  $a_i$  e os demais agentes  $a_j \in N$ . Assim, se:

$$c_i \geq m_i \quad (3.3)$$

então, a possibilidade  $\rho(a_i, a_j)$  de que  $a_i$  possa enviar mensagens  $M_k$  para  $a_j \in N$  pode ser aceita como:

$$\rho(a_i, a_j) = 0,5, \forall a_j \in N \quad (3.4)$$

pois nenhum limite de recursos é imposto sobre o canal de comunicação que o agente  $a_i$  utiliza para trocar informações com os outros agentes  $a_j$ . Entretanto, se  $a_i$  e  $a_j$  frequentemente (ou não) aliam-se na solução de uma dada tarefa  $T$ , então

$$\rho(a_i, a_j) \rightarrow 1 \text{ (ou } 0) \quad (3.5)$$

e considera-se que  $N$  contém agentes especializados (ou não) ou que é um sistema inteligente distribuído especializado.

Se os recursos de comunicação são limitados, ou seja, a capacidade do canal  $c_i$  é menor que quantidade média  $m_i$  de informação a ser trocada durante a execução de uma tarefa  $T'$ , isto é,

$$m_i > c_i \quad (3.6)$$

então o agente  $a_i$  tem que distribuir os recursos de comunicação que ele possui com os outros agentes do sistema, a fim de poder trocar eficientemente as mensagens necessárias para a solução da tarefa  $T'$  para a qual os agentes são recrutados. Esta otimização pode ser obtida se:

$$\rho(a_i, a_j) \rightarrow 1, \forall a_j \in N^T, \text{ e} \quad (3.7a)$$

$$\rho(a_i, a_j) \rightarrow 0, \forall a_m \in N, \quad (3.7b)$$

onde  $N^T$  é o conjunto de agentes  $a_j \in N$  que estão envolvidos com sucesso na solução de uma dada tarefa  $T'$ . Isto quer dizer que  $a_i$  aloca a maior parte dos seus recursos de comunicação para compartilhar informação com aqueles agentes  $a_j$  que são especializados na solução da tarefa  $T'$ .

A capacidade de comunicação  $c_i$  de um canal de informação  $I_i \in I$  entre dois agentes  $a_i$  e  $a_j$  é medida pela entropia relacional  $h(I_{i,j})$  (*entropia de Shannon*, em [Shannon, 1974]) do conjunto de mensagens  $M_k \in M$  que o canal pode transmitir e  $h(I_{i,j})$  é considerada dependente da variabilidade de  $M_k$ , assim:

$$h(I_{i,j}) = -\rho(a_i, a_j) \times \log_2(\rho(a_i, a_j)) - \bar{\rho}(a_i, a_j) \times \log_2(\bar{\rho}(a_i, a_j)) \quad (3.8)$$

onde:

$$\bar{\rho}(a_i, a_j) = 1 - \rho(a_i, a_j)$$

Se

$$\rho(a_i, a_j) \rightarrow 0 \therefore h(I_{i,j}) \rightarrow 0 \quad (3.9)$$

então nenhum recurso de comunicação está disponibilizado para execução de uma tarefa ou o agente  $a_j$  não participa da solução da tarefa.

Se

$$\rho(a_i, a_j) \rightarrow 1 \therefore h(I_{i,j}) \rightarrow 0 \quad (3.10)$$

a maioria dos recursos de comunicação está disponibilizada para a realização da tarefa ou os dois agentes  $a_i$  e  $a_j$  estão bastante aptos para a tarefa e sincronizados durante a solução desta tarefa.

Se

$$\rho(a_i, a_j) \rightarrow 0,5 \therefore h(I_{i,j}) \rightarrow 1 \quad (3.11)$$

isto significa que quando aproximadamente metade do tempo (ou metade dos recursos) o canal estiver ocupado, a capacidade de comunicação do canal (ou entropia) tende a ser máxima.

A entropia relacional média ( $hm(I_i)$ ) é calculada como:

$$hm(I_i) = -\rho_m(I_i) \times \log_2(\rho_m(I_i)) - \bar{\rho}_m(I_i) \times \log_2(\bar{\rho}_m(I_i)) \quad (3.12)$$

onde:

$$\rho_m(I_i) = \frac{\sum_{j=1}^n \rho(a_i, a_j)}{n} \quad \text{e} \quad \bar{\rho}_m(I_i) = \frac{\sum_{j=1}^n \bar{\rho}(a_i, a_j)}{n}$$

ou seja,  $hm(I_i)$  é uma função da possibilidade média  $\rho_m(I_i)$  de  $a_i$  comunicar-se com os outros agentes  $a_j \in N$ .

A entropia de comunicação<sup>1</sup> (capacidade computacional)  $hc_i$  estabelecida em um dado momento por cada agente  $a_i$  com os outros agentes  $a_j \in N$  pode ser definida como:

$$hc_i = \sum_{j=1}^n (hm(I_i) - h(I_{i,j})) \quad (3.13)$$

Se,

$hc_i \rightarrow 1$ , o agente  $a_i$  é extremamente especializado;

$hc_i \rightarrow 0$ , o agente  $a_i$  não tem nenhuma especialização.

Para um sistema ser inteligente, os seus agentes não podem ser muito especializados, pois ele resolveria os problemas sempre da mesma maneira, ou então resolveria apenas um determinado tipo de problema, perdendo capacidade de abstração. Por outro lado, se os agentes não tiverem nenhuma especialização, o sistema é incapaz de resolver qualquer tipo de problema. O ideal seria que  $hc \rightarrow 0,5$  para que o sistema tivesse flexibilidade e originalidade na solução do problema.

Seja:

$$\rho_m(I_i) - 0,5 = \xi \quad (3.14)$$

então,

a)  $N$  é dito ser:

- um sistema fortemente desconectado ( $N_S$ ), se  $\xi \rightarrow -0,5$ , ou
- um sistema fortemente conectado ( $N_S$ ), se  $\xi \rightarrow 0,5$  ou a maior parte de  $a_i \in N$ .

Sistemas fortemente (des)conectados não são de interesse quando se considera inteligência, pois tanto seus agentes têm dificuldades em trabalhar juntos na solução de uma tarefa quanto as relações compartilhadas por seus agentes tendem a ser mais estereotipadas que versáteis; seus agentes compartilham comumente mais relações fortes que relações plásticas.

b)  $N$  é dito ser um sistema frouxamente conectado ( $N_L$ ), se  $\xi \rightarrow 0$  para a maioria de  $a_i \in N$ , mesmo se  $\rho(a_i, a_j) \rightarrow 1$  ou  $\rho(a_i, a_j) \rightarrow 0$ , para alguns, mas não todos,  $a_j \in N_L$ .

---

<sup>1</sup> Vide também Tononi, Edelman & Sporns (1998).

Pode ser proposto que para qualquer  $N_L$ :

- a entropia relacional média  $hm(I_i)$  é:

$$hm(I_i) \rightarrow 1 \quad (3.15)$$

- a entropia relacional  $h(I_{i,j})$  é:

$$h(I_{i,j}) \rightarrow 1 \text{ ou } h(I_{i,j}) \rightarrow 0 \quad (3.16)$$

- e, conseqüentemente, a entropia de comunicação  $hc_i$  é:

$$0 < \alpha < hc_i < \beta < n \quad (3.17)$$

O valor atual de  $\beta$  é dependente do número de agentes  $a_i$  que supostamente têm as ferramentas para resolver ( $\rho(a_i, a_i) \rightarrow 1$ ) a tarefa requerida  $T^i$  e daqueles  $a_k$  que não estão engajados na solução da tarefa ( $\rho(a_i, a_j) \rightarrow 0$ ). Considerando:

$$n - \beta = \xi \quad (3.18)$$

então:

$$\xi \gg 0 \quad (3.19)$$

a menos que  $N_L$  esteja fortemente inclinado na solução de uma classe de problemas.

Nestas condições, a seguir estão as propriedades de alguns sistemas ou sub-sistemas de interesse:

- *sistema inteligente especializado*  $N_L$ :  $\rho_m(I_i) \rightarrow 0,5$  para a maioria de  $a_i, a_j \in N_L$ , tal que

$$hm(I_i) \rightarrow 1, hc_i \rightarrow \beta < n, \xi \gg 0; \quad (3.20)$$

- *sistema inteligente associativo*  $N_L$ :  $\rho_m(I_i) > 0,5$  para a maioria de  $a_j \in N_L$ , tal que

$$hm(I_i) < 1, hc_i \rightarrow \alpha < n, \xi \gg 0 \quad (3.21)$$

## 4. O cérebro humano na cognição

*“Como é pequeno o cosmo (...) como é insignificante e franzino em comparação com a consciência humana, com uma única lembrança individual...”*  
(Vladimir Nabokov)

Neste trabalho algumas tarefas cognitivas são abordadas nos jogos do computador, como reconhecimento visual (rotação mental), linguagem (processamento de sons verbais) e planejamento (raciocínio no quebra-cabeça). Embora nem todos os aspectos de um dado tipo de tarefa cognitiva sejam investigados neste trabalho, parece útil fornecer dados adicionais de como o cérebro processa os vários aspectos de uma atividade cognitiva, a fim de que se possa melhor compreender o caráter distribuído e a especialização cerebral em tais tarefas.

Seja qual for o tipo de tarefa cognitiva desempenhada, um componente parece ser comum a todas as atividades: o uso da memória, onde estão armazenadas as informações conhecidas ou necessárias referentes à tarefa, ou onde são guardados temporariamente os dados relevantes para a realização da tarefa. Por sua importância, a memória recebe também um destaque neste capítulo.

Como o cérebro recebe diferentes estímulos durante a execução de uma atividade e estes estímulos são processados em distintas regiões cerebrais, apresenta-se também algumas indicações de como e onde estes sinais são integrados entre áreas corticais e hemisférios na produção de uma resposta eficiente para a atividade em questão, bem como os substratos neurais utilizados para tanto.

Por último, tenta-se mostrar que o cérebro pode ser considerado um sistema distribuído, haja visto as características de especialização e de integração dos seus sistemas corticais sensoriais e associativos.

#### **4.1. Mecanismos de integração da informação no cérebro**

O cérebro possui uma grande capacidade de rapidamente integrar informações provenientes de muitas fontes diferentes. Este fato é o cerne da nossa capacidade cognitiva. Para se entender esta capacidade, deve-se observar duas questões em particular (Tononi, Edelman & Sporns, 1998). Primeiro, deve-se estar atento em como a informação especializada é transmitida ativamente entre áreas cerebrais que estão funcionalmente separadas e também entre grupos neuronais integrados, de modo que essa informação possa formar uma cena unificada e coerente. Segundo, é necessário entender como a informação é agregada com a chegada de estímulos que estão integrados com a informação atual presente na memória.

Por um lado, muitos consideram que o cérebro controla o comportamento pelo processamento dos estímulos que chegam na forma de padrões de atividade neural. Por outro lado, outros assumem também que o cérebro estabelece memórias de estímulos que são encontrados previamente na forma de padrões de conectividade entre neurônios. Por estes motivos, o processamento e a armazenagem da informação são muitas vezes estudados separadamente e com diferentes metodologias.

Um princípio fundamental da organização cortical cerebral é a ocorrência de uma especialização funcional que está espacialmente distribuída. No sistema visual, por exemplo, diferentes áreas cerebrais são funcionalmente especializadas em vários atributos visuais, tais como forma, movimento e cor, e parte destas funções visuais foram descobertas juntas a outras modalidades sensoriais e motoras. A segregação (especialização) funcional está organizada no nível de colunas ou grupos de neurônios. No córtex visual primário, por exemplo, grupos de neurônios são especializados em diferentes características visuais, tais como orientações do

estímulo, direção do movimento e frequência espacial<sup>2</sup>. Há evidências também de que quando tarefas cognitivas diferentes ou atributos de estímulos específicos são percebidos, imaginados ou lembrados, diferentes regiões cerebrais são também ativadas.

A informação proveniente da ativação de grupos especializados de neurônios deve ser funcionalmente integrada para promover a resposta comportamental do indivíduo. Da mesma forma que a especialização funcional, a integração funcional ocorre espacial e temporalmente. Na visão, por exemplo, elementos individuais (pontos, linhas) são agrupados ao mesmo tempo para produzir formas de acordo com as leis Gestalt, tais como as de movimento comum, colinearidade, continuidade e proximidade. Diferentes atributos (forma, cor, localização, tamanho, etc.) devem ser conciliados para formar os objetos, e os vários objetos de uma única imagem visual formam uma cena mais complexa. As próprias imagens são integradas com entradas auditivas, somatossensoriais e proprioceptivas para produzir uma cena unificada e coerente.

A partir daí o problema é como o cérebro vincula os atributos dos objetos e dos eventos, no espaço e no tempo, para construir uma cena unificada e consciente. Sabe-se que os neurônios podem frequentemente integrar agrupamentos com co-ocorrência de características através de uma conectividade convergente. Esta poderia ser uma hipótese para o problema de integração. Entretanto, parece pouco provável que a convergência seja o mecanismo predominante para a integração, por vários motivos. Primeiro, porque nenhuma área do cérebro pode ser identificada particularmente como a responsável pela atividade que representa todos os estados perceptuais ou mentais. Segundo, porque o enorme número de estímulos perceptuais possíveis que acontecem em contextos que se alteram constantemente ultrapassa o número de grupos neuronais disponíveis (ou mesmo neurônios individuais), causando assim uma explosão combinatorial. Terceiro, porque a convergência não permite conjunções dinâmicas como resposta a estímulos completamente novos, que já não tenham acontecido anteriormente.

---

<sup>2</sup> Uma especialização similar ao longo de diferentes dimensões de estímulos vem sendo descoberta em toda a área do cérebro. Experimentos de Belin et al. (2000) mostraram forte evidência de que o cérebro humano contém regiões do córtex auditivo que não são apenas sensíveis, mas também fortemente seletivas, a vozes humanas. Esta descoberta é importante porque delineia um forte paralelo com a arquitetura do córtex visual, onde regiões seletivas à face têm sido observadas segundo vários experimentos. Isto fortalece a opinião de que diferentes córtices sensoriais poderiam compartilhar princípios comuns de organização funcional.

Alguns autores propõem então uma solução teórica para o problema de integração que leva em consideração as interações cooperativas entre áreas do cérebro funcionalmente segregadas, mediadas por um processo de avanço, de sinalização paralela, chamado 'reentrância'. Algumas simulações do sistema visual mostraram que as interações de reentrância podem sincronizar a atividade de grupos especializados funcionalmente, fornecendo assim uma base neural para várias regras Gestalt. Outros estudos experimentais vêm confirmado estas simulações. Desta forma, parece razoável supor que a integração da informação não ocorre em uma localização particular, e sim em um processo neural unificado.

Uma das primeiras indagações que se poderia fazer sobre interações funcionais é se, durante uma tarefa cognitiva, há alguma evidência de agrupamentos funcionais<sup>3</sup>. Um agrupamento funcional pode ser definido como um conjunto de regiões do cérebro que interagem uma com a outra mais fortemente que com o resto do cérebro. Para determinar a presença de agrupamento funcional, é importante empregar medidas multivariadas de dependência e independência estatísticas que permitam a caracterização simultânea das interações entre muitos elementos, conforme sugerem Tononi, Edelman & Sporns (*op.cit.*). Um agrupamento funcional pode então ser definido, segundo uma perspectiva multivariada, como um subconjunto do cérebro para o qual a dependência estatística com outro subconjunto é muito maior que entre o subconjunto e o resto do cérebro.

Uma outra questão que poderia surgir é quanta informação é integrada em um agrupamento funcional de regiões do cérebro que estão fortemente interagindo? Teoricamente, a alta informação e a alta integração apresentam requisitos oponentes: a alta informação requer o disparo mutualmente independente de grupos especializados de neurônios; a alta integração requer que a atividade conjunta deles seja altamente coerente. Este paradoxo pode ser compreendido ao se referenciar a segregação funcional e a integração com o modelo teórico fornecido por fundamentos estatísticos da teoria da informação, conforme visto nos dois capítulos precedentes (*medida de complexidade neural*). Se, por exemplo, um sistema é composto de elementos segregados funcionalmente, a integração média para pequenos

---

<sup>3</sup> Estudos de neuroimagem são tipicamente usados para estabelecer se certas regiões cerebrais estão mais ou menos ativas que outras regiões cerebrais durante uma tarefa cognitiva. Estas técnicas podem também ser empregadas para explorar as interações funcionais entre diferentes áreas do cérebro.

subconjuntos é baixa. Isto indica que, tomado algum instante de tempo em consideração, tais elementos têm funções independentes especializadas: eles abastecem o sistema com diferentes fontes de informação. Por outro lado, se o mesmo sistema mostra comportamento cooperativo no nível global, a média global para grandes subconjuntos é alta. Isto indica que diferentes fontes de informação estão sendo integradas em um todo coerente.

## 4.2. O sistema visual

Visão é um dos mecanismos mais estudados em neurofisiologia e muito já se conhece sobre o processamento visual. As informações visuais que a retina recebe são utilizadas nas estruturas subcorticais para a coordenação visuo-motora de vários comportamentos. Estas mesmas informações provenientes da retina também são transmitidas para o córtex visual, onde sofrem um processamento mais complexo, envolvendo uma ativação ordenada de várias áreas distribuídas ao longo dos lobos occipital, temporal e parietal.

O córtex cerebral humano possui dezenas de áreas visuais separadas, que ocupam cerca de metade da área total do córtex. Estas áreas estão organizadas em duas vias de processamento funcionalmente especializadas, cada uma tendo o córtex visual primário (V1) como fonte e cada uma sendo composta de várias áreas além de V1. A ‘via occipito-temporal’ ou ‘corrente ventral’ – pois segue na seqüência de áreas visuais primárias (V4 → TEO → TE → TAa) – é crucial para a identificação de objetos, isto é, o que é o objeto; enquanto a ‘via occipito-parietal’ ou ‘corrente dorsal’ – pois segue dorsalmente indo para o lobo parietal (V1 → V2 → V3 → áreas intraparietais) – é fundamental para a percepção espacial e para o direcionamento visual de movimentos do objeto no espaço, isto é, onde o objeto está localizado (Wallis & Bühlhoff, 1999). Um modo simples de conceituar as funções das duas correntes de processamento é através da relação ‘*o que*’ (representado pela corrente ventral) *versus* ‘*onde*’ (representado pela corrente dorsal).

Células em áreas da corrente ventral (V1, V2, V4 e as áreas temporais inferiores TEO e TE) respondem a características visuais relevantes à identificação do objeto, tais como cor, textura e forma, posição, ângulo de visão, contraste da imagem – e todos os tipos de invariância da transformação requeridos pelo reconhecimento de objetos de foco invariante –

enquanto células na corrente dorsal (V1, V2, V3, área médio-temporal, área temporal superior medial, e estações adicionais no córtex parietal superior e córtex sulcal temporal superior) respondem seletivamente aos aspectos espaciais do estímulo, tais como as direções de movimento e velocidade, através do rastreamento da imagem pelo movimento dos olhos.

As áreas em ambas as vias de processamento estão organizadas hierarquicamente, de modo que as entradas de baixo nível são transformadas em representações mais progressivamente integradas através de estágios sucessivos de processamento. Na corrente ventral, o processamento de características de objetos começa com uma simples filtragem espacial pelas células em V1, mas quando o córtex temporal inferior (TE) é ativado, as células respondem a características globais do objeto (tais como forma, por exemplo), de modo que algumas células são até mesmo especializadas em funções mais específicas, como o reconhecimento de faces (Sommer, Komoss & Schweinberger, 1997).

Igualmente, com a corrente dorsal o processamento do estímulo em movimento começa com a seletividade da direção do movimento por células em V1, mas em áreas de ordem superior do córtex parietal as células respondem seletivamente a padrões mais complexos de movimento, tais como rotação. Assim, as áreas visuais primárias, localizadas no lobo occipital, têm a função de extrair características da informação, decompondo a imagem em um conjunto de características básicas que serão utilizadas no reconhecimento dos objetos que compõem a cena a ser analisada. As áreas visuais secundárias, que recebem predominantemente informações provenientes das áreas primárias, são responsáveis em analisar características particulares da imagem registrada na retina. Em seguida, a informação proveniente do processamento das áreas secundárias é transferido para as áreas de associação que estão localizadas nos lobos temporal e parietal, cujo papel é reconhecer os principais objetos que compõem a cena a partir de suas características básicas, sejam estas características relacionadas tanto à forma quanto ao movimento dos objetos.

O reconhecimento de cada objeto é então realizado através da identificação destas características e das relações específicas partilhadas entre elas. As análises destas características ocorrem em paralelo, mas as análises das formas estão dissociadas das análises de movimento. A unificação de todas as informações necessárias para recompor a cena é feita pelas áreas de associação localizadas principalmente no lobo parietal. Postula-se que a identificação dos objetos é um trabalho preferencial do hemisfério esquerdo, enquanto que a

análise das relações espaciais fica mais a cargo do hemisfério cerebral direito. Esta análise espacial envolve também a composição e a análise da coerência dos movimentos associados a cada um dos objetos que compõem a cena visualizada.

Estudos têm mostrado que lesões do córtex temporal inferior causam severas deficiências no desempenho de uma grande variedade de tarefas de discriminação visual (e.g., padrão, objeto e cor), mas não em tarefas visuo-espaciais (e.g., percepção de deslocamento visual e julgamento de qual de dois objetos idênticos está mais proximamente localizado de um ponto de referência visual). Em contraste, lesões parietais posteriores não afetam o desempenho da discriminação visual, mas causam várias deficiências graves no desempenho visuo-espacial.

Durante a primeira etapa do processamento visual, a ativação cerebral obedece um gradiente pósterio-anterior. Primeiramente são ativadas as áreas occipitais responsáveis pela análise das características básicas (linhas, ângulos, cores, direção, etc.) dos objetos que compõem a cena. As áreas de associação secundárias nos lobos temporal e parietal, localizadas progressivamente mais frontalmente em relação às áreas visuais primárias do córtex occipital estão associadas ao reconhecimento destes objetos e das relações por eles partilhadas. Supõe-se que a cena observada seja recomposta nas áreas de associação de maior hierarquia. Na segunda etapa do processamento visual, quando a cena final é recomposta a partir dos seus objetos identificados, há uma reversão da ordem de ativação das áreas corticais. As áreas occipitais serão as últimas a serem reativadas pelos neurônios que participam do reconhecimento dos componentes e suas relações na cena. Também postula-se que a recomposição perceptual da cena observada aconteça a partir da reativação secundária das áreas visuais primárias.

Durante o processo de criação de imagens mentais a ativação ântero-posterior do cérebro é também utilizada. Desta forma, ao se imaginar uma cena qualquer, as áreas frontais geralmente precedem a ativação cerebral, que progressivamente vai sendo transferida para áreas mais posteriores, até atingir o lobo occipital, onde a cena imaginada pode ser recriada em mínimos detalhes. Algumas análises de PET (Miyashita, 1995) revelaram que durante a imaginação de cenas ou de objetos ocorre a ativação das áreas de associação visual dorsal (área 19) e ventral (giro fusiforme), córtices parietais superior e inferior, e outros córtices não-visuais, tais como o córtex pré-frontal dorso-lateral e o giro angular.

O processamento visuo-espacial têm sido considerado uma função predominante do hemisfério direito do cérebro. Em vários estudos, as tarefas de memória visual, tarefas espaciais e tarefas de orientação de linhas têm sido associadas a um maior aumento do fluxo sanguíneo regional cerebral (rCBF) no hemisfério direito que no hemisfério esquerdo. A rotação mental é uma forma de processamento de imagem visual e parece utilizar parte dos mesmos substratos neurais utilizados na formação da imagem mental e da rotação visuo-motora (Pellizer & Georgopoulos, 1993). Alguns estudos sobre rotação mental utilizando técnicas de rCBF (Cohen et al., 1996) e de potenciais relacionados a eventos (ERPs) relacionaram-na como um processo mediado principalmente pelo hemisfério direito. Também segundo estudos realizados em comparações entre pacientes com lesão parietal direita, pacientes com lesão parietal esquerda e com controles normais, a rotação mental foi considerada como sendo processada predominantemente pelo hemisfério direito, revelando um efeito significativamente menor de precisão nesta tarefa para os pacientes com lesão no lado direito.

Embora seja aceito que as tarefas visuo-espaciais sejam mais eficientemente processadas pelo hemisfério direito, alguns autores têm sugerido uma importante contribuição do hemisfério esquerdo em tal processamento (Ornstein et al., 1980), particularmente para a geração mental de imagens e para a rotação mental (Mehta & Newcombe, 1991; Gill, O'Boyle & Hathaway, 1998). Em um de seus trabalhos, Inoue e colaboradores (1998) sugerem que a rotação mental usa os dois hemisférios, mas que a região fronto-central direita é mais predominante<sup>4</sup>.

### 4.3. Linguagem

A linguagem é uma das mais importantes funções cognitivas do homem. Acredita-se que a linguagem seja processada principalmente pelo hemisfério esquerdo, mas não exclusivamente, como descrito a seguir. Alguns neurônios distribuídos no tronco cerebral entre os núcleos cocleares e os colículos superiores especializam-se no reconhecimento de características dos

---

<sup>4</sup> Para mais detalhes vide Alivisatos (1992) e Cohen et al. (1996).

fonemas que são usados em um idioma. Estes neurônios são ativados por características particulares de cada um dos fonemas. No núcleo geniculado lateral, neurônios recebem informações dos neurônios no tronco cerebral e utilizam as informações sobre os fonemas identificados para reconhecer radicais de palavras, raízes e terminações verbais, prefixos nominais, etc. Os neurônios talâmicos transferem os resultados do processamento realizado no tálamo para o córtex auditivo, onde o reconhecimento de palavras já é possível a nível das áreas primárias. Os sinais auditivos recebidos no tronco cerebral e enviados para o tálamo são retransmitidos para uma área do córtex auditivo chamada *giro de Heschl*. A maior parte do sinal nervoso (60%) é recebido no giro de Heschl pelo ouvido do lado oposto do corpo (Owens, 1996).

O giro de Heschl e as áreas de associação auditivas vizinhas a ele separam a informação que está chegando, diferenciando a informação lingüística significativa do ruído de fundo sem significado. Esta decisão é feita com base no conhecimento lingüístico armazenado. A informação lingüística recebe um processamento adicional. A entrada lingüística codificada é enviada para o lobo temporal esquerdo para o processamento, enquanto que a entrada paralingüística (entonação, ritmo, estresse) é direcionada para o lobo temporal direito. O processamento separado da informação lingüística e paralingüística pode levar a um armazenamento em locais separados mas relacionados.

A análise lingüística é realizada na área de Wernicke. O giro angular e o giro supramarginal auxiliam neste processo, integrando a informação visual, auditiva e tátil e a representação lingüística. Embora o funcionamento deles não seja ainda bem compreendido, o giro angular ajuda na recuperação da palavra e o giro supramarginal está envolvido no processamento de unidades sintáticas mais longas, tais como sentenças. Mais explicitamente, a área temporal anterior esquerda parece ser ativada durante o processamento de palavras individuais, refletindo o significado da palavra (semântica léxica), e a área temporal posterior esquerda está envolvida em relacionar a palavra atual a outras palavras na mesma frase ou sentença (semântica sentencial ou proposicional) (Posner, 1998).

Obviamente, a análise para a compreensão da linguagem depende do armazenamento em memória de palavras e de conceitos. A armazenagem léxica dos significados da palavra necessários à interpretação semântica está difusamente localizada, centrada principalmente no lobo temporal, embora a localização exata seja desconhecida. A informação que vai chegando

é transmitida ao hipocampo e às estruturas a uma primeira consolidação para armazenagem. A memória conceitual, experiencial, é armazenada ao longo do córtex (Owens, *op.cit.*).

#### 4.3.1. O sistema verbal cortical

Diferentes aspectos da linguagem são processados pelo cérebro por diferentes vias e regiões corticais. A atividade neural nas áreas 46 e 10 do córtex pré-frontal e na área de Broca, incluindo as áreas de Brodmann 44 e 9, estão relacionadas com as tarefas de processamento visual da palavra e de nomeação de objetos. As respostas neuronais em tarefas de decisão léxica e categorização semântica estão relacionadas ao processamento semântico e ao processamento fonológico das palavras.

O núcleo caudado tem um papel funcional na linguagem para computações semânticas e léxicas, e fonológicas, de modo similar à área de Broca (Abdullaev, Bechtereva & Melnichuk, 1998). Lesões no lobo frontal esquerdo comprometem a compreensão da linguagem, pois esta região parece ter um importante papel na análise de verbos utilizados na comunicação. Lesões no lobo temporal esquerdo e córtex pré-motor ventro-lateral comprometem a identificação de categorias de nomes (processamento léxico), por exemplo, nomes de pessoas, de animais, de ferramentas, de cores, enquanto lesões no lobo temporal direito comprometem o reconhecimento de conceitos (significados) relacionados a um nome (processamento semântico), como cores, formas, faces, etc. (figura 4.1). Desta forma, o sistema frontal seria fundamental para a análise de uma linguagem procedural, pois identificaria ações descritas por verbos e determinaria os tipos de nomes a serem identificados pelo sistema temporal, que pudessem satisfazer a sintaxe do verbo identificado. Em contrapartida, o sistema temporal seria importante para a análise de uma linguagem descritiva, pois identificaria a categoria do nome selecionado como tópico (pessoas, animais, etc.) e determinaria quais propriedades deveriam ser descritas por outros elementos contidos na sentença.

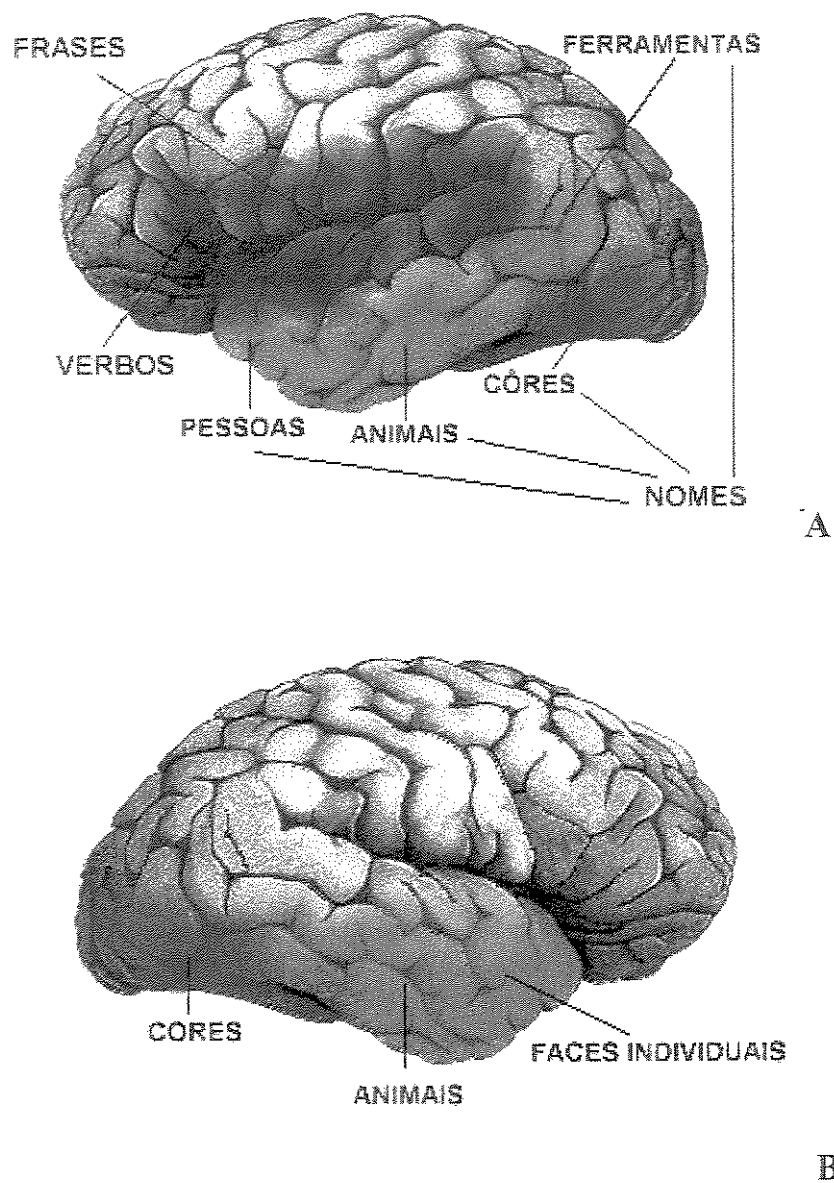


Figura 4.1 – Processamento léxico semântico.  
A. Hemisfério esquerdo. B. Hemisfério direito.

A identificação do significado semântico (processamento léxico) da informação oral depende supostamente das transações entre os lobos temporais esquerdo e direito, mediadas através de porções mais anteriores do corpo caloso. A manipulação de regras gramaticais (processamento da sintaxe) parece acontecer na área de Broca. A identificação final da adequação sintática e semântica de uma sentença ocorre na área de Wernicke, que está intimamente conectada tanto ao sistema frontal quanto ao temporal.

A prosódia na produção verbal é um ponto importante para associar uma avaliação emocional do que está sendo dito. Na avaliação do conteúdo semântico de uma produção verbal é importante não apenas o que está sendo dito, mas também como está sendo dito. O controle da entonação é uma atividade do lobo parieto-temporal direito. O tom emocional na comunicação oral, o significado metafórico ou conotativo, a compreensão de perguntas indiretas, a interpretação de construções frasais com significado duplo, as observações conversacionais sarcásticas e jocosas, e algumas qualidades de humor parecem também depender do processamento do lado direito do cérebro (Chiarello, 1998; Beeman, 1998).

O lobo frontal identifica as relações temporais entre as diversas frases de um texto ou de um discurso. A região temporal capacita o indivíduo para o diálogo coerente, para o entendimento de um texto, etc. O hemisfério direito parece ser mais importante na organização da representação mental do discurso (Beeman, 1998). Estudos indicam que região frontal também desempenha um papel fundamental na organização e na recuperação de itens da memória de trabalho. Esta memória é utilizada, por exemplo, para manter uma conversa, para analisar as relações entre as várias frases processadas em diferentes tempos, etc. As áreas posteriores próximas à área de Wernicke estão envolvidas na armazenagem dos itens verbais da memória de trabalho. Posner & Pavese (1998) sugerem que as áreas frontais são mais importantes para a classificação da unidade de entrada e as áreas posteriores servem principalmente para integrar a palavra com o contexto procedente da frase ou sentença.

Embora o hemisfério esquerdo seja predominante no processamento da linguagem, ele não é único. Considera-se que o hemisfério direito também seja capaz de compreender linguagem, mas que porém não seja capaz converter esta compreensão em uma saída lingüística.

#### 4.3.2. Compreensão de sentenças

O processo de compreensão de uma sentença envolve o processamento de seu significado como um todo, por meio da combinação dos significados de suas palavras individuais. Resultados recentes de pesquisas sugerem que a construção da interpretação de uma sentença envolve a integração momento a momento de uma variedade de fontes de informação. Segundo a visão de Gibson & Pearlmuter (1998), as representações construídas durante a compreensão da sentença são projetadas a partir das representações das palavras individuais, e as representações de palavras individuais são então combinadas para formar frases.

Este processo combinacional é restringido pela informação de formação de frase, que delimita a faixa de combinações possíveis. Por exemplo, *o cachorro está feliz* é uma sentença bem-formada do português, mas *cachorro o feliz está*, não é. Além disso, a informação de formação de frase determina parcialmente as interpretações para as combinações. Por exemplo, *Maria amava João* e *João amava Maria* significam coisas diferentes em português (apesar do envolvimento das mesmas representações das palavras individuais), porque as restrições de formação de frases requerem que um nome inicial em uma simples sentença do tipo *nome-verbo-nome* seja interpretada como o realizadora da ação especificada pelo verbo, e que o último nome seja interpretado como a entidade sobre a qual a ação é realizada.

Ainda de acordo com Gibson & Pearlmuter (*op.cit.*), pode-se categorizar as restrições restantes em quatro amplas categoria, que são relevantes tanto para a compreensão da sentença falada quanto da sentença escrita:

- 1) *restrições lexicais*, ou nível de palavra, que dependem do conhecimento associado com palavras particulares em uma língua;
- 2) *restrições contextuais*, que envolvem a utilidade comunicativa e a plausibilidade de diferentes interpretações, dado um conhecimento acerca do estado do mundo;
- 3) *restrições de recurso computacional*, que dependem da disponibilidade e do acesso dos recursos da memória de trabalho;
- 4) *restrições da frequência contingente no nível de frase*, definidas como a probabilidade das frases ocorrerem no contexto.

Uma outra restrição é a prosódia, que se refere às propriedades do processamento de sinal além daquelas relacionadas à identidade da palavra. Estas propriedades incluem o tom, a amplitude e a duração das palavras individuais faladas.

Todas estas restrições, juntamente com a informação gramatical de formação de frase, explicam como as interpretações são construídas nas sentenças, assim que estas interpretações são encontradas, já que elas podem ter efeitos na complexidade de sentenças não-ambíguas e preferências de interpretação em sentenças ambíguas.

#### **4.4. Memória**

A memória é um processo distribuído, pois envolve transações entre neurônios em sistemas neurais amplamente distribuídos no cérebro. As imagens visuais são memorizadas nos circuitos visuais, as lembranças auditivas permanecem nas áreas correspondentes, os atos são armazenados nos circuitos motores e as emoções no sistema límbico. Por exemplo, a imagem de uma face familiar é armazenada no lobo temporal direito e as informações verbais referentes à biografia ou à descrição dessa pessoa são guardadas no lobo temporal esquerdo. A correspondência entre a imagem visual e a informação verbal da pessoa é feita através das fibras do corpo caloso, que conectam os dois hemisférios cerebrais, associando coerentemente os dois tipos de informação.

A coerência das lembranças de uma cena depende da ação de algumas áreas que se especializam na coordenação da atividade cerebral, principalmente o córtex pré-frontal e o hipocampo. Estes circuitos são os responsáveis por organizar coerentemente as atividades dos diversos sistemas e áreas envolvidos na análise de um fato ou evento, por isso, são também importantes para a organização da memória.

Nos seres humanos, a memória pode ser subdividida em várias categorias. Historicamente, a maior distinção é entre ‘memória declarativa’ e ‘memória não-declarativa’, mas existem outras distinções. A seguir, serão apresentadas vários tipos de distinção de memórias.

#### 4.4.1. Memórias declarativa e não-declarativa

A memória não-declarativa é caracterizada por sua inacessibilidade à recuperação consciente e é demonstrada por fenômenos tais como a aprendizagem motora de habilidades e as formas simples de condicionamento clássico. Este tipo de memória não será discutido aqui, por não haver um interesse maior sobre ela no presente trabalho. Na memória declarativa, a informação em memória pode ser usada para dirigir inferências e generalizações, tanto para possibilitar o raciocínio como para controlar o comportamento.

A memória declarativa pode ser subdividida em componentes episódicos e semânticos. A ‘memória episódica’ está relacionada com a recordação consciente de experiências passadas específicas, enquanto que a ‘memória semântica’ está envolvida com a armazenagem e a recuperação do conhecimento efetivo do mundo. A diferença é frequentemente referida em termos de lembrança *versus* conhecimento: a memória episódica está relacionada com a lembrança de experiências pessoais específicas<sup>5</sup>, enquanto que a memória semântica relaciona-se com o que alguém conhece do mundo, com o conhecimento em si. Por exemplo, lembrar que *ontem o dia amanheceu frio em Campinas* é um exemplo de memória episódica, mas *saber que raramente faz frio em Campinas* é um exemplo de memória semântica, pois este conhecimento não precisa ser adquirido como uma experiência pessoal de sentir frio.

De acordo com Griffiths et al. (1999), tanto a memória episódica quanto a memória semântica são dependentes do lobo temporal medial e das estruturas diencefálicas (i.e. núcleos talâmicos) do cérebro. Reforçando esta suposição, alguns autores têm sugerido que a amnésia anterógrada observadas em pacientes com lesões no lobo temporal medial é um resultado da ruptura da memória declarativa como um todo, sendo a memória semântica e a memória episódica igualmente prejudicadas. De acordo com esta teoria, o tamanho da perda de memória é proporcional à extensão da lesão no lobo temporal medial.

Alguns autores propõem também que o córtex pré-frontal esteja também relacionado com a memória episódica (Tulving et al., 1994; Cabeza & Nyberg, 1996, Cabeza et al., 1997;

---

<sup>5</sup> A memória episódica ‘recebe e armazena a informação sobre episódios ou eventos datados temporalmente, e sobre os relacionamentos temporais-espaciais entre estes eventos’, ou seja, ela fornece a informação de sobre ‘o que’ e ‘quando’ (experiências datadas temporalmente) e sobre ‘onde’ (relações temporais-espaciais) os eventos ocorreram.

Nyberg, Cabeza e Tulving, 1998). Parece que o córtex pré-frontal esquerdo está mais relacionado que o direito nos processos de codificação (especialmente, recuperação semântica) e que o córtex pré-frontal direito está mais dedicado que o esquerdo nos processos de recuperação episódica (i.e. recordação).

A explicação para isso seria que o córtex pré-frontal direito subsidia uma variedade de componentes dos processos de reflexão que são suficientes para tarefas de memória episódica relativamente simples, enquanto que tarefas de memória episódica mais complexas requerem componentes adicionais de processos mediados pelo córtex pré-frontal esquerdo. Por exemplo, o córtex pré-frontal direito seria capaz de, sozinho, manter viva a informação na memória, fazer trocas entre representações, e notar relações (e.g. se um item é igual a um padrão) de componentes de muitos processos heurísticos. O córtex pré-frontal esquerdo, segundo várias evidências, poderia desempenhar um papel central na recordação de episódios mais complexos, especialmente quando recrutado por processos mais sistemáticos, incluindo ensaios, estratégias de iniciação (e.g. operações recursivas), e geração de pistas para a recuperação da informação em estado inativo na memória. Por exemplo, já foi constatado que a lesão unilateral do córtex pré-frontal produz deficiências marcantes na recuperação de pistas do radical da palavra e na recuperação da autobiografia (Nolde, Johnson & Raye, 1998). Além disso, lesões no córtex pré-frontal esquerdo parecem produzir uma deficiência na memória fonte (e.g. quem foi que disse alguma coisa) na ausência de uma eficiência significativa na identificação de quais itens foram anteriormente experienciados (reconhecimento do novo e do antigo). Ao serem comparadas com o reconhecimento do novo e do antigo, as decisões da identificação da fonte precisam de informações mais episódicas (e.g. tempo, lugar, modalidade, falante, etc.) e tendem a ser solicitadas mais refletidamente.

Partindo destes pressupostos, a identificação de correlações neurais de processos de componentes de reflexão específicos que subsidiam a memória episódica poderiam ajudar a descrever um conjunto genérico de componentes de processos cognitivos usados tanto em memória episódica (incluindo as fases de codificação e de recuperação) como em tarefas “não-episódicas”.

Eichenbaum e colaboradores (1994, 1996, 1997) sugerem que os sistemas corticais codificam representações individuais, não-relacionais, que são organizadas em seguida pelo hipocampo para criar de maneira flexível representações relacionais acessíveis, permitindo

assim relações de inferência entre as representações a serem usadas em novas situações. Além disso, a região parahipocampal (córtices entorrinal, perirrinal e parahipocampal) parece estar envolvida na captação de várias informações corticais de entrada e na dedução temporária de representações complementares. O hipocampo possui a capacidade de distinguir episódios únicos e a de integrar a informação extraída desses episódios ao conhecimento semântico. Assim, esses pesquisadores supõem que as memórias episódica e semântica não sejam tipos alternativos de memória, e sim que elas se beneficiem de um sistema no qual o hipocampo propicia o entrelaçamento das memórias corticais.

Tulving e Markowitsch (1998), como mencionado por Griffiths (*op.cit.*), sugerem que a memória episódica e memória semântica possam atuar como subsistemas paralelos, assim como também em uma relação conjunta. O conhecimento semântico pode ser adquirido com um dano da capacidade da memória episódica, mas a memória episódica não pode existir sem o conhecimento semântico. A memória episódica é então uma extensão do conhecimento semântico: o contexto de quando e onde a informação foi adquirida é combinada com o conhecimento semântico do que foi obtido naquela ocasião. Lesões no sistema semântico prejudicariam, desta forma, tanto a memória semântica quanto a memória episódica, ao passo que lesões no sistema episódico resultariam em um prejuízo da aquisição da memória episódica mas não necessariamente do sistema semântico.

De modo geral, o processamento na memória declarativa é altamente sensível ao contexto, e é cognitivo, no sentido de ser oposto ao comportamental. O sistema declarativo interage intimamente com outros sistemas cerebrais/comportamentais, tais como, linguagem, emoção, afeição e raciocínio.

O desenvolvimento da memória episódica ocorre posteriormente ao desenvolvimento da capacidade semântica da criança. Além do mais, a memória episódica é mais vulnerável a um número de patologias cerebrais e à idade.

#### **4.4.2. Memórias prospectiva e retrospectiva**

O tipo de memória que guarda planos de uma ação como uma seqüência de eventos a realizar é chamada de ‘memória prospectiva’ (Rocha, 1999). Um exemplo da informação guardada por este tipo de memória é o seguinte plano de ação: *hoje após o almoço ir ao banco retirar*

*dinheiro para ir ao supermercado fazer compras, depois ir até a academia para a aula de natação.*

Esta memória se baseia em relações temporais de dois tipos:

- analógica – que utiliza mecanismos de oscilação bioquímica e elétrica dos neurônios para seqüenciar ações a partir de uma medida analógica do tempo;
- relativa – que se vale da ocorrência de um evento como referência para a ordenação das ações a serem realizadas, como no exemplo dado acima.

As relações temporais relativas permitem a organização de planos oportunísticos em que a seqüência de ações não é rígida, mas determinada pela ocorrência de certos eventos.

A organização seriada de eventos passados e/ou futuros está sob a responsabilidade de muitas áreas do cérebro, como o cerebelo e o córtex frontal, que têm a tarefa de controlar e organizar o tempo e as atividades seriadas.

O sucesso da organização das atividades seriadas realizadas pelo indivíduo está relacionado com a capacidade de representar e organizar o tempo nos circuitos neurais. A representação do tempo depende da dinâmica de sistemas enzimáticos que controlam a eficácia dos processos sinápticos e das oscilações de potencial de membrana.

Um outro tipo de memória existente e que se baseia em relações espaciais que podem ser usadas como referência é a ‘memória retrospectiva’. Estas relações podem ser dos tipos:

- espacial – quando o evento é memorizado tendo como referência o local onde foi vivenciado, como por exemplo: *o espetáculo aconteceu no parque da cidade;*
- temporal – quando o tempo de ocorrência do evento é referenciado a uma ação ocorrida em um determinado local, como por exemplo: *conheci a Maria quando estive na Bahia.*

Quando uma pessoa reconhece que já esteve em algum lugar ou encontrou-se com uma certa pessoa, ou seja, a noção de familiaridade com o local, a pessoa, etc., esse é o resultado da recuperação de fatos ocorridos anteriormente pela memória retrospectiva. Além da familiaridade, há também em complemento a noção de quando o evento ocorreu.

O córtex perirrinal parece ser responsável pela medida de familiaridade e pela medida do tempo retrospectivo, pois lesões dessa região comprometem a memorização dos fatos, impedindo o indivíduo de reconhecer a repetição de eventos e do tempo decorrido desde a sua

última ocorrência. Assim, os neurônios perirrinalis parecem estar encarregados da memorização da ocorrência de um evento, enquanto que outras áreas envolvidas com memória parecem se encarregar da memorização das características do evento.

#### 4.4.3. Memória de trabalho

A 'memória de trabalho' permite aos humanos (e outras espécies) manter uma quantidade limitada de informação em um estado ativo por um breve período de tempo e manipular esta informação. Ela é um tópico de muito interesse de estudo, pois a manipulação 'on-line' da informação pode ser um ponto importante nos processos cognitivos superiores, tais como raciocínio, tomada de decisão, solução de problemas, descoberta de relação entre fatos, compreensão de linguagem e aprendizagem.

Recentes descobertas apontam para o córtex pré-frontal como o organizador da memória de trabalho, que, além desta tarefa, está ligado a funções superiores como memória e aprendizagem. Esta região não apenas mantém dados na memória de trabalho mas também pode coordenar as atividades das regiões sensoriais que servem a um raciocínio mais elevado.

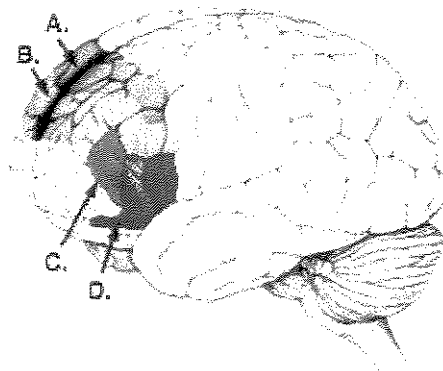


Figura 4.2 – Organização da memória de trabalho. A. memória de trabalho espacial; B. memória de trabalho espacial, desempenho de tarefas auto-ordenadas; C. memória de trabalho espacial, de objeto e verbal, de tarefas auto-ordenadas e de raciocínio analítico; D. memória de trabalho de objeto e de raciocínio analítico.

Parece que existem diferentes memórias de trabalho para diferentes tipos de informação (figura 4.2). A memória de trabalho não é um sistema único. Evidências

comportamentais, neuropsicológicas e de neuroimagem indicam que existem sistemas separados para a informação verbal e para a visual, sendo que para esta última uma parte do córtex pré-frontal está envolvida na memória de trabalho para a identidade do objeto e a outra na memória de trabalho para localizações espaciais.

De modo geral, cada sistema de memória de trabalho, seja verbal ou visual, possui três diferentes componentes funcionais com distintas implementações neurais, de acordo com a abordagem de Smith & Jonides (1998):

1. um componente puro de armazenagem, cujos conteúdos decaem rapidamente;
2. um componente de recuperação que pode reativar os conteúdos que decaem rapidamente no componente de armazenagem; e
3. um componente executivo que regula o processamento dos conteúdos da memória de trabalho (diferentemente dos outros componentes, os processos executivos podem ser os mesmos para as memórias de trabalho verbal e visual).

Situações que requerem que a pessoa apenas mantenha a informação por um breve período de tempo (tais como o número de um telefone, por exemplo) requerem apenas os componentes de armazenagem e recuperação, enquanto situações que requerem que a pessoa manipule a informação que está sendo mantida na memória de trabalho (tais como um mapa mental de um país, por exemplo) freqüentemente envolvem também o componente executivo além dos outros dois.

Alguns pesquisadores acreditam que a memória de trabalho é uma importante medida de inteligência e compreensão de linguagem, e que o raciocínio é uma soma das capacidades da memória de trabalho.

Graças ao padrão de inervação recíproca, no qual uma área de hierarquia menor envia e recebe conexões de outra área de hierarquia maior, a ativação do córtex frontal pode ativar áreas parietais e temporo-parietais para recriar ou reavivar eventos e fatos ocorridos num passado imediato ou remoto. Este processo de retroalimentação a partir dos sistemas frontais nos permite também utilizar a imaginação como fonte de criação.

Por esses motivos, os circuitos frontais são importantes para a manutenção da memória de trabalho. Enquanto seus neurônios se mantiverem ativados, poderão recriar eventos e fatos a nível consciente, através da reativação dos sistemas corticais primários.

## 4.5. Planejamento

O planejamento (ou planificação) de ações e a simulação de suas conseqüências utilizam muito os mecanismos de memória prospectiva e retrospectiva. Supõe-se que o lobo frontal esquerdo está mais envolvido com o seqüenciamento temporal dos eventos nestas tarefas, ao passo que o lobo frontal direito está mais envolvido com a localização espacial das ações a serem executadas. Para o fornecimento de dados sobre memórias passadas (como estratégias, regras, nomes, faces, locais, endereços, odores, brincadeiras, acontecimentos, etc.) que serão utilizadas para compor o plano e para simular resultados do plano, essas áreas podem recrutar diversos circuitos neurais especializados, tantos verbais quanto visuais. O processo de simulação de ações está associado à chamada imagem mental. Ele permite a otimização e refinamento do plano através da análise das conseqüências das ações, permitindo até definir alternativas.

De modo geral, aprendizagem e planejamento estão intimamente associados. Muito do aprendizado é decorrente da avaliação dos resultados do planejamento de ações passadas, o que indica que durante o processo de aprendizagem muito da memória prospectiva e da retrospectiva está aliado às atividades organizadas pela memória executiva.

## 4.6. Funções especializadas do córtex cerebral

Embora o sistema nervoso seja um todo único, determinadas regiões cerebrais estão mais diretamente ligadas a certas funções. Como foi visto nas seções anteriores, pode-se distinguir espacialmente no córtex cerebral diversas áreas, com limites e funções relativamente definidos.

As áreas corticais da figura 4.3 apresentam genérica e resumidamente as seguintes funções:

1. córtex motor primário (giro pré-central) – iniciação do comportamento motor;
2. córtex somatossensorial primário – recepção da informação tátil do corpo (tato, vibração, temperatura, dor);
3. córtex pré-frontal – planejamento, emoção, julgamento, memória;

4. córtex de associação motor (área pré-motora) – coordenação do movimento complexo;
5. centro da fala (área de Broca) – produção da fala e articulação;
6. córtex auditivo – detecção da intensidade do som;
7. área de associação auditiva – processamento complexo da informação auditiva e memória;
8. área de associação sensorial – processamento da informação multissensorial;
9. área de associação visual – processamento complexo da informação visual, percepção do movimento;
10. córtex visual – detecção de estímulo visual simples;
11. área de Wernicke – compreensão da linguagem.

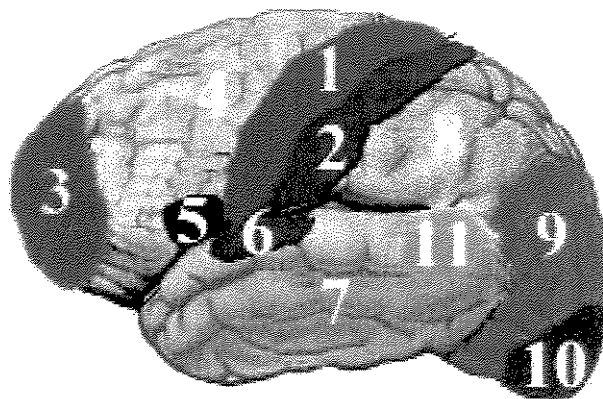


Figura 4.3 – Áreas corticais especializadas.

## 4.7. O cérebro como um sistema distribuído

Por todas as discussões anteriores pode-se ver que, para os vários tipos de tarefas cognitivas, diferentes regiões do cérebro, dependendo do estímulo que é fornecido (auditivo, visual, somatossensorial, etc.), são ativadas através da coordenação de parcerias para processar essas tarefas, indicando que espacialmente existe uma certa especialização cortical no processamento das informações. Este tipo de distribuição explica também porquê o cérebro lesionado sofre alterações em várias de suas funções ao mesmo tempo.

Embora regiões específicas possam se especializar na solução de certos tipos de problemas, o cérebro tem uma capacidade de adaptar o indivíduo a novas exigências do ambiente. Esta capacidade de adaptação é dependente da capacidade do cérebro de reorganizar seus circuitos neurais. Tal reorganização possibilita o emprego de grupos neuronais distintos na solução de diferentes tarefas, de maneira que um mesmo neurônio pode participar de processamentos diferentes, desde que suas habilidades sejam solicitadas na solução dessas tarefas.

Cada uma das áreas, ou grupos neuronais, que são ativadas durante a execução de uma dada tarefa pode ser então considerada como um agente especializado na solução da tarefa. Assim, o cérebro pode então ser visto como um sistema distribuído frouxamente conectado, em que os diversos agentes especializados cooperam na solução de uma tarefa, e cuja especialização é baseada na comunicação entre as áreas funcionais de processamento de informação.

Também assume-se que existe um sincronismo e uma hierarquia dos agentes (como no caso visual do fluxo de inervação recíproca com retroalimentação de informação), bem como diferentes graus de especialização de agentes, visto que algumas regiões cerebrais são sempre recrutadas para auxiliar a solucionar um problema (e.g., memória), e outras recrutadas apenas em algumas circunstâncias (e.g. reconhecimento de faces, vozes, cores, etc.), dependendo do tipo do problema. As regiões que são recrutadas em casos muito diferentes são ditas pouco especializadas, ao passo que as regiões recrutadas em situações bem definidas são ditas muito especializadas.

A solução global inteligente de uma certa tarefa é dada pela integração entre os agentes (entre as áreas cerebrais) que participam da execução de partes desta tarefa e que:

- especializam-se em solucionar problemas específicos em função das ferramentas que possuem; e
- formam diferentes associações para lidar com tarefas distintas (versatilidade), cuja solução requer o uso de diferentes tipos de ferramentas.

## 5. Metodologia

*Nosso cérebro é o melhor brinquedo  
já criado: nele se encontram todos os  
segredos, inclusive o da felicidade.”  
(Charles Chaplin)*

### 5.1. Introdução

Para estudar a cognição da criança deficiente, adquiriu-se o eletroencefalograma (EEG) da criança enquanto ela executava tarefas propostas, que eram jogar jogos no computador. Uma pedagoga auxiliava a criança no desenvolvimento de um jogo, enquanto dois computadores diferentes ligados em rede registravam separadamente o desempenho da criança no jogo (em relação aos eventos que ocorrem enquanto ela brinca) e o seu registro eletroencefalográfico durante a realização do jogo, conforme a figura 5.1.

Após aquisição do EEG, os registros foram processados segundo a metodologia proposta neste trabalho e descrita na seção 5.6. Os resultados do processamento foram usados como os parâmetros de avaliação dos grupos formados através de divisões das características das crianças submetidas à pesquisa, conforme será explicado nas seções seguintes. As análises finais basearam-se nestes grupos de estudo.

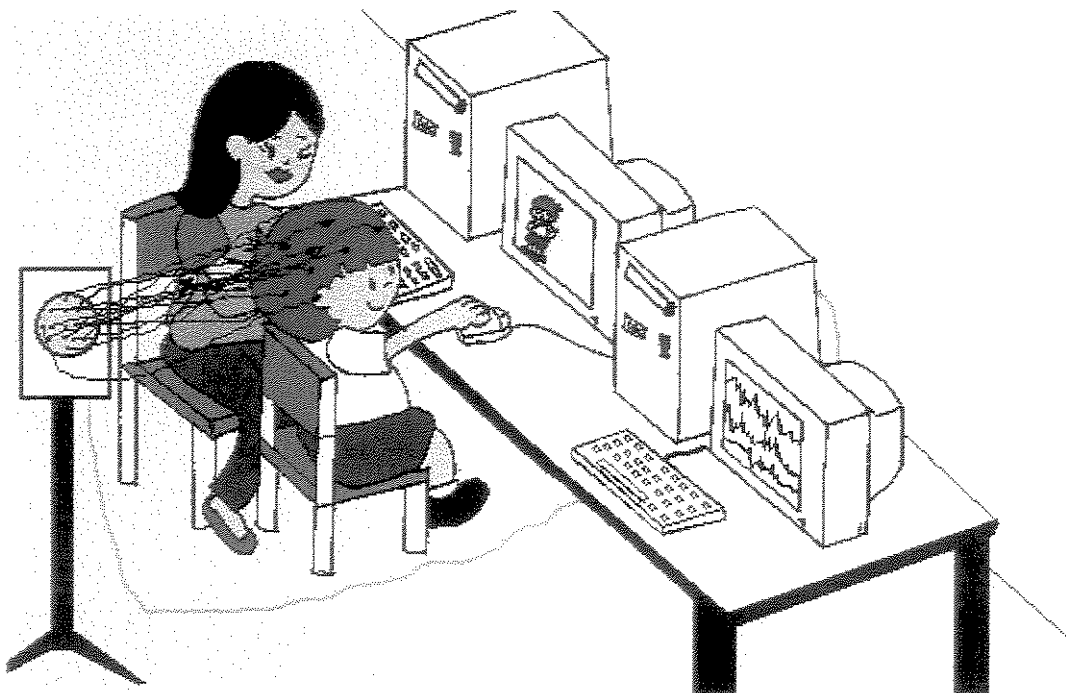


Figura 5.1 – Aquisição do EEG durante a realização de um jogo.

## 5.2. Grupos de estudo

Foram avaliadas um total de 91 crianças com idades entre 7 e 17 anos, de ambos os sexos, com dificuldades de aprendizagem ou deficiências mentais muitas vezes associadas a comprometimentos auditivo, visual e/ou motor. Estas crianças freqüentavam a mesma escola de educação especial em Jundiaí-SP, e os Q.I.s delas estavam na faixa de 70 a 80, de acordo com a escala de Terman. Esta população foi selecionada porque um dos objetivos do trabalho é investigar como a atividade cerebral do deficiente se relaciona com a inteligência e com a aprendizagem.

Os jogos foram projetados atribuindo-se diferentes níveis de desafio para estas crianças, a fim de fornecer os dados necessários para a avaliação da correlação entre a atividade do EEG. Cada voluntário jogou um conjunto de jogos pré-definidos, mas nem todos os jogos disponíveis. O conjunto de jogos variou de acordo com o nível de educação do voluntário.

A finalidade dos jogos foi avaliar aspectos cognitivos das crianças em três modalidades: processamento visual, linguagem e raciocínio. Para o processamento visual utilizou-se três jogos distintos: rotação de números, rotação de letras e rotação da figura humana; para linguagem foram utilizados dois jogos: charada de profissões e charada de instrumentos; e para o raciocínio, apenas um jogo de quebra-cabeça.

Todas as crianças realizaram os jogos e a aquisição do eletroencefalograma na presença de um médico, de uma pedagoga e de um técnico.

Os grupos de estudo foram constituídos segundo três abordagens diferentes: sexo, classe escolar e lesão.

### 5.2.1. Grupo 1: sexo

Este grupo apresenta todas as crianças, separadas pelo sexo, que jogaram algum dos seis jogos. A tabela 5.1 o número de crianças de cada sexo em cada jogo, independentemente se possuíam ou não ressonância magnética.

| Jogo                     | M  | F  | Total |
|--------------------------|----|----|-------|
| Rotação de números       | 47 | 44 | 91    |
| Rotação de letras        | 43 | 42 | 85    |
| Rotação da figura humana | 43 | 41 | 84    |
| Charada de profissões    | 46 | 43 | 89    |
| Charada de instrumentos  | 46 | 42 | 88    |
| Quebra-cabeça            | 43 | 38 | 81    |

Tabela 5.1 – Distribuição da crianças por sexo em cada jogo  
(M = masculino e F = feminino).

### 5.2.2. Grupo 2: classe escolar

O primeiro grupo refere-se à separação de todas as crianças por classes escolares, isto é, separa-se as crianças de acordo com o seu estágio de aprendizagem no programa educacional da escola objeto de estudo. A tabela 5.2 apresenta o número de crianças por classe.

| Jogo                     | Pré 1 | Pré 2 | Alfa 1 | Alfa 2 | Total |
|--------------------------|-------|-------|--------|--------|-------|
| Rotação de números       | 20    | 23    | 21     | 13     | 77    |
| Rotação de letras        | 18    | 22    | 21     | 13     | 74    |
| Rotação da figura humana | 18    | 23    | 19     | 13     | 73    |
| Charada de profissões    | 19    | 23    | 20     | 13     | 75    |
| Charada de instrumentos  | 18    | 22    | 21     | 13     | 74    |
| Quebra-cabeça            | 16    | 23    | 19     | 13     | 71    |

Tabela 5.2 – Separação das crianças por classe escolar em cada jogo.

Pré-escola 1 (Pré 1) e Pré-escola 2 representam as crianças nas duas fases iniciais consecutivas do processo de aprendizagem. As classes Alfabetização 1 (Alfa 1) e Alfabetização 2 (Alfa 2) constituem-se das crianças que estão nas fases de alfabetização do ensino fundamental, representando fases mais avançadas do processo educacional. Geralmente, as crianças de menor idade encontram-se nas primeiras classes e as mais velhas nas últimas classes, embora este não seja um critério tão rigoroso.

Neste grupo, nem todas as crianças, mas a sua maioria, possuíam exame de ressonância magnética.

### 5.2.3. Grupo 3: lesão

Algumas das crianças estudadas possuíam um exame neuroanatômico por uma técnica de neuroimagem para o seu acompanhamento: a ressonância magnética. Através dela pode-se diagnosticar o tipo de lesão cerebral que cada uma delas possuía. Assim, um segundo grupo de estudos foi montado para cada jogo, segundo o tipo de lesão destas crianças. Ou seja, entram neste grupo apenas as crianças que possuíam o exame de ressonância magnética.

Para a montagem deste grupo foram estabelecidas oito categorias de lesão constatadas na ressonância magnética: ressonância normal (sem lesão cerebral evidente), leucomalácia, afilamento ao nível do tronco corpo caloso (CC tronco), gliose, assimetria ventricular (ASV), corpo caloso global (CC global), e colpocefalia. Estas categorias são descritas como:

- ressonância normal – indivíduos com deficiência mental, mas com uma estrutura macroscópica cerebral preservada.

- Leucomalácia – indivíduos com lesão de origem provavelmente isquêmica, devido a eventos anóxicos pré e perinatais. Nas crianças estudadas, estas lesões atingiram principalmente os lobos parietais e occipitais.
- Assimetria ventricular (ASV) – indivíduos que tiveram perda de substância branca no hemisfério cerebral, onde um ventrículo lateral se mostrou mais dilatado. Na população estudada essa perda predominou no hemisfério esquerdo.
- Gliose – indivíduos que apresentaram lesão difusa atingindo várias áreas cerebrais, com uma ligeira predominância nos lobos frontais, incluindo também lesões na substância branca.
- Alterações do corpo caloso – indivíduos que apresentaram lesão no corpo caloso, sendo esta lesão dividida em: hipoplasias globais (CC global) que acompanhavam outras lesões graves ou parciais, e lesão predominante próxima ao tronco do corpo caloso (CC tronco).
- Colpocefalia – indivíduos que mostraram um alargamento congênito anormal dos cornos occipitais dos ventrículos laterais.

A tabela 5.3 mostra o número de crianças que jogaram cada jogo, já separadas por tipos de lesões.

| <b>Diagnóstico da ressonância</b> | <b>Rotação de números</b> | <b>Rotação de letras</b> | <b>Rotação da figura humana</b> | <b>Charada profissões</b> | <b>Charada instrumentos</b> | <b>Quebra-cabeça</b> |
|-----------------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------|
| Leucomalácia                      | 6                         | 7                        | 7                               | 7                         | 7                           | 8                    |
| CC tronco                         | 8                         | 8                        | 8                               | 8                         | 8                           | 9                    |
| Gliose                            | 5                         | 5                        | 5                               | 5                         | 5                           | 6                    |
| ASV                               | 13                        | 13                       | 11                              | 12                        | 12                          | 11                   |
| CC global                         | 3                         | 3                        | 4                               | 3                         | 3                           | 4                    |
| Colpocefalia                      | 3                         | 3                        | 3                               | 3                         | 3                           | 4                    |
| Resson. normal                    | 18                        | 16                       | 16                              | 15                        | 16                          | 13                   |
| <i>Lesionadas<sup>6</sup></i>     | 31                        | 31                       | 30                              | 30                        | 30                          | 31                   |
| <i>Total<sup>7</sup></i>          | 49                        | 47                       | 46                              | 45                        | 46                          | 44                   |

Tabela 5.3 – Separação das crianças por tipo de lesão em cada jogo.

<sup>6</sup> O número de crianças lesionadas corresponde ao número total de crianças que apresentam um ou mais tipos de lesão, não significando a soma de todas as lesões.

<sup>7</sup> Total = número de crianças com lesão (lesionadas) + número de crianças com ressonância normal.

Houve uma alta incidência de associações de lesões, chamando a atenção a associação entre leucomalácia e alterações do corpo caloso. As crianças com deficiência cerebral mas com exame de ressonância magnética sem lesão aparente (normal) foram usadas como referência para as comparações com as crianças com outros tipos de lesão. Por simplicidade, estas crianças passarão a partir de agora a serem referenciadas como ‘ressonância normal’, embora tenha-se que ter em mente que estas crianças são crianças deficientes mentais, apesar do exame de ressonância magnética não ter indicado nenhuma estrutura cerebral lesionada.

Deve-se lembrar que nem todas as crianças jogaram todos os jogos e uma criança pode apresentar mais de um tipo de lesão.

Algumas crianças não puderam ser classificadas em algumas das classes de aprendizagem, porém elas foram inseridas na classificação das lesões por apresentarem ou não, segundo exame de ressonância magnética, algum tipo de lesão. Além do mais, uma criança pode ter sido contada mais de uma vez, por possuir mais de um tipo de lesão. Por isso, o número total de crianças em cada jogo na tabela 5.3 não são os mesmos se comparados com a tabela 5.2.

Para verificar-se qual o número de crianças que participaram do grupo separado por classe escolar mas não participaram do grupo separado por lesão em cada jogo deve-se consultar as tabelas 6.2 a 6.7.

### 5.3. Jogos e eventos relacionados

Um jogo é um roteiro composto por um conjunto de atividades educacionais relacionadas a um mesmo assunto ou conceito. Estes conceitos podem ser, por exemplo, a orientação espacial de objetos, o reconhecimento de formas ou objetos, a discriminação de sons, dentre outros.

Enquanto a criança está realizando um jogo, vários *registros* são feitos pelo computador que suporta o jogo, tais como, início e fim do jogo, início e fim do som, os acertos e erros de cada jogo, e escolha de peças. Isto é, registra-se os acontecimentos que ocorrem durante a execução do jogo. Estes são os chamados *eventos*. Os registros sinalizam o tipo de evento e o correspondente tempo em que ele ocorreu. Quando se estuda a ativação cortical durante processos cognitivos, o requisito mais importante é separar os componentes cognitivos

dos componentes sensoriais de uma tarefa. Os eventos desempenham exatamente esta função. Interessa analisar momentos em torno da ocorrência desses eventos, com uma determinada duração.

A resposta às atividades educacionais dos jogos é dada pelo manuseio e clique do “mouse”. O clique do “mouse” representa um tipo de acontecimento, dependendo da situação do jogo, definindo o tipo do evento.

Apresenta-se a seguir os seis tipos de jogos educacionais utilizados na avaliação das crianças: rotação de números, rotação de letras, rotação da figura humana, charada de profissões, charada de instrumentos e quebra-cabeça.

### 5.3.1. Rotação de números

Este jogo consiste em, dado um objeto-modelo (um algarismo arábico), encontrar e selecionar em um conjunto de objetos formado por diversas rotações do objeto-modelo o objeto que seja exatamente igual ao modelo. A solução correta é sempre uma escolhida entre cinco objetos (e.g., número 5 na fig. 5.2). Os objetos são randomicamente ordenados ao serem usados como modelo. Após todos os objetos serem usados como modelo um novo conjunto de objetos é selecionado. O jogo todo compreende quatro diferentes conjuntos de objetos (sessões).

A tabela 5.4 abaixo indica os parâmetros usados no processamento do EEG em todos os tipo de jogos de rotação. Ela relaciona o tipo de evento, o tempo de início da observação do evento a partir de sua ocorrência e o tempo de duração dessa observação.

Os eventos que são importantes para o jogo de rotação são a apresentação do modelo e suas variações, que corresponde ao evento *apresentação*, e o resultado da tomada de decisão sobre a escolha da figura que corresponde ou modelo, e que pode ser um *acerto* ou um *erro*. Este é um jogo que objetiva verificar aspectos cognitivos visuais.

| <i><u>Evento</u></i>              | <i><u>Início (s)</u></i> | <i><u>Duração (s)</u></i> |
|-----------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| <i>Após a apresentação visual</i> | 0                        | 2                         |
| <i>Antes da decisão correta</i>   | -2                       | 2                         |
| <i>Antes da decisão errada</i>    | -2                       | 2                         |

Tabela 5.4 – Eventos analisados nos jogos de rotação.

O conjunto designado pelos eventos e seus respectivos tempo de início de processamento e de duração da observação passará a ser chamado de *protocolo*.

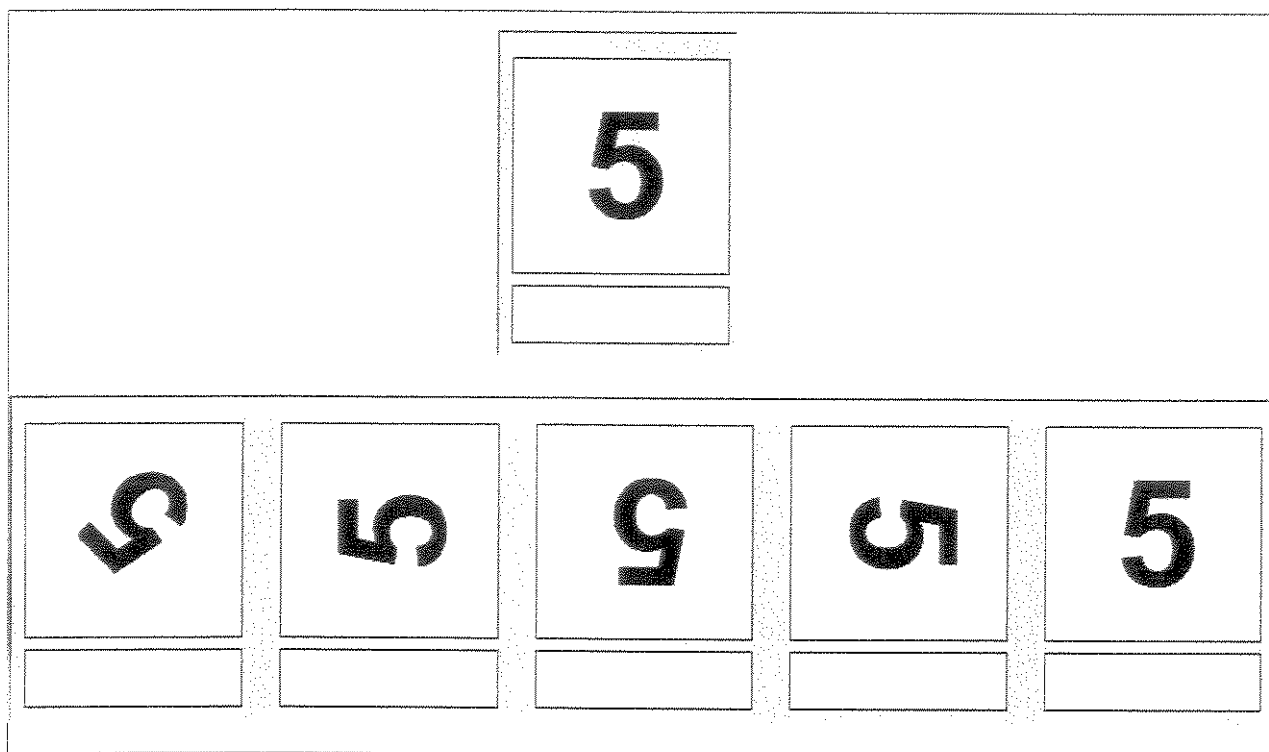


Figura 5.2 – Jogo de rotação de números.

### 5.3.2. Rotação de letras

Dado um modelo e um conjunto de cinco objetos iguais (letra R na fig. 5.3) em diferentes rotações, deve-se selecionar o objeto na mesma orientação espacial do objeto indicado como modelo. As posições dos objetos são randomicamente ordenadas ao serem usadas como modelo. Após todas as posições serem usadas como modelo um novo conjunto é selecionado. O jogo completo compreende quatro sessões diferentes.

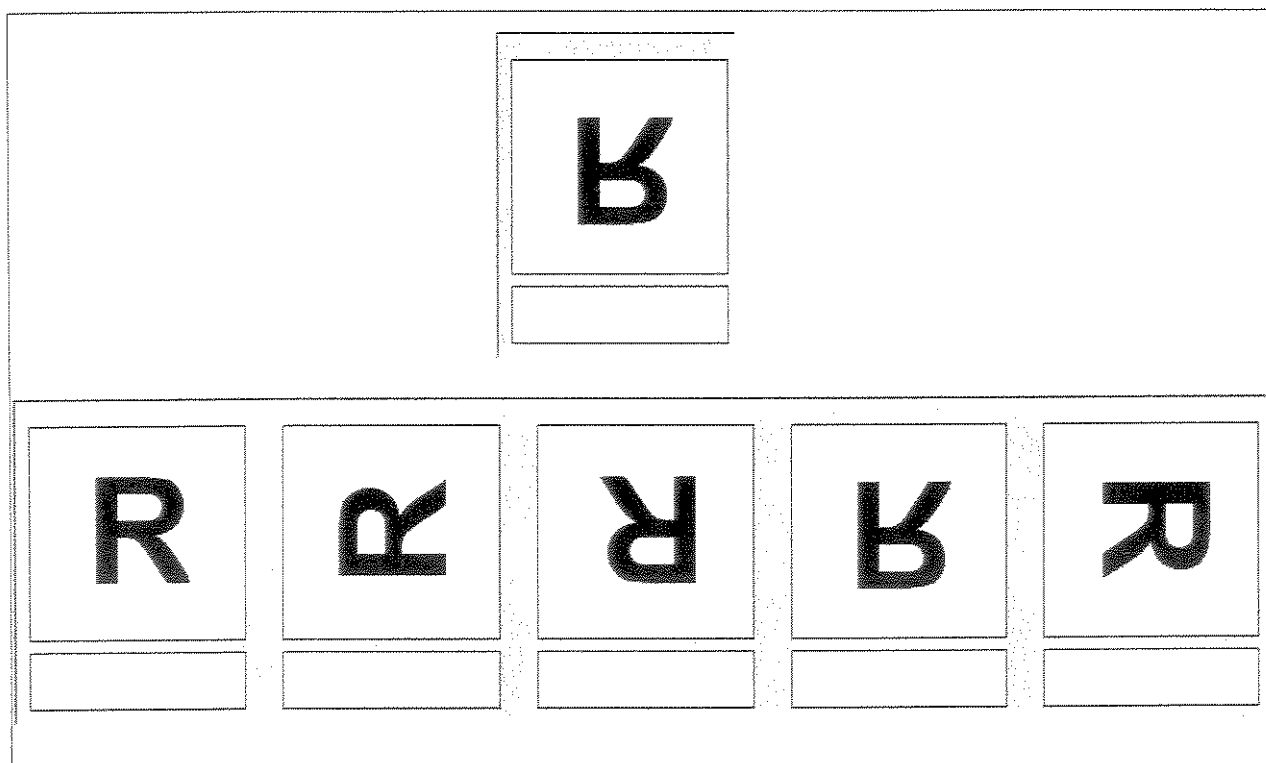


Figura 5.3 – Jogo de rotação de letras.

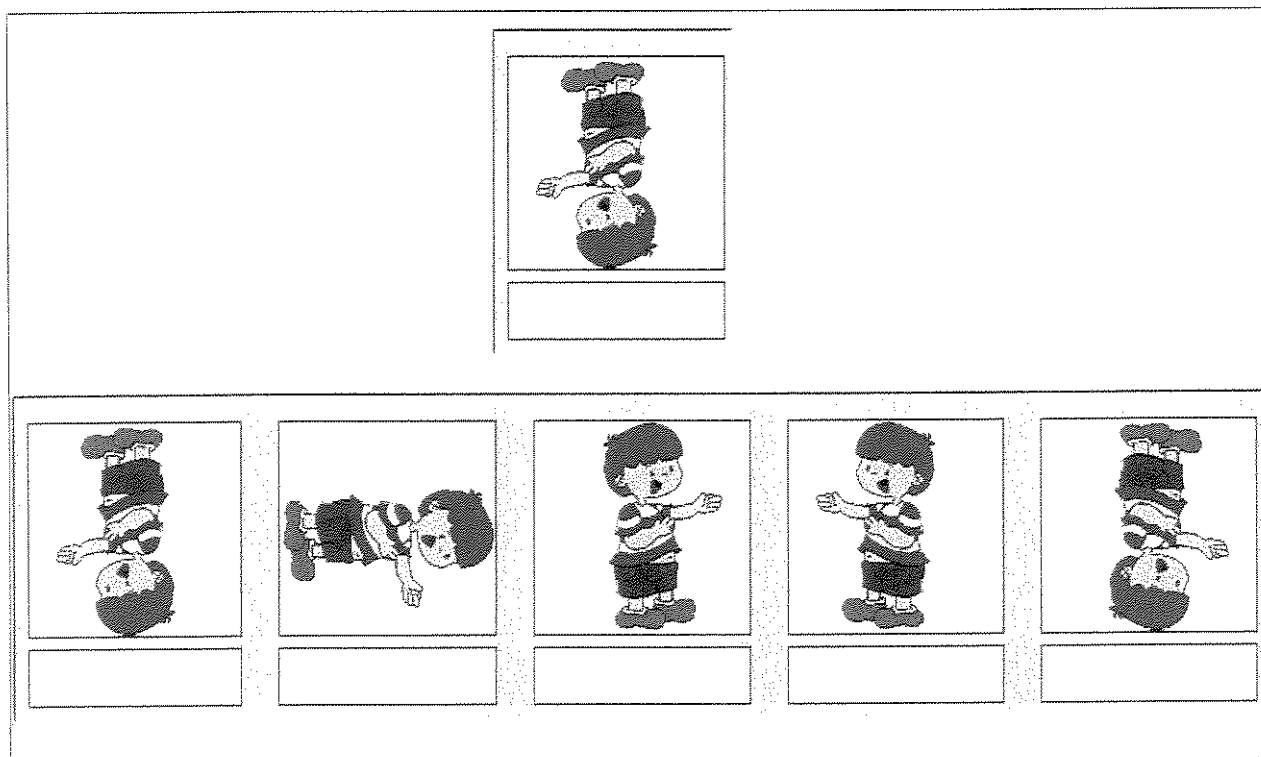


Figura 5.4 – Jogo de rotação da figura humana.

### 5.3.3. Rotação da figura humana

Neste jogo, apresenta-se como modelo a figura de uma pessoa e faz-se a rotação desta figura em diferentes posições espaciais. Deve-se eleger no conjunto de figuras rotacionadas a figura que esteja na mesma rotação que a apresentada como modelo, como mostra a figura 5.4.

Repete-se para este jogo os mesmos procedimentos descritos para rotação de número e rotação de letras. Este jogo também possui quatro sessões.

O modelo é sempre apresentado 500 ms antes que as possíveis soluções sejam mostradas para a tomada de decisão nos três jogos de rotação descritos acima. As respostas certas e erradas são sinalizadas por diferentes símbolos visuais exibidos após a tomada de decisão. O modelo é mudado apenas após as decisões corretas. O mesmo modelo permanece após as decisões erradas, embora a localização das figuras de comparação mudem randomicamente. Os eventos de interesse nestes jogos são: a apresentação da informação visual e a sinalização visual das decisões certas ou erradas.

### 5.3.4. Charada de profissões

Neste jogo, algumas frases que descrevem uma profissão (e.g. *“Dirijo um ônibus, posso levar muitas pessoas de um lugar para o outro, respeito as leis de trânsito.”*, para descrever um motorista; e *“Conserto os carros, uso macacão e várias ferramentas.”*, para descrever um mecânico) são fornecidas 500 ms antes de cinco diferentes profissões serem mostradas para a tomada de decisão. A duração do som que descreve a figura que representa o profissional está entre 7 e 12 segundos, em média. A figura 5.4 mostra um exemplo típico deste jogo.

As descrições verbais são randomicamente apresentadas e mudadas somente após as decisões corretas. Depois que todas as profissões do conjunto são randomicamente apresentadas e suas posições mudadas, o jogo termina.

As respostas corretas e incorretas são sinalizadas por diferentes símbolos visuais mostrados após a tomada de decisão.

Os eventos de interesse neste jogo são o início e o fim do som verbal, a apresentação das opções da profissão descrita e a sinalização de acerto ou de erro das decisões tomadas.

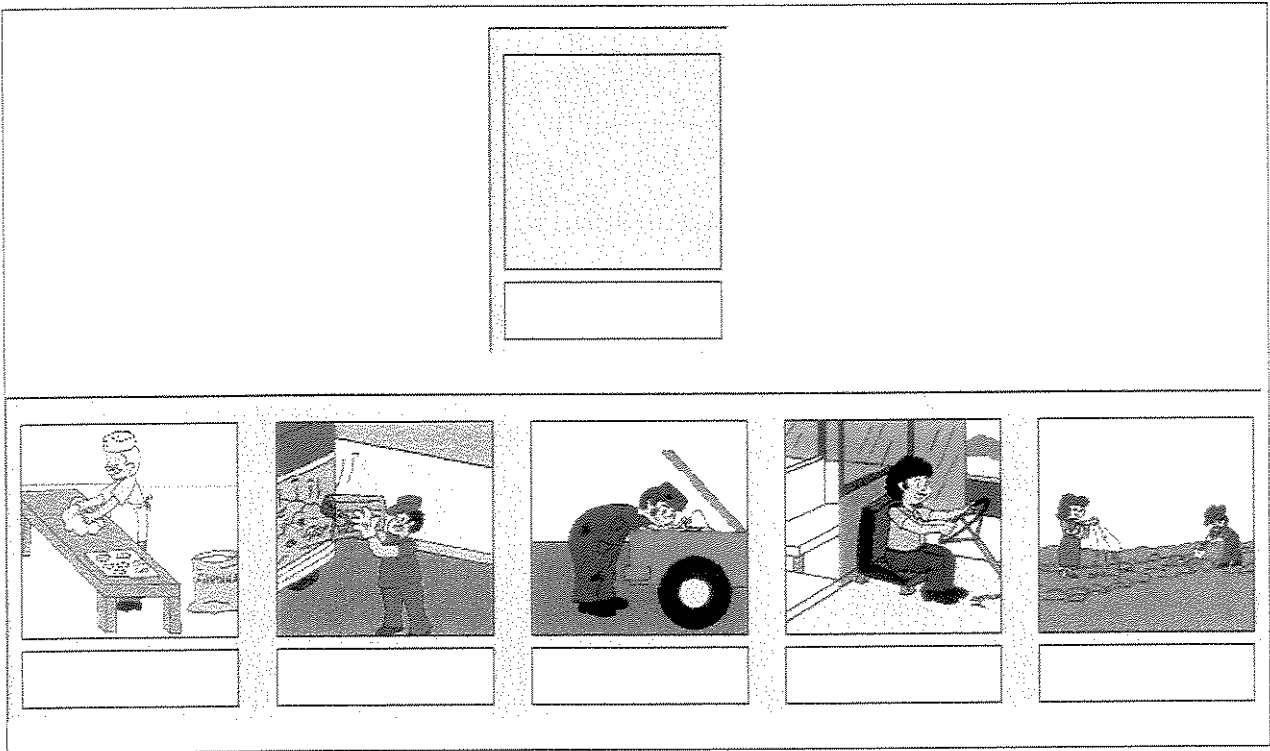


Figura 5.5 – Jogo de charada de profissões.

Os jogos de charada são formados por eventos que abordam aspectos verbais e outros que abordam aspectos visuais. Em relação aos aspectos verbais, o que é relevante é o *início* e o fim da descrição do objeto-alvo. Para a análise da parte visual interessa a *apresentação* das imagens e as decisões tomadas, revelando *acerto* ou *erro* na escolha do objeto.

A tabela 5.5 mostra o protocolo usado no processamento do EEG para os jogos de charada.

| <i><u>Evento</u></i>              | <i><u>Início (s)</u></i> | <i><u>Duração (s)</u></i> |
|-----------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| <i>Início do som</i>              | 0                        | 2                         |
| <i>Fim do som</i>                 | -2                       | 2                         |
| <i>Após a apresentação visual</i> | 0                        | 2                         |
| <i>Antes da decisão correta</i>   | -2                       | 2                         |
| <i>Antes da decisão errada</i>    | -2                       | 2                         |

Tabela 5.5 – Eventos analisados nos jogos de charada.

### 5.3.5. Charada de instrumentos

Este jogo é idêntico ao jogo de charada de profissões, diferenciando-se apenas por apresentar descrições de ferramentas no lugar de profissões.

Alguns estudos científicos propõem que os conceitos ligados a ferramentas estejam localizados em uma região cortical específica. Por isso este jogo foi elaborado.

As frases que descrevem as ferramentas são do tipo: “*Uso para apertar parafuso.*”, descrevendo *chave de fenda*; “*Uso para pregar prego.*” para *martelo*; e “*Uso para serrar madeira.*” para *serrote*. Estas frases são mais curtas que as da charada de profissões e duram aproximadamente 2 ou 3 segundos.

Os mecanismos de sinalização de resposta na tomada de decisão e os eventos analisados neste jogo são exatamente os mesmos descritos para o jogo de charada de profissões.

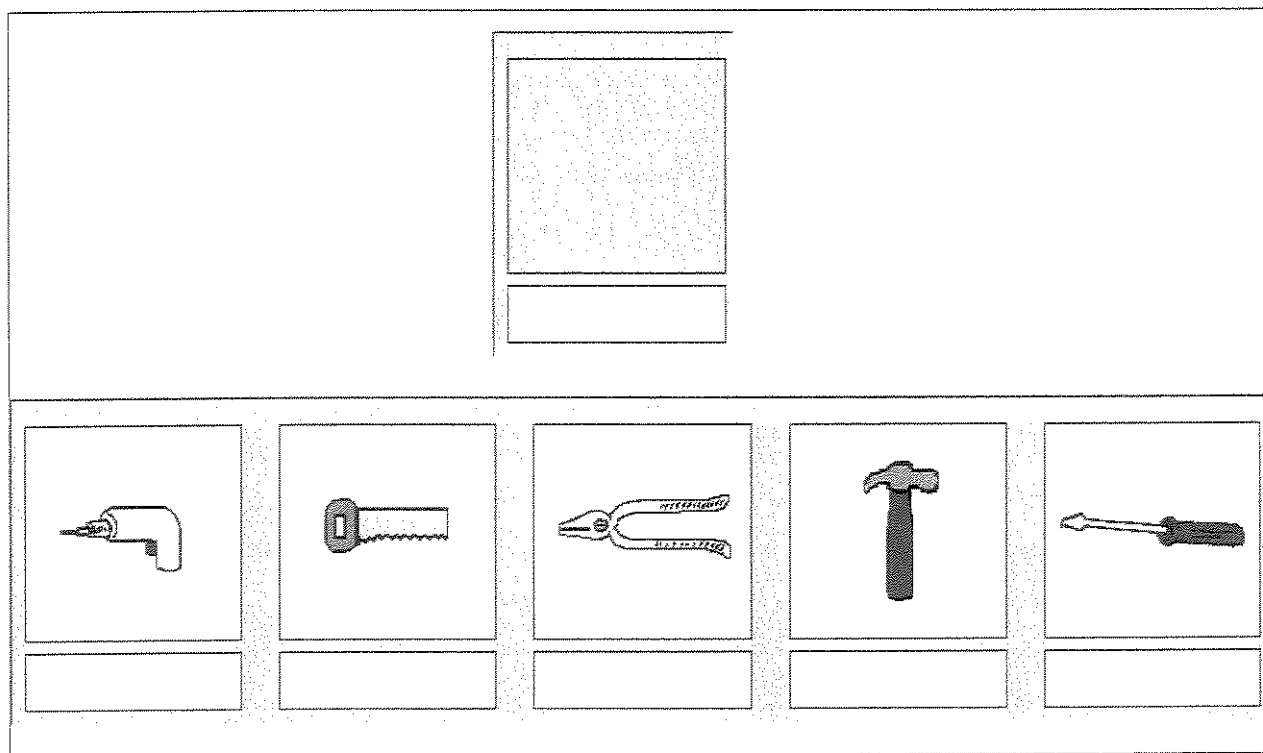


Figura 5.6 – Jogo de charada de instrumentos.

### 5.3.6. Quebra-cabeça

O quebra-cabeça é composto por nove peças de uma cena com um animal ou um objeto utilizado como modelo (fig. 5.7). Estas peças devem ser montadas em um retângulo com nove posições. Três diferentes figuras a serem montadas constituem este jogo.

Um sinal de advertência indica qualquer colocação errônea de uma peça, e neste caso, o indivíduo tem que remover a peça mal colocada antes de tentar colocar uma outra peça.

Os eventos que interessam neste jogo são a seleção da peça, a colocação correta da peça selecionada e a sinalização de colocação errada. Cada sessão do jogo envolve pelo menos 27 tomadas de decisão se nenhum erro for cometido.

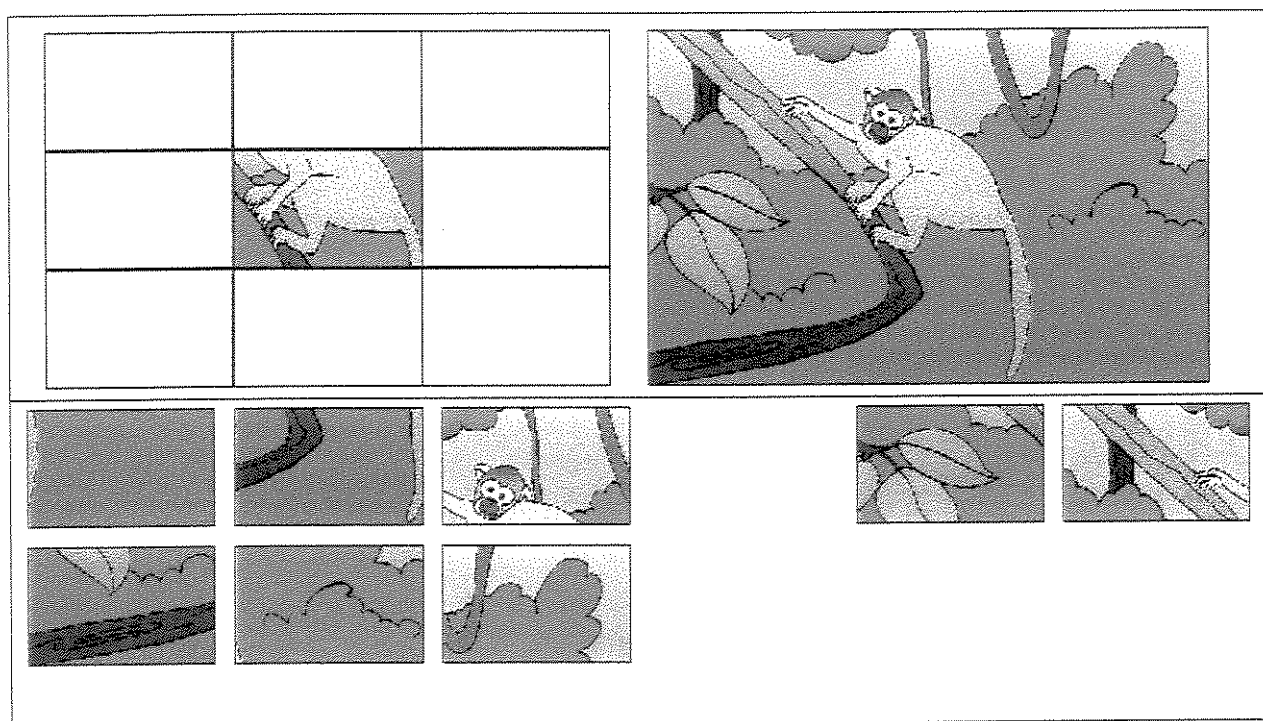


Figura 5.7 – Jogo de quebra-cabeça.

O quebra-cabeça é basicamente uma atividade de raciocínio. O que é de interesse é avaliar o que acontece nos momentos anteriores e posteriores à *escolha* de uma peça, à colocação *correta* (acerto) da peça e quando uma peça é colocada em um local indevido (*erro*).

A tabela 5.6 indica os eventos e os respectivos intervalos de tempo considerados para a análise do jogo de quebra-cabeça.

| <i><u>Evento</u></i>                      | <i>Início (s)</i> | <i>Duração (s)</i> |
|-------------------------------------------|-------------------|--------------------|
| <i>Antes da escolha da peça</i>           | -1                | 1                  |
| <i>Após a escolha da peça</i>             | 0                 | 2                  |
| <i>Antes da colocação correta da peça</i> | -2                | 2                  |
| <i>Antes da colocação errada da peça</i>  | -2                | 2                  |

Tabela 5.6 – Eventos analisados no jogo de quebra-cabeça.

## 5.4. Aquisição do EEG

Ao se dar início a um jogo, depois que os eletrodos são colocados na criança, um computador ligado ao que suporta o jogo (e registra os eventos ocorridos em cada jogo) armazena simultaneamente o registro da atividade cerebral da criança durante todo o tempo em que ela executa a tarefa. O registro do EEG e dos eventos são posteriormente confrontados para a análise do EEG.

## 5.5. Colocação dos eletrodos

A colocação dos eletrodos no couro cabeludo das crianças durante a execução dos jogos obedeceu as normas da *Federação das Sociedades de Eletroencefalografia e Neurofisiologia Clínica* (IFSECN). O EEG foi registrado com 20 eletrodos colocados de acordo com as bases dos sistema de medidas denominado *Sistema 10-20*, usado para colocar os eletrodos independentemente do tamanho ou forma da cabeça, como ilustrado na figura 5.8. As principais características do aparelho de EEG eram: impedância menor que 10 K $\Omega$ , filtro passa alta de 50 Hz, taxa de amostragem de 256 Hz e 10 bits de precisão.

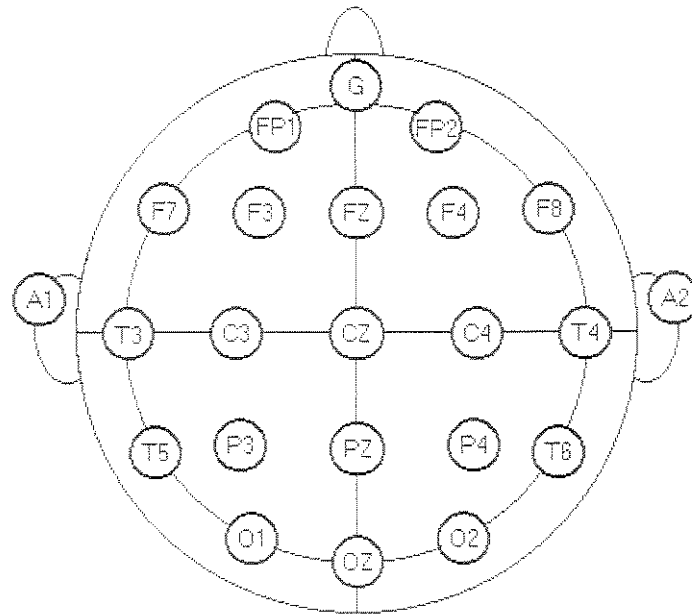


Figura 5.8 – Colocação do eletrodos no Sistema 10-20. FP: frontal polar. F: frontal. C: central. T: temporal. P: parietal. G: terra. A: lóbulo da orelha.

Assim, os 20 eletrodos (FP1, FP2, F7, F3, FZ, F4, F8, T3, C3, CZ, C4, T4, T5, P3, PZ, P4, T6, O1, OZ e O2) são colocados na cabeça da criança para medir a atividade de 20 diferentes áreas do cérebro. G, A1 e A2 são eletrodos de terra e de referências para o registro do EEG. A partir de agora, cada um dos vinte eletrodos associados a uma região cerebral será referido como uma *derivação*. Por exemplo, derivação FP1, derivação T4, etc., ou simplesmente, FP1, T4, etc.

## 5.6. Análise do EEG

A análise do EEG tem o objetivo mapear o comportamento das 20 áreas cerebrais já definidas perante a execução de tarefas cognitivas de diferentes características e de diferentes graus de exigência.

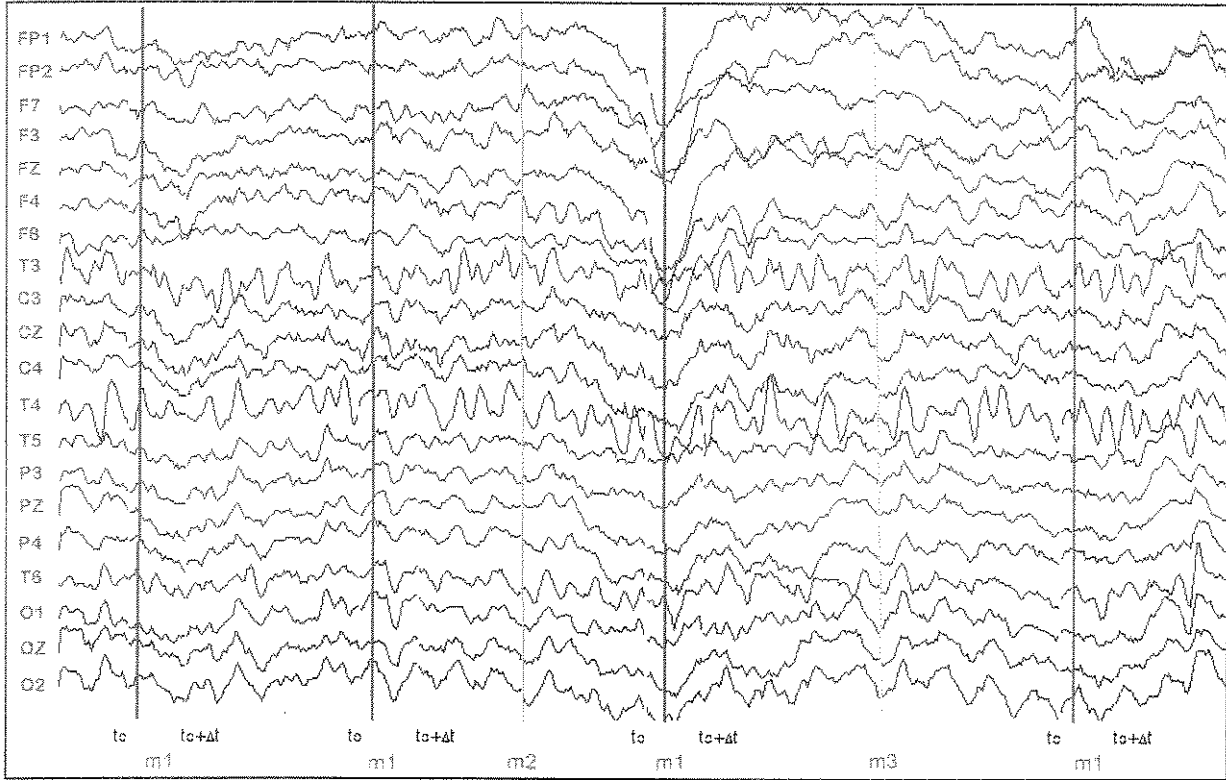


Figura 5.9 – Exemplo de um EEG com o registro dos eventos.

É de interesse observar no EEG somente o que ocorre em alguns instantes próximos à ocorrência de um evento de um jogo (figura 5.9). Os intervalos do EEG que contêm os eventos de interesse registrados durante a execução de um jogo são então promediados. Ou seja, para cada evento ( $m$ ), em todas as derivações, realiza-se a promediação (cálculo da média) dos valores de potencial do EEG ( $v$ ) nos intervalos em que os eventos ocorreram, considerando um dado início de tempo ( $t_o$ ) (positivo ou negativo) em relação ao instante da ocorrência do evento e com uma dada duração ( $\Delta t$ ) (figura 5.9). Explicando melhor, seja  $t_m$  o tempo da ocorrência de um evento  $m$  e  $n$  o número de vezes em que o evento ocorre,  $d$  uma derivação qualquer e  $P$  o intervalo total de tempo promediado (figura 5.10), referente o tempo de observação. Então,

$$P_d^m(t - t_o + 1) = \frac{\sum_{l=1}^n v_d(t_{m_l} + t)}{n}, \quad t \in [t_o, t_o + \Delta t] \quad (5.1)$$

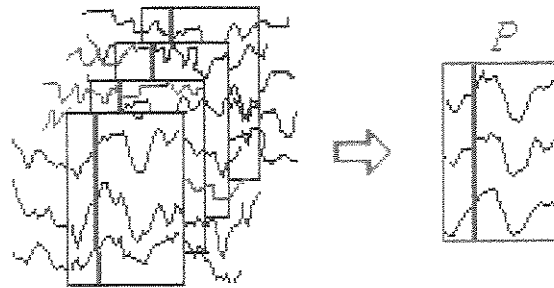


Figura 5.10 – Promediação dos eventos.

Apenas o intervalo de tempo  $\Delta t$  a partir de um dado início de tempo ( $t_o$ ) deve ser observado, pois durante a aquisição do EEG nem todo o registro é necessário, visto que o que interessa para a análise de um evento são os momentos em torno de sua ocorrência, que permitem a avaliação da atividade cerebral relacionada somente a este evento.

O conjunto dos eventos e seus respectivos tempo de início de processamento e de duração em cada jogo é processado segundo o *protocolo* definido para cada jogo.

Visto que uma mesma criança pode jogar um ou mais tipos de jogos, cada um dos jogos por ela jogado deve sofrer um processamento separado do EEG correspondente a tal jogo. O diagrama da figura 5.11 mostra melhor como é o processamento dos eventos ( $P^m$ ) para cada derivação (ou canal) ( $d_i$ ) do EEG em cada jogo realizado por uma criança.

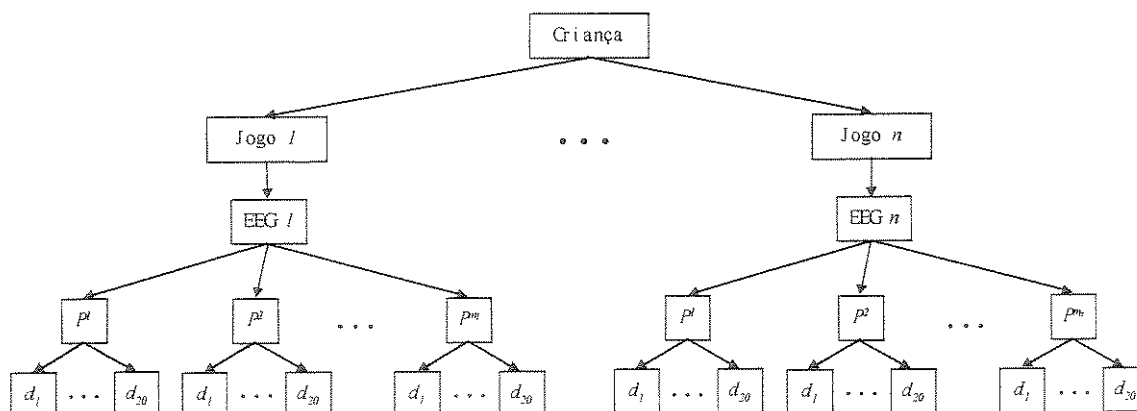


Figura 5.11 – Diagrama de processamento do EEG da criança em cada jogo.

Freqüentemente verifica-se que existe uma relação entre duas (ou mais) variáveis, como no caso de encontrar a relação entre duas derivações. Às vezes é desejável que esta relação seja expressa por meio de uma equação que ligue as variáveis ou por um tipo de medida.

Após a promediação de um certo evento ( $m$ ), calcula-se para este evento como uma derivação (referência) se relaciona com as demais derivações (comparadas). Isto é feito através de uma *análise de regressão*. Seja  $X$  a derivação de referência, onde  $X = P_i^m$  (promediação da referência  $i$ ), e  $Y$  a derivação a ser comparada, onde  $Y = P_j^m$  (promediação da derivação comparada  $j$ ).

A análise de regressão ajusta uma curva que melhor representa a relação entre as variáveis  $X$  (variável independente) e  $Y$  (variável dependente). Esta curva pode ser uma relação linear (linha reta) ou não-linear (polinômio, hipérbole, exponencial, etc.). Para este caso, utilizamos a *regressão linear* pelo *método dos mínimos quadrados* (Spiegel, 1975). A reta de mínimo quadrado que se ajusta ao conjunto de pontos de  $X$  e  $Y$  tem a equação:

$$Y = a + bX \quad (5.2)$$

em que as constantes  $a$  (intercepto) e  $b$  (coeficiente angular ou de regressão) são determinadas mediante a resolução das fórmulas:

$$b = \frac{N \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{N \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (5.3)$$

e

$$a = \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{N \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (5.4)$$

onde,  $N$  é o número de pares  $(X, Y)$ .

Ou então:

$$b = \frac{\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sum (X - \bar{X})^2} \quad (5.5)$$

$$\left. \begin{array}{l} X - \bar{X} \equiv x \\ Y - \bar{Y} \equiv y \end{array} \right\}$$

$$b = \frac{\sum xy}{\sum x^2} \quad (5.6)$$

e

$$a = \bar{Y} - b\bar{X} \quad (5.7)$$

onde,  $\bar{X}$  e  $\bar{Y}$  são, respectivamente, os valores médios de  $X$  e  $Y$ , ou seja:

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N} \quad \text{e} \quad \bar{Y} = \frac{\sum Y}{N} \quad (5.8)$$

A figura 5.12 mostra o diagrama de dispersão entre duas derivações quaisquer  $d_1$  e  $d_2$ . Em (a) tem-se  $d_1 = X$  e  $d_2 = Y$  e em (b),  $d_2 = X$  e  $d_1 = Y$ . Pode-se notar que uma reta representa bem a relação entre as duas derivações, porém, o cálculo de regressão fornece coeficientes diferentes para as retas, dependendo de qual derivação se considera como a variável independente, conforme pode ser percebido nas retas de regressão da figura 5.12.

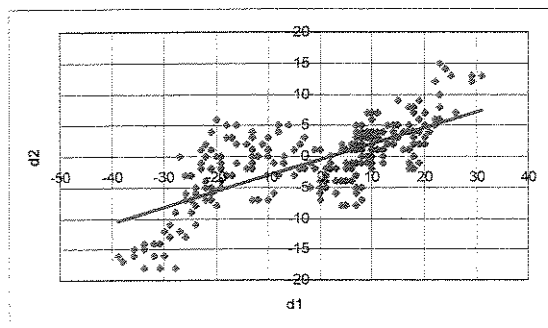
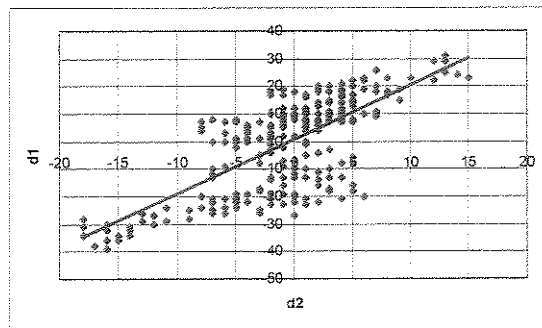
(a)  $d_1 \times d_2$ .(b)  $d_2 \times d_1$ 

Figura 5.12 – Diagrama de dispersão entre duas derivações  $d_1$  e  $d_2$ .

O coeficiente de correlação ( $r$ ) mostra quão estreitamente duas variáveis estão relacionadas.

A correlação linear da atividade das várias áreas cerebrais envolvidas na execução de uma dada atividade é feita após a regressão linear para a atividade promediada, para cada um de seus diversos eventos, segundo a equação modificada a seguir:

$$r = 1 - \frac{N \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[N \sum X^2 - (\sum X)^2][N \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \quad (5.9)$$

Ou então:

$$r = 1 - \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2} \sqrt{\sum y^2}} \quad (5.10)$$

O valor do coeficiente de correlação está, então, no intervalo  $[0, 1]$ . Quanto mais próximo de 1, maior será a correlação entre as variáveis (derivações), e quanto mais próxima de 0, menor é a semelhança entre estas variáveis.

O coeficiente de correlação  $r$  não faz distinção entre a resposta  $Y$  e o regressor  $X$ , como faz o coeficiente de regressão  $b$ . Tanto faz, por exemplo, analisar-se a correlação entre a derivação  $d_1$  e a derivação  $d_2$ , quanto a correlação entre  $d_2$  e  $d_1$ . O coeficiente de correlação entre estas duas variáveis é sempre o mesmo, independentemente de qual seja a derivação considerada como variável independente.

Cada derivação mede e registra o potencial do EEG em uma região do cérebro. É sabido que para que o cérebro realize o seu processamento de maneira eficiente, várias de suas áreas têm que se manter cooperantes e sincronizadas. Para isto, de algum modo, as áreas afins responsáveis pelo processamento de informações e mensagens no cérebro devem estar a maior parte do tempo conectadas para assegurar a comunicação entre estas áreas. Considerando o cérebro como um sistema distribuído frouxamente conectado, as derivações representam agentes especializados (em vários graus) em conectividade, cujo papel é estabelecer a ligação entre as diversas áreas cerebrais. A avaliação de quais áreas são mais ativadas durante a execução de cada um dos tipos de atividades educacionais propostos, que é o objetivo, será descrita a seguir.

Nesta metodologia, a correlação  $(r_{i,j})$  é considerada como uma medida da possibilidade  $(\rho)$  de conexão entre dois agentes, ou melhor, duas derivações.

Calcula-se então:

- a *entropia relacional*  $(h(r_{i,j}))$  para cada derivação de referência  $i$  em relação a uma derivação comparada  $j$ :

$$h(r_{i,j}) = -r_{i,j} \times \log_2(r_{i,j}) - [(1 - r_{i,j}) \times \log_2(1 - r_{i,j})] \quad (5.11)$$

- a *correlação média* ( $\bar{r}_i$ ) para cada derivação de referência  $i$ :

$$\bar{r}_i = \frac{\sum_{j=1}^n r_{i,j}}{n} \quad (5.12)$$

onde:  $n$  é o número de derivações (neste caso,  $n = 20$ );

- a *entropia média* ( $hm_i$ ) da derivação de referência  $i$ :

$$hm_i = -\bar{r}_i \times \log_2(\bar{r}_i) - [(1 - \bar{r}_i) \times \log_2(1 - \bar{r}_i)] \quad (5.13)$$

- a *entropia total* ( $hc_i$ ) (ou *entropia de conectividade*, *de comunicação* ou *complexidade*) para cada derivação de referência  $i$ :

$$hc_i = \sum_{j=1}^n (hm_i - h(r_{i,j})) \quad (5.14)$$

A figura 5.13 exemplifica em um diagrama todos os cálculos realizados para cada derivação  $d_i$ , ao ser comparada com as demais derivações.

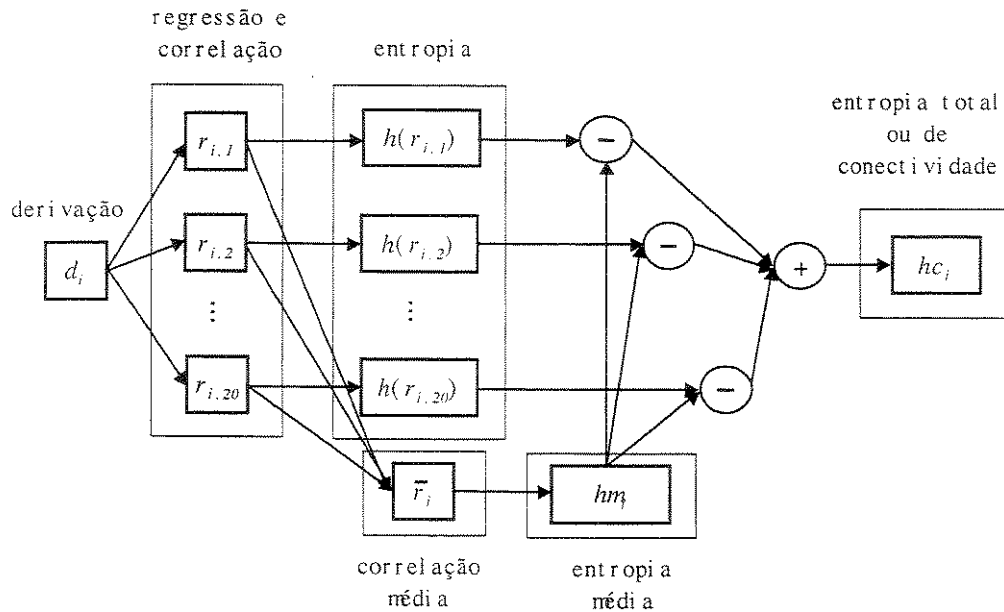


Figura 5.13 – Diagrama de análise das derivações.

O uso do coeficiente de correlação ( $r_{i,j}$ ) justifica-se por ele “medir” quão dois agentes  $i$  e  $j$  estão conectados. A correlação média ( $\bar{r}_i$ ) indica o quanto um agente  $i$  está conectado com todos os demais agentes do sistema. Quanto maior a correlação, ou seja, quanto maior a conectividade, maior é a capacidade de sincronização do sistema dirigida ou seguida por este agente  $i$ . O uso da capacidade computacional ( $hc_i$ ) mostra o quanto o agente se organiza para manter a sincronização. Em outras palavras, avalia quanto uma região cerebral está cooperando ou necessitando da cooperação de outras regiões na solução da tarefa.

Escolhido então um jogo do tipo  $J$  (1 - rotação de números, 2 - rotação de letras, 3 - rotação da figura humana, 4 - charada de profissões, 5 - charada de instrumentos ou 6 - quebra-cabeça) e um grupo  $G$  qualquer de crianças, sendo  $g_J$  o número total de crianças do grupo que jogaram o jogo  $J$ , para cada criança  $k$  ( $k = 1, \dots, g_J$ ) calcula-se uma medida da sua capacidade computacional global ( $HC_k$ ) no referido jogo (figura 5.14).

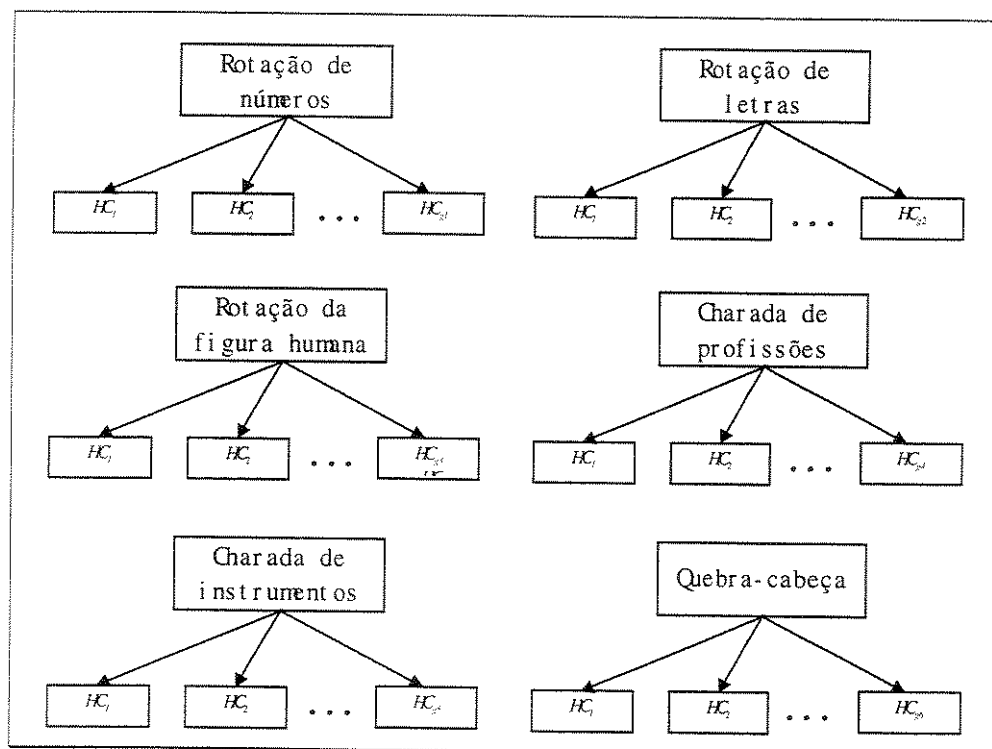


Figura 5.14 – Capacidade computacional global das crianças em cada jogo.

Neste cálculo, para cada evento  $m$  de interesse de cada criança  $k$  do jogo  $J$ , considera-se as cinco derivações de referência ( $d_i$ ) que possuem os mais altos valores de complexidade ( $hc_i$ ). Desta forma, a capacidade computacional global ( $HC$ ) do sistema é dada pela soma das cinco maiores capacidades computacionais individuais  $hc^z$ , relativas aos respectivos agentes  $d^z$ . Assim,  $hc^z = \max_z(hc_i)$ ,  $z = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ ,  $i = \{1, 2, \dots, 20\}$ ,  $d^z \in \{d_1, d_2, d_3, \dots, d_{20}\}$  e  $d^1 \neq d^2 \neq d^3 \neq d^4 \neq d^5$ , resultando:

$$HC = \sum_{z=1}^5 hc^z \quad (5.15)$$

O valor da capacidade computacional global é usado como medida da atividade cerebral de uma criança em um dado jogo.

## 6. Análise estatística

*“O homem é feito para ultrapassar-se a si mesmo.”  
(Nietzsche)*

Para cada tipo de atividade um conjunto de eventos e intervalos de tempo foi escolhido para a análise do EEG, segundo a importância dos tipos de eventos em cada jogo. O EEG foi visualmente inspecionado antes do seu processamento e os eventos associados a um EEG ruim foram descartados.

Os dados foram processados de acordo com a metodologia descrita no capítulo anterior, segundo os protocolos definidos para cada jogo, e então analisados estatisticamente. Os resultados desta análise são apresentados a seguir.

### 6.1. Fatores investigados

Parece haver um certo consenso sobre a complexidade envolvida no estudo dos processos cognitivos e no modo de interpretação destes processos, sobretudo por fatores intrínsecos ao sujeito de pesquisa (como estado emocional, potencial intelectual, fatores sócio-econômicos, etc.), pela quantidade de variáveis de observação e pelas interrelações entre estas variáveis. A fim de viabilizar uma observação mais detida em algum aspecto, sempre há que se fazer um recorte neste universo. Nesta análise estatística, os principais pontos de investigação são o desempenho dos grupos de criança em cada jogo e o tempo que estes grupos de criança levam para executar o jogo.

O desempenho do grupo é medido em relação à média do número de erros cometidos por cada criança durante a execução de um determinado jogo. Em outras palavras, o desempenho pode ser visto como a taxa de erro média das tomadas de decisão (acertos e erros) de cada grupo em cada jogo, onde o desempenho individual é calculado assim:

$$\text{desempenho} = \frac{\text{n}^\circ \text{ de erros}}{\text{n}^\circ \text{ de acertos} + \text{n}^\circ \text{ de erros}}$$

Desta forma, o melhor desempenho é aquele cuja taxa de erros (ou número de erros) tende a zero.

O tempo de execução do grupo é a média do tempo levado por cada criança do grupo na solução da tarefa. Nos jogos de rotação e de charada esse tempo corresponde à diferença de tempo de cada mudança de fase do jogo, ou seja, cada vez que ocorre o evento apresentação. No jogo do quebra-cabeça corresponde à média do tempo levado entre a escolha e a colocação de uma peça.

Além desses, os outros elementos analisados são os eventos ocorridos em cada jogo, segundo os correspondentes protocolos apresentados anteriormente (tabelas 5.4 a 5.6), relativos à atividade cerebral. Os eventos em análise para cada grupo em cada jogo tiveram suas medidas calculadas como a média dos valores de complexidade da atividade cerebral – ou capacidade computacional global (*HC*) – apresentados pelas crianças de cada subgrupo (classe ou lesão). A partir de agora, a capacidade computacional global será mencionada sempre como simplesmente atividade cerebral, para deixar em evidência qual parâmetro cognitivo deseja-se investigar.

Complementarmente, investigou-se os dados acima também através da regressão, onde inspecionou-se os valores de beta (padronizado) e do *P* para cada subgrupo. O beta corresponde ao coeficiente angular da reta de ajuste na regressão para cada caso e permite visualizar o quanto cada parâmetro diminuiu. O *P* corresponde à significância estatística de cada caso, ou seja, é uma medida estimada do grau de confiança dos dados para uma certa análise em questão.

Quando o valor de  $P$  for menor que 0,1 o dado é considerado significativo, enquanto que se o valor de  $P$  estiver entre 0,1 e 0,15 considera-se que o dado pode ser sugestivo de significado. Caso contrário, o dado é considerado sem significado estatístico.

## 6.2. Resultados da análise estatística

A análise estatística foi feita para a divisão em três tipo de grupos distintos conforme determinado anteriormente: grupo por sexo, grupo por classe escolar e grupo por lesão.

No estudo sobre a idade verificou-se somente a média das idades na classe escolar em cada jogo, a fim de tentar-se explicar alguns dos resultados encontrados; enquanto que apenas o desempenho e o tempo foram estatisticamente analisados no grupo dividido pelo sexo.

Para os grupos por classe escolar e por lesão investigou-se o desempenho, o tempo e a atividade cerebral ( $HC$ ). O estudo de cada um destes fatores para cada um dos dois grupos mencionados foi feito através da análise de regressão múltipla com uma variável independente correspondente a um dos fatores e as variáveis dependentes correspondendo aos subgrupos de cada grupo, para cada jogo.

Assim os coeficientes de regressão (ou coeficientes angulares), os chamados beta, representam as contribuições independentes de cada variável independente na predição da variável dependente.

### 6.2.1. Análise das idades

Nas classes escolares descritas neste trabalho, as fases escolares Pré 1, Pré 2, Alfa 1 e Alfa 2, correspondem a estágios de desenvolvimento progressivos no processo educativo da criança, onde as crianças mais jovens estão na classe Pré 1 (inicial) e as mais velhas na classe Alfa 2 (mais adiantada). A distribuição das idades do grupo de crianças separado por classe escolar é homogênea para todas as classes entre todos os jogos, conforme pode ser visto na figura 6.1, significando que a população contida em cada jogo tem pouca variabilidade. Essa homogeneidade permitirá que certas generalizações referentes à aprendizagem da criança sejam feitas.

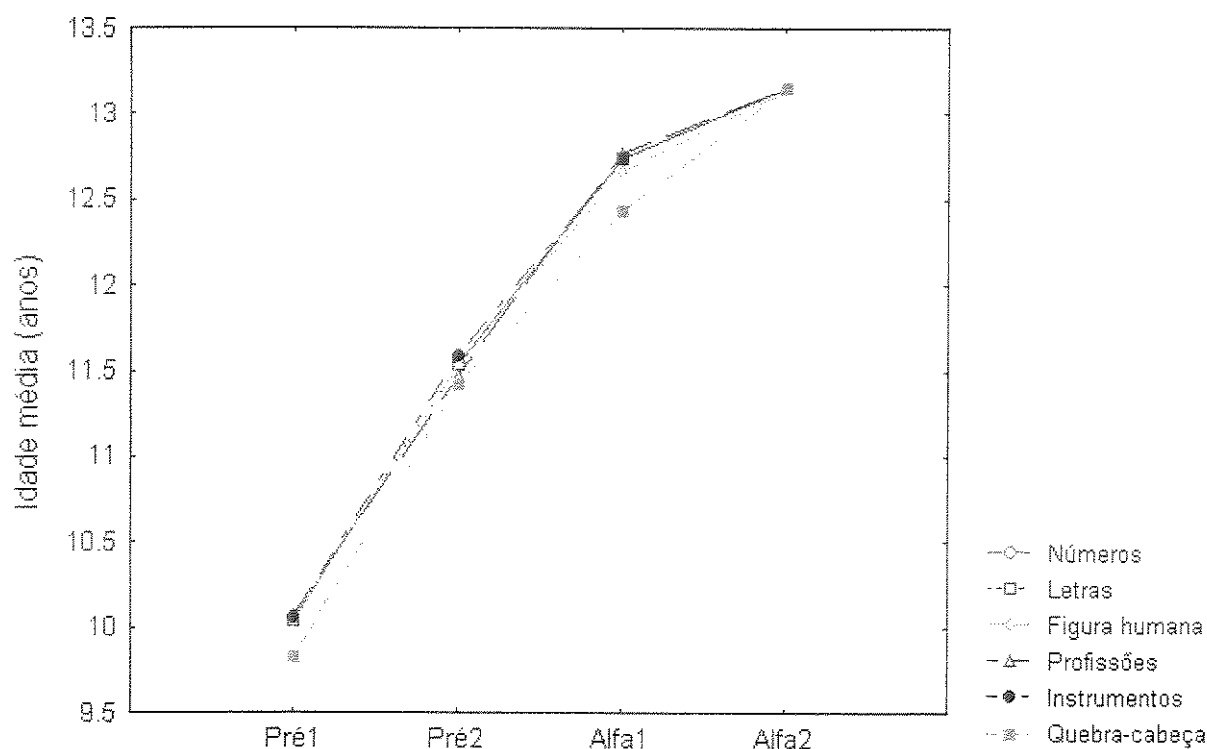


Figura 6.1 – Gráfico da distribuição das médias das idades em cada classe para cada jogo.

A tabela 6.1 indica a distribuição da média da idades das crianças para cada jogo, separas pelo sexo e pela classe escolar. Verifica-se nesta tabela que também há uma homogeneidade tanto no número de crianças do sexo masculino e do sexo feminino em cada jogo, quanto na média na idade das crianças por sexo em cada classe escolar. Isso significa que provavelmente não há uma forte discrepância nos componentes do grupo que possa explicar algum resultado em função da quantidade de cada sexo e da idade, quando analisado o progresso escolar. Significa também que as classes podem ser tratadas como formadas por componentes de mesma natureza em todos os jogos.

Os dados referentes à tabela 6.1 consideram todas as crianças que participaram de algum grupo de investigação, e não apenas as que tomaram parte do grupo separado por classe escolar. Desta forma, esta tabela é apropriada para verificar também como está exatamente estruturado o grupo separado pelo sexo.

| Sexo                            | Total |       | Pré 1                 |       | Pré 2 |               | Alfa 1 |       | Alfa 2       |       | Outras classes |       |
|---------------------------------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|---------------|--------|-------|--------------|-------|----------------|-------|
|                                 | N     | MI    | N                     | MI    | N     | MI            | N      | MI    | N            | MI    | N              | MI    |
| <i>Rotação de números</i>       |       |       |                       |       |       |               |        |       |              |       |                |       |
| M                               | 47    | 12,01 | 9                     | 10,11 | 14    | 11,18         | 11     | 12,89 | 9            | 12,98 | 4              | 14,68 |
| F                               | 44    | 12,29 | 11                    | 9,95  | 9     | 11,95         | 10     | 12,58 | 4            | 13,55 | 10             | 14,39 |
| <i>Rotação de letras</i>        |       |       |                       |       |       |               |        |       |              |       |                |       |
| M                               | 43    | 12,11 | 7                     | 10,17 | 13    | 11,26         | 11     | 12,89 | 9            | 12,98 | 3              | 14,90 |
| F                               | 42    | 12,22 | 11                    | 9,95  | 9     | 11,95         | 10     | 12,58 | 4            | 13,55 | 8              | 14,54 |
| <i>Rotação da figura humana</i> |       |       |                       |       |       |               |        |       |              |       |                |       |
| M                               | 43    | 12,05 | 7                     | 10,17 | 14    | 11,27         | 10     | 12,77 | 9            | 12,98 | 3              | 14,90 |
| F                               | 41    | 12,16 | 11                    | 9,95  | 9     | 11,95         | 9      | 12,55 | 4            | 13,55 | 8              | 14,33 |
| <i>Charada de profissões</i>    |       |       |                       |       |       |               |        |       |              |       |                |       |
| M                               | 46    | 12,02 | 9                     | 10,11 | 14    | 11,18         | 10     | 12,97 | 9            | 12,98 | 4              | 14,68 |
| F                               | 43    | 12,37 | 10                    | 10,03 | 9     | 11,95         | 10     | 12,58 | 4            | 13,55 | 10             | 14,39 |
| <i>Charada de instrumentos</i>  |       |       |                       |       |       |               |        |       |              |       |                |       |
| M                               | 46    | 12,06 | 8                     | 10,1  | 14    | 11,18         | 11     | 12,89 | 9            | 12,98 | 4              | 14,68 |
| F                               | 42    | 12,45 | 10                    | 10,03 | 8     | 12,31         | 10     | 12,58 | 4            | 13,55 | 10             | 14,39 |
| <i>Quebra-cabeça</i>            |       |       |                       |       |       |               |        |       |              |       |                |       |
| M                               | 43    | 11,97 | 6                     | 9,5   | 15    | 11,27         | 10     | 12,68 | 9            | 12,98 | 3              | 14,93 |
| F                               | 38    | 12,03 | 10                    | 10,03 | 8     | 11,71         | 9      | 12,17 | 4            | 13,55 | 7              | 14,22 |
| Abreviações:                    |       |       |                       |       |       |               |        |       |              |       |                |       |
| N – número de crianças          |       |       | MI – média das idades |       |       | M – masculino |        |       | F – feminino |       |                |       |

Tabela 6.1 – Distribuição das médias de idade por sexo e por classe.

Na tabela 6.1, o item denominado ‘outras classes’ tem por finalidade mostrar que algumas crianças examinadas não pertenciam às classes escolares estudadas, porém, puderam ser avaliadas neste trabalho por pertencerem a um dos outro dois outros (ou mesmo nos dois) grupos de estudo: grupo separado por sexo ou grupo separado por lesão.

### 6.2.2. Análise estatística do grupo por sexo

O exame do grupo por sexo limitou-se a comparar as médias do desempenho e do tempo em cada jogo para cada sexo e verificar a sua significância estatística.

### 6.2.2.1. Avaliação do desempenho

Pelo gráfico da figura 6.2, que representa o desempenho das crianças separadas pelo sexo (masculino e feminino) para os seis tipos de jogos, pode-se notar que o desempenho dos meninos é superior ao das meninas em todos os tipos de jogos, exceto no jogo de charada de profissões. Ou seja, os meninos erram menos que as meninas.

De acordo com o teste U de Mann-Whitney, esta diferença de desempenho é significativa ( $P < 0,1$ ) para todos os jogos, menos para o quebra-cabeça. Este último jogo possui um  $P = 0,15$ .

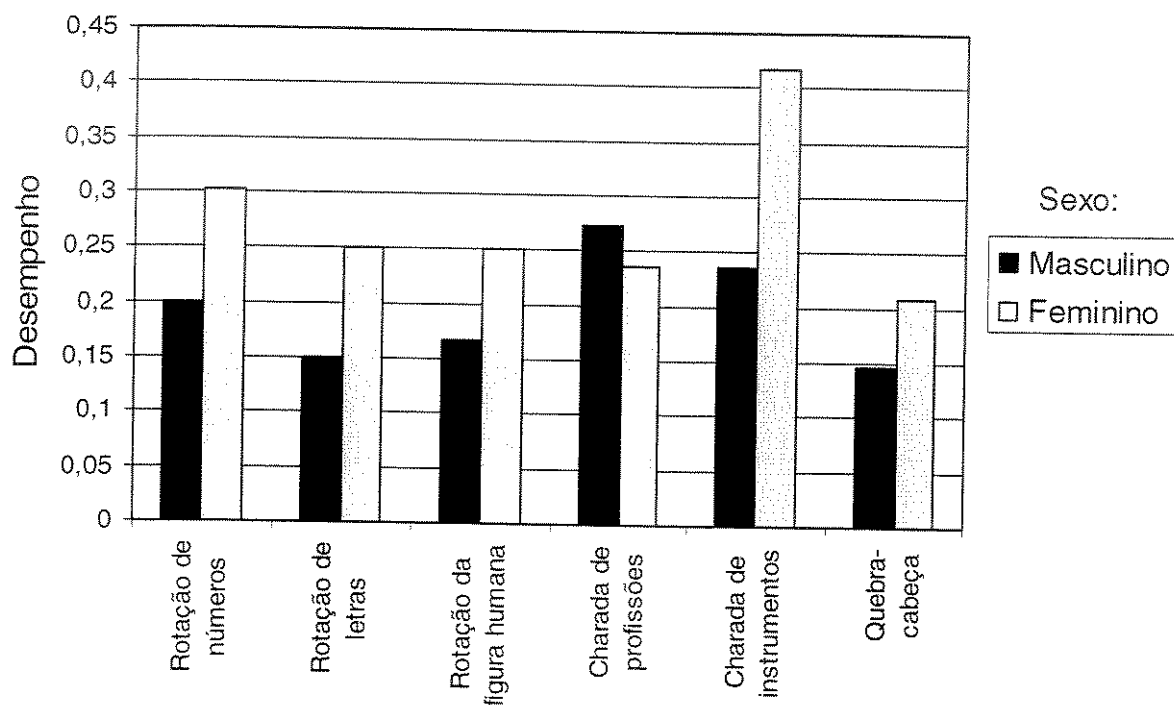


Figura 6.2 – Gráfico do desempenho de cada sexo em cada jogo.

### 6.2.2.2. Avaliação do tempo

Os meninos levam menos tempo para jogar os jogos do que as meninas, conforme pode ser visto nos gráficos da figura 6.3. O quebra-cabeça é o único jogo em que as meninas gastam menos tempo que os meninos, embora numericamente esta diferença seja muito pequena.

A diferença entre os tempos de execução dos jogos para meninos e meninas mostrou-se ser significativa ( $P < 0,1$ ) para os três tipos de jogos de rotação e para o jogo de charada de

instrumentos, segundo o teste U de Mann-Whitney. Os resultados deste teste não foram significativos para o jogo de charada de profissões ( $P = 0,215$ ) e nem para o jogo de quebra-cabeça ( $P = 0,26$ ).

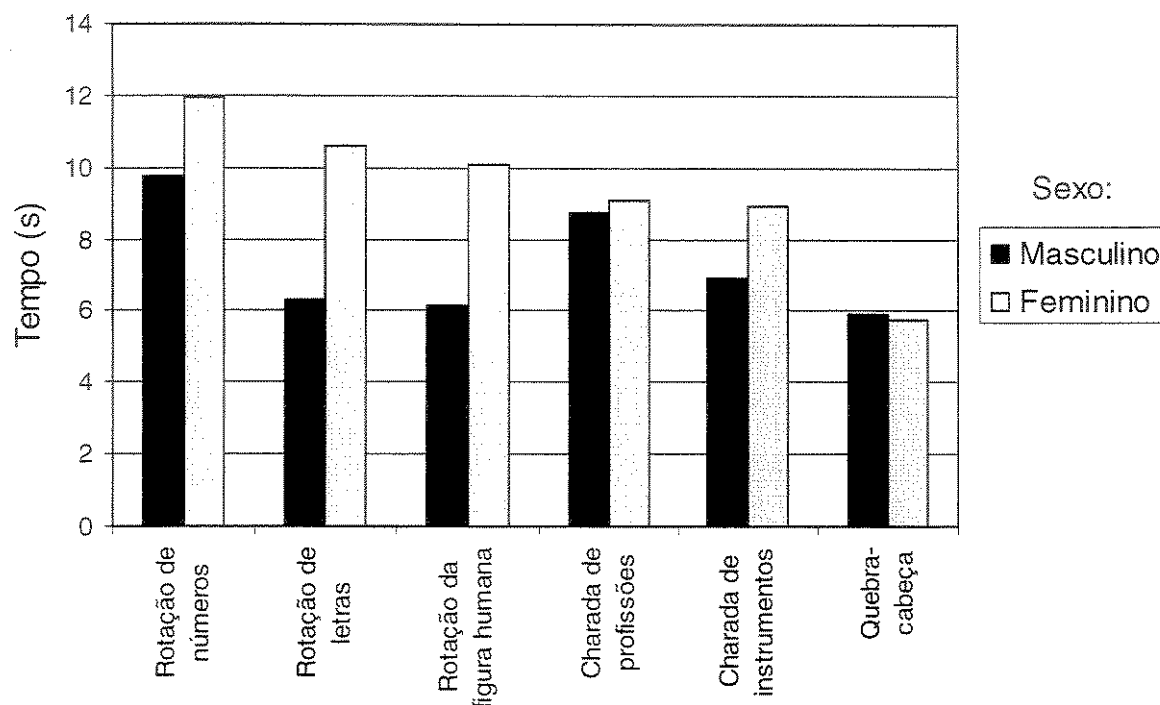


Figura 6.3 – Gráfico do tempo de cada sexo em cada jogo.

### 6.2.3. Análise de regressão no grupo por classe escolar

As quatro classes já definidas anteriormente – Pré 1, Pré 2, Alfa 1 e Alfa 2 – para o grupo por classe escolar foram examinadas nesta análise. Aplicou-se para este grupo a regressão múltipla com intercepto passando pela origem para todas as classes escolares, para os valores de desempenho, tempo e atividade cerebral (*HC*). Os resultados da regressão são avaliados na presente análise.

Antes da apresentação da análise, para uma melhor compreensão da composição das classes escolares, as tabelas 6.2 até 6.7 apresentam o tipo de lesão identificada no exame de ressonância magnética das crianças componentes deste grupo, para cada um dos jogos computacionais investigados.

Como pode ser observado nestas tabelas, cerca de 60% das crianças possuíam exame de ressonância magnética. Ainda pela distribuição das lesões em relação à classe escolar, também percebe-se que não há uma grande variação entre os jogos no número de crianças portadoras de um determinado tipo de lesão em cada classe.

| <b>Ressonância magnética</b> | <b>Pré 1</b> | <b>Pré 2</b> | <b>Alfa 1</b> | <b>Alfa 2</b> | <b>Total</b> |
|------------------------------|--------------|--------------|---------------|---------------|--------------|
| Ressonância normal           | 5            | 2            | 8             | 2             | 17           |
| Leucomalácia                 | 1            | 1            | 3             | 1             | 6            |
| CC tronco                    | 1            | 4            | 1             | 1             | 7            |
| Gliose                       | 1            | 0            | 0             | 2             | 3            |
| ASV                          | 2            | 4            | 3             | 2             | 11           |
| CC global                    | 1            | 0            | 1             | 0             | 2            |
| Colpocefalia                 | 1            | 2            | 0             | 0             | 3            |
| <i>Total</i>                 | 12           | 13           | 16            | 8             | 49           |
| <i>Sem exame</i>             | 11           | 12           | 7             | 5             | 35           |

Tabela 6.2 – Distribuição das lesões nas classes para as crianças que jogaram o jogo de rotação de números.

| <b>Ressonância magnética</b> | <b>Pré 1</b> | <b>Pré 2</b> | <b>Alfa 1</b> | <b>Alfa 2</b> | <b>Total</b> |
|------------------------------|--------------|--------------|---------------|---------------|--------------|
| Ressonância normal           | 5            | 2            | 7             | 1             | 15           |
| Leucomalácia                 | 1            | 2            | 3             | 1             | 7            |
| CC tronco                    | 1            | 4            | 1             | 1             | 7            |
| Gliose                       | 1            | 0            | 0             | 2             | 3            |
| ASV                          | 2            | 4            | 3             | 2             | 11           |
| CC global                    | 1            | 0            | 1             | 0             | 2            |
| Colpocefalia                 | 1            | 2            | 0             | 0             | 3            |
| <i>Total</i>                 | 12           | 14           | 15            | 7             | 48           |
| <i>Sem exame</i>             | 9            | 11           | 8             | 6             | 34           |

Tabela 6.3 – Distribuição das lesões nas classes para as crianças que jogaram o jogo de rotação de letras.

| <b>Ressonância magnética</b> | <b>Pré 1</b> | <b>Pré 2</b> | <b>Alfa 1</b> | <b>Alfa 2</b> | <b>Total</b> |
|------------------------------|--------------|--------------|---------------|---------------|--------------|
| Ressonância normal           | 5            | 2            | 7             | 1             | 15           |
| Leucomalácia                 | 1            | 2            | 3             | 1             | 7            |
| CC tronco                    | 1            | 4            | 1             | 1             | 7            |
| Gliose                       | 1            | 0            | 0             | 2             | 3            |
| ASV                          | 2            | 3            | 2             | 2             | 9            |
| CC global                    | 1            | 1            | 1             | 0             | 3            |
| Colpocefalia                 | 1            | 2            | 0             | 0             | 3            |
| <i>Total</i>                 | 12           | 14           | 14            | 7             | 47           |
| <i>Sem exame</i>             | 9            | 12           | 7             | 6             | 34           |

Tabela 6.4 – Distribuição das lesões nas classes para as crianças que jogaram o jogo de rotação da figura humana.

| <b>Ressonância magnética</b> | <b>Pré 1</b> | <b>Pré 2</b> | <b>Alfa 1</b> | <b>Alfa 2</b> | <b>Total</b> |
|------------------------------|--------------|--------------|---------------|---------------|--------------|
| Ressonância normal           | 5            | 2            | 6             | 1             | 14           |
| Leucomalácia                 | 1            | 2            | 3             | 1             | 7            |
| CC tronco                    | 1            | 4            | 1             | 1             | 7            |
| Gliose                       | 1            | 0            | 0             | 2             | 3            |
| ASV                          | 1            | 4            | 3             | 2             | 10           |
| CC global                    | 1            | 0            | 1             | 0             | 2            |
| Colpocefalia                 | 1            | 2            | 0             | 0             | 3            |
| <i>Total</i>                 | 11           | 14           | 14            | 7             | 46           |
| <i>Sem exame</i>             | 11           | 12           | 8             | 6             | 37           |

Tabela 6.5 – Distribuição das lesões nas classes para as crianças que jogaram o jogo de charada de profissões.

| <b>Ressonância magnética</b> | <b>Pré 1</b> | <b>Pré 2</b> | <b>Alfa 1</b> | <b>Alfa 2</b> | <b>Total</b> |
|------------------------------|--------------|--------------|---------------|---------------|--------------|
| Ressonância normal           | 5            | 2            | 7             | 1             | 15           |
| Leucomalácia                 | 1            | 2            | 3             | 1             | 7            |
| CC tronco                    | 1            | 4            | 1             | 1             | 7            |
| Gliose                       | 1            | 0            | 0             | 2             | 3            |
| ASV                          | 1            | 4            | 3             | 2             | 10           |
| CC global                    | 1            | 0            | 1             | 0             | 2            |
| Colpocefalia                 | 1            | 2            | 0             | 0             | 3            |
| <i>Total</i>                 | 11           | 14           | 15            | 7             | 49           |
| <i>Sem exame</i>             | 10           | 11           | 8             | 6             | 35           |

Tabela 6.6 – Distribuição das lesões nas classes para as crianças que jogaram o jogo de charada de instrumentos.

| <b>Ressonância magnética</b> | <b>Pré 1</b> | <b>Pré 2</b> | <b>Alfa 1</b> | <b>Alfa 2</b> | <b>Total</b> |
|------------------------------|--------------|--------------|---------------|---------------|--------------|
| Ressonância normal           | 3            | 2            | 6             | 1             | 12           |
| Leucomalácia                 | 1            | 3            | 3             | 1             | 8            |
| CC tronco                    | 1            | 5            | 1             | 1             | 8            |
| Gliose                       | 1            | 0            | 1             | 2             | 4            |
| ASV                          | 1            | 4            | 2             | 2             | 9            |
| CC global                    | 1            | 1            | 1             | 0             | 3            |
| Colpocefalia                 | 1            | 3            | 0             | 0             | 4            |
| <i>Total</i>                 | 9            | 18           | 14            | 7             | 50           |
| <i>Sem exame</i>             | 10           | 11           | 7             | 6             | 34           |

Tabela 6.7 – Distribuição das lesões nas classes para as crianças que jogaram o jogo de quebra-cabeça.

### 6.2.3.1. Considerações sobre o desempenho e o tempo

De maneira geral, o desempenho<sup>8</sup> das crianças torna-se melhor à medida que a criança avança no seu processo educativo, como pode ser notado pelos gráficos das médias da figura 6.4a. Ou seja, quanto mais educadas as crianças são, menos elas erram. O valor de beta no desempenho diminui em praticamente todos os jogos à medida que as classes se tornam mais avançadas (figura 6.4b), confirmando a observação anterior. Há uma diferença estatística significativa<sup>9</sup> ( $P$ ) nos resultados para a maior parte das classes em todos os jogos, como pode ainda ser constatado nos gráficos da figura 6.4b, validando essa observação.

Pela análise dos gráficos das médias da figura 6.4a, o tempo de execução dos jogos também tende a diminuir com a progressão do nível escolar das crianças, embora esta tendência não seja verificada em algumas classes (como a Pré 2) de alguns jogos, principalmente no charada de instrumentos e no quebra-cabeça. Os coeficientes angulares (beta) dados reafirmam essa suposição (gráficos da figura 6.4c), sobretudo por seus valores se mostrarem altamente significativos ( $P < 0,1$ ).

Confrontando as curvas das médias do desempenho e do tempo (figura 6.4), pode-se afirmar para quase todos os jogos que o desempenho e o tempo estão diretamente relacionados na separação por classes. Há uma tendência de que se o desempenho da classe for bom, o tempo de execução do jogo seja cada vez mais baixo; e se o desempenho for ruim, o tempo de processamento seja mais alto.

O aumento do índice de acerto e a redução do tempo segundo a classe escolar podem ser interpretados como um fator decorrente da progressão da alfabetização da criança, que corresponde a um desenvolvimento maior da sua maturidade cerebral.

Em contrapartida, o jogo de quebra-cabeça parece quase apresentar uma relação inversa entre desempenho e tempo. Quanto pior o desempenho, menor é o tempo. Como a medida de tempo neste jogo refere-se à diferença temporal entre a escolha e a colocação da peça, pode-se hipotetizar esta inversão da relação entre desempenho e tempo, como se a

---

<sup>8</sup> Vale lembrar que o desempenho é melhor quanto mais próximo de zero ele for, pois representa uma menor taxa de erro.

<sup>9</sup> Quando o valor de  $P$  for omitido, significará que  $P < 0,1$ .

criança refletisse menos na escolha da peça, por uma estratégia menos elaborada de resolução. Por isso ela erra mais, piorando o seu desempenho.

Uma relação íntima entre desempenho e tempo foi confirmada pela análise de correlação entre estas variáveis. Todos os jogos apresentaram  $P$  significativo, exceto o quebra-cabeça.

#### *6.2.3.2. Considerações sobre os eventos*

Os gráficos das figuras 6.5 até 6.10 mostram que há nos jogos uma certa tendência da atividade cerebral dos diversos tipos de eventos diminuir com o avanço da classe escolar, sendo isto mais evidente para certos eventos e jogos e menos evidente em outros. Verifica-se que a classe Pré 2 é a classe que mais apresenta variações na expectativa da linha de tendência entre os jogos. Resultados estatísticos obtidos com a análise de regressão das variáveis (eventos) apresentaram os coeficientes angulares (beta) altamente significativos ( $P < 0,1$ ), como pode ser comprovado nas mesmas figuras.

Nota-se que a atividade cerebral durante a tomada de decisão errada é mais baixa que a dos outros eventos em quase todos os jogos, com exceção da rotação da figura humana, como pode ser visto nos gráficos das médias das figuras 6.5a até 6.10a.

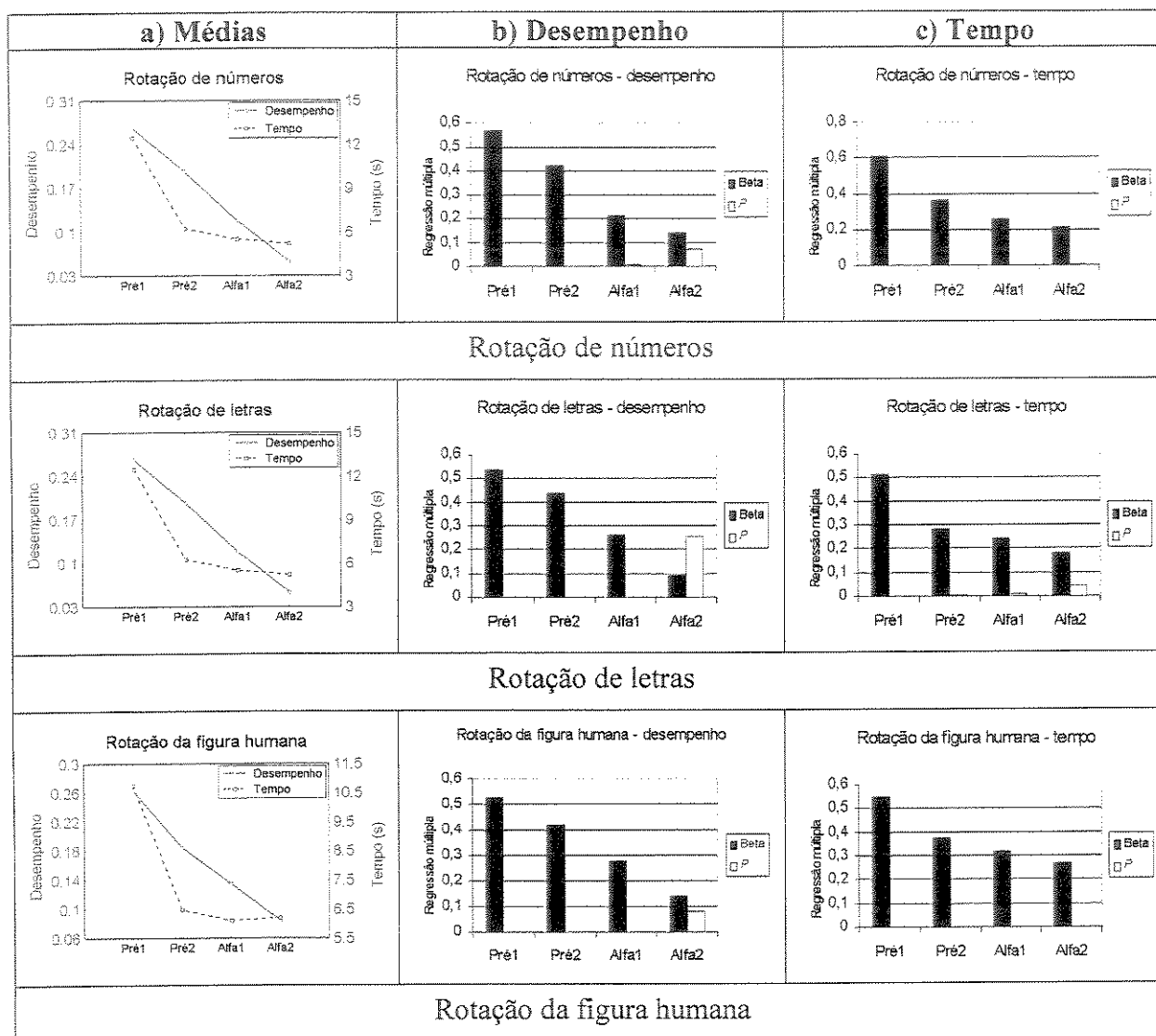


Figura 6.4 – Gráficos do desempenho e do tempo para cada classe em cada jogo. *Continua.*

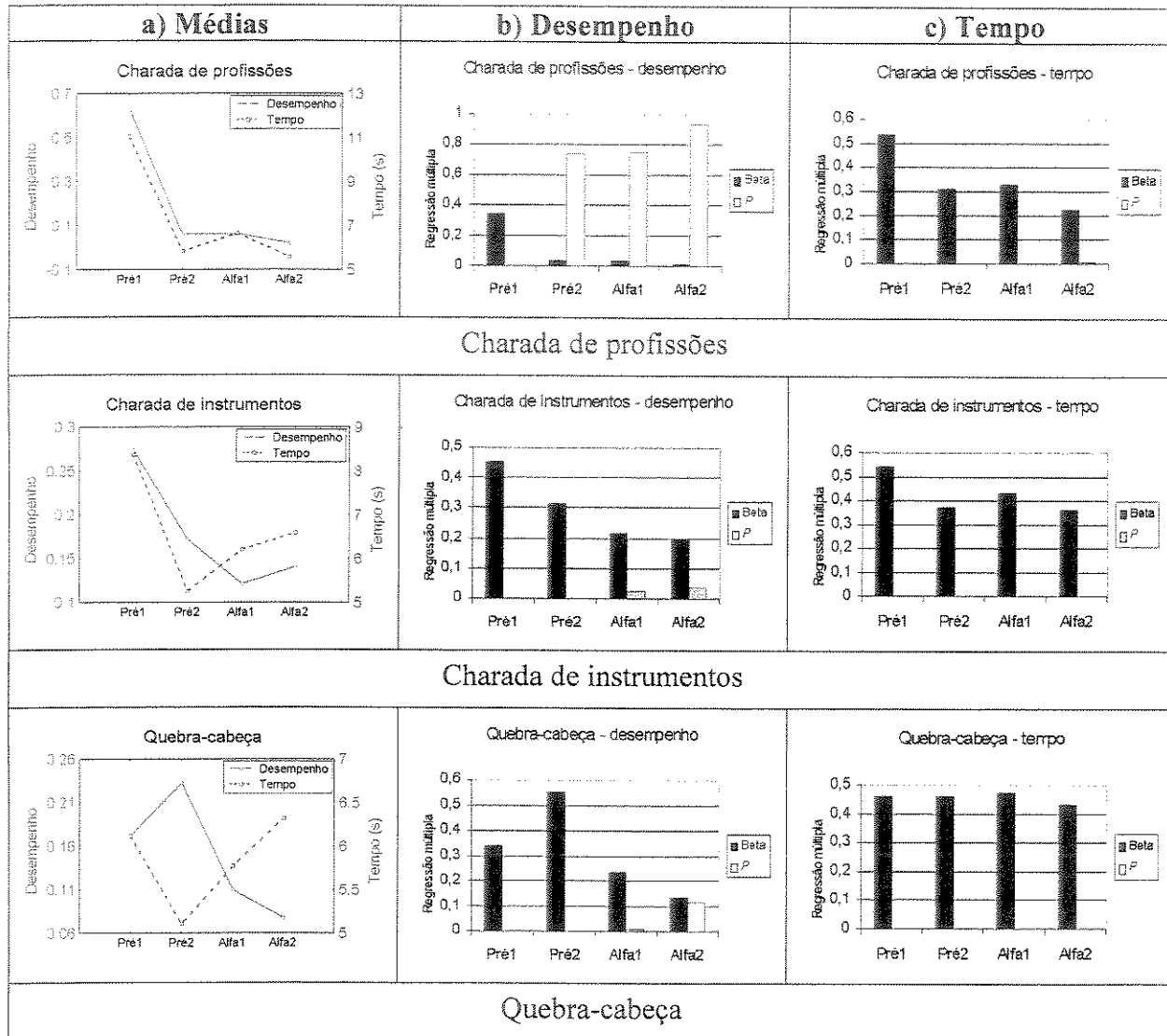


Figura 6.4 – *Continuação*. Gráficos do desempenho e do tempo para cada classe em cada jogo.

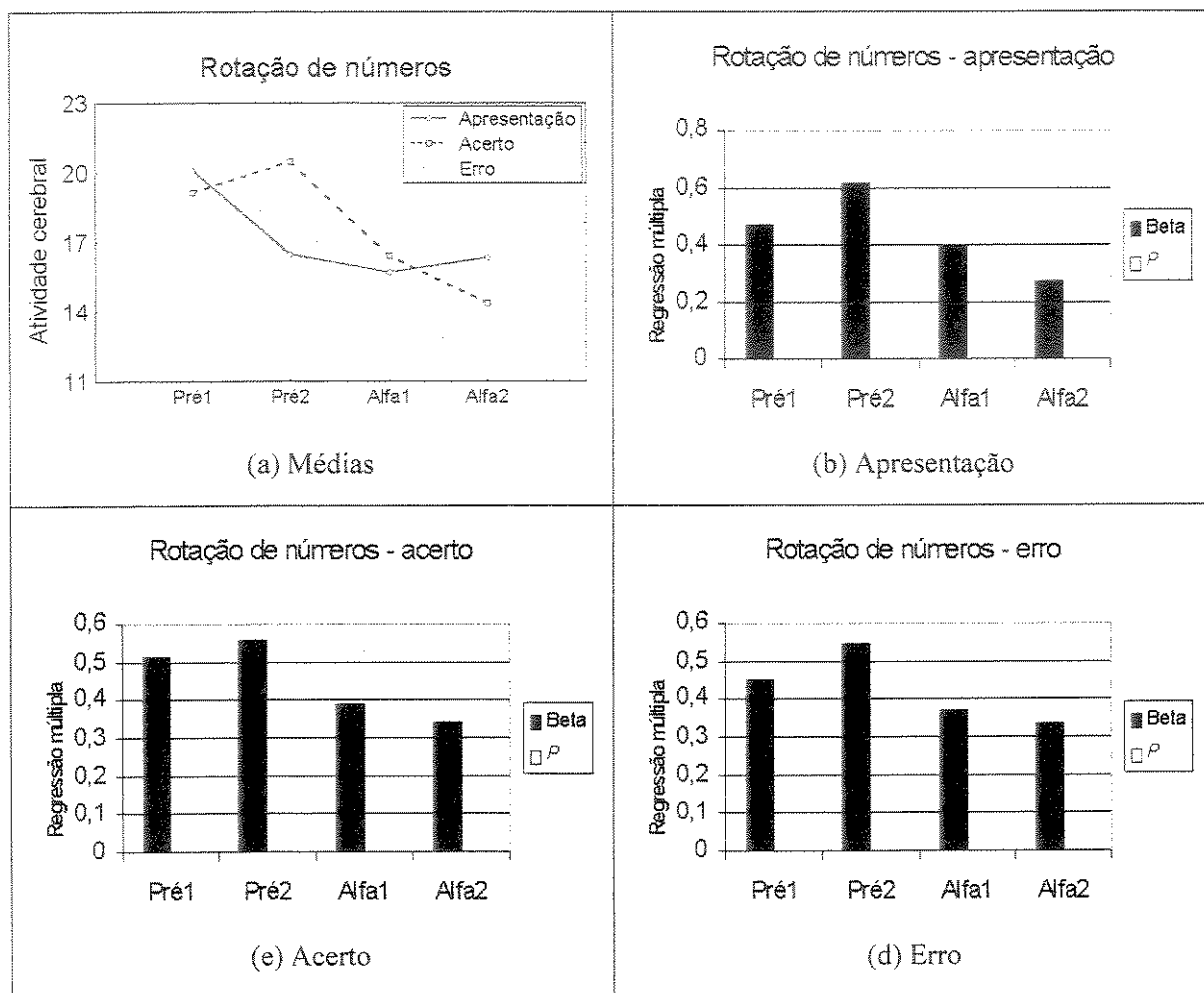


Figura 6.5 – Estatística dos eventos do jogo de rotação de números no grupo por classe.

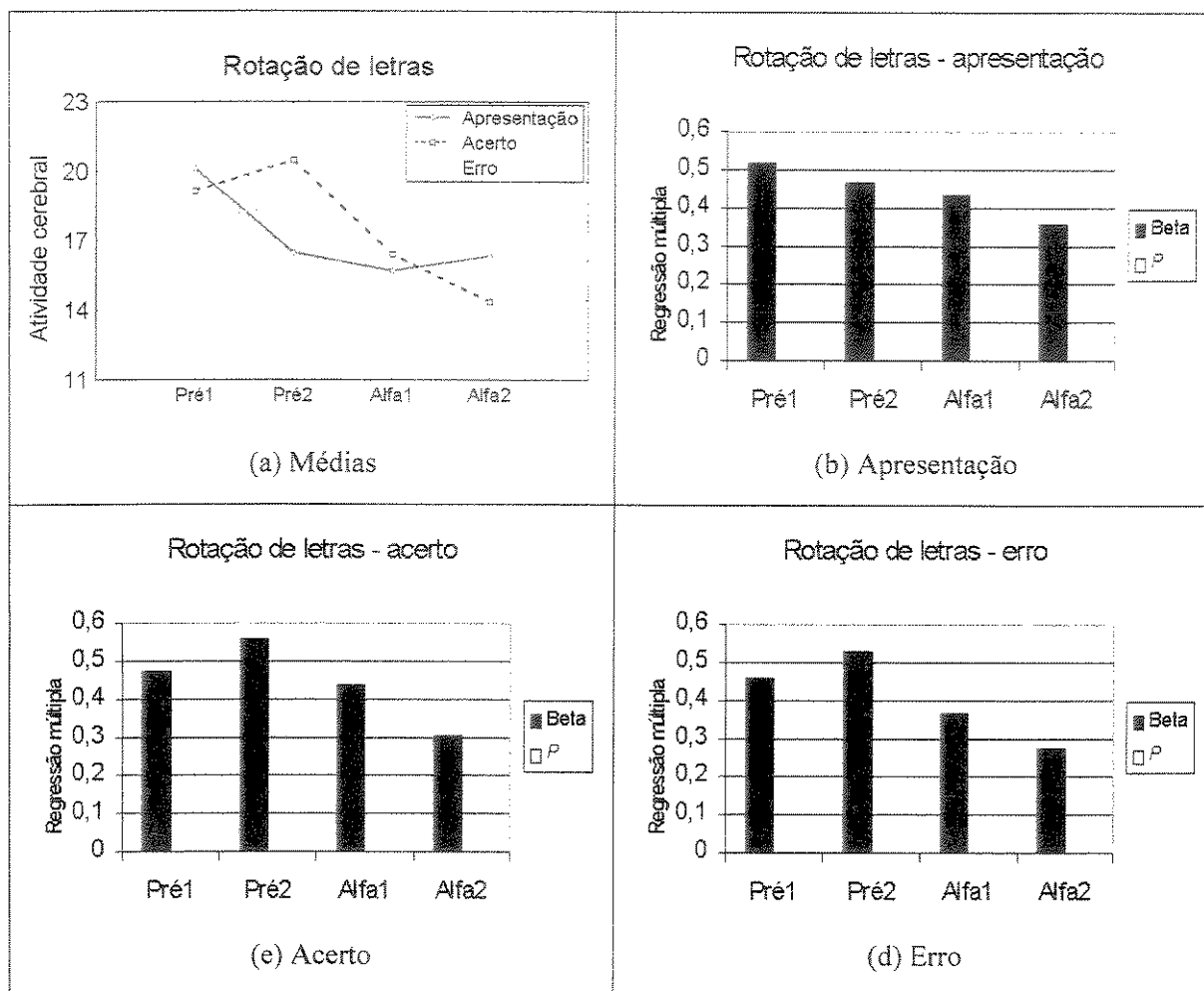


Figura 6.6 – Estatística dos eventos do jogo de rotação de letras no grupo por classe.

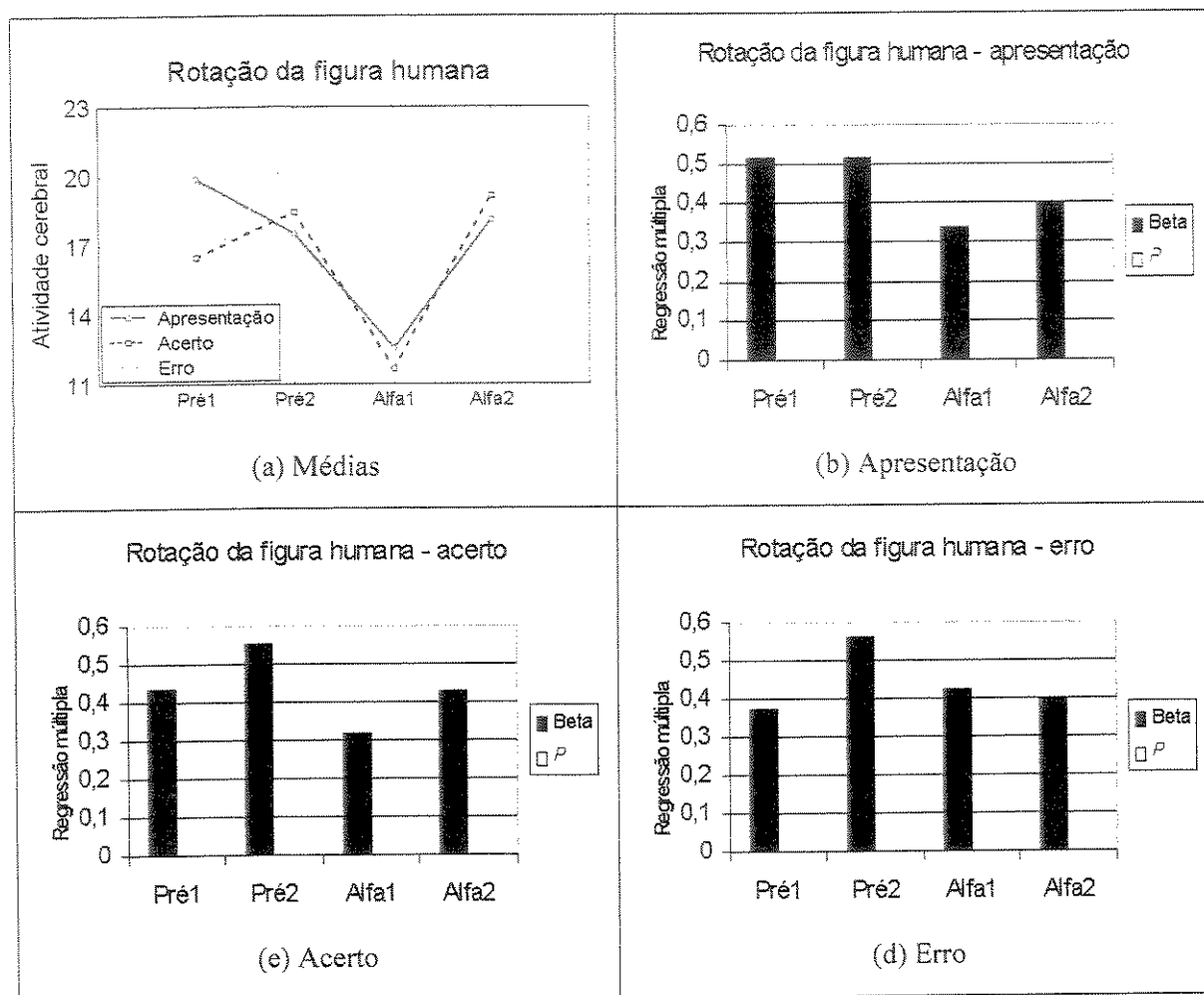


Figura 6.7 – Estatística dos eventos do jogo de rotação da figura humana no grupo por classe.

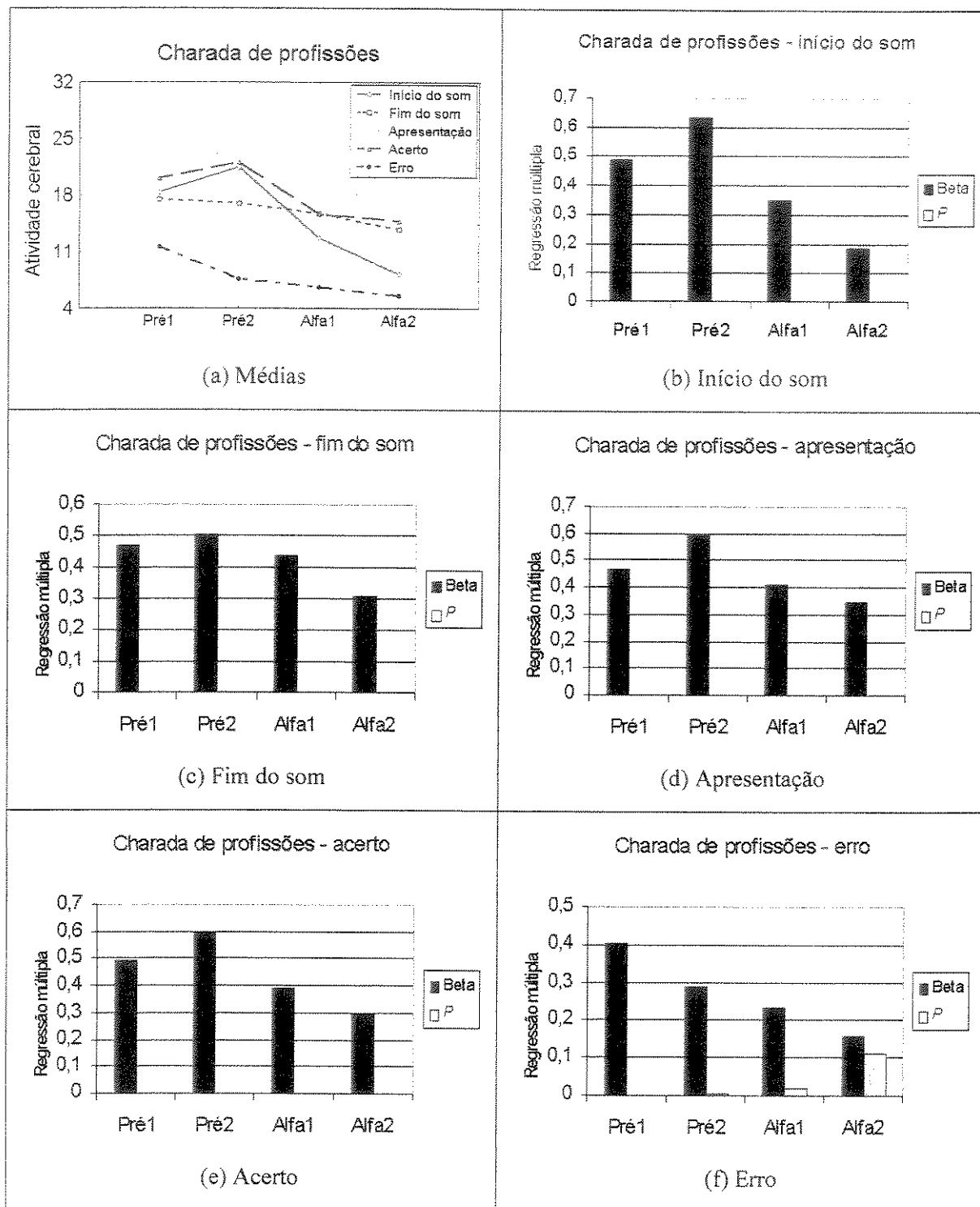


Figura 6.8 – Estatística dos eventos do jogo de charada de profissões no grupo por classe.

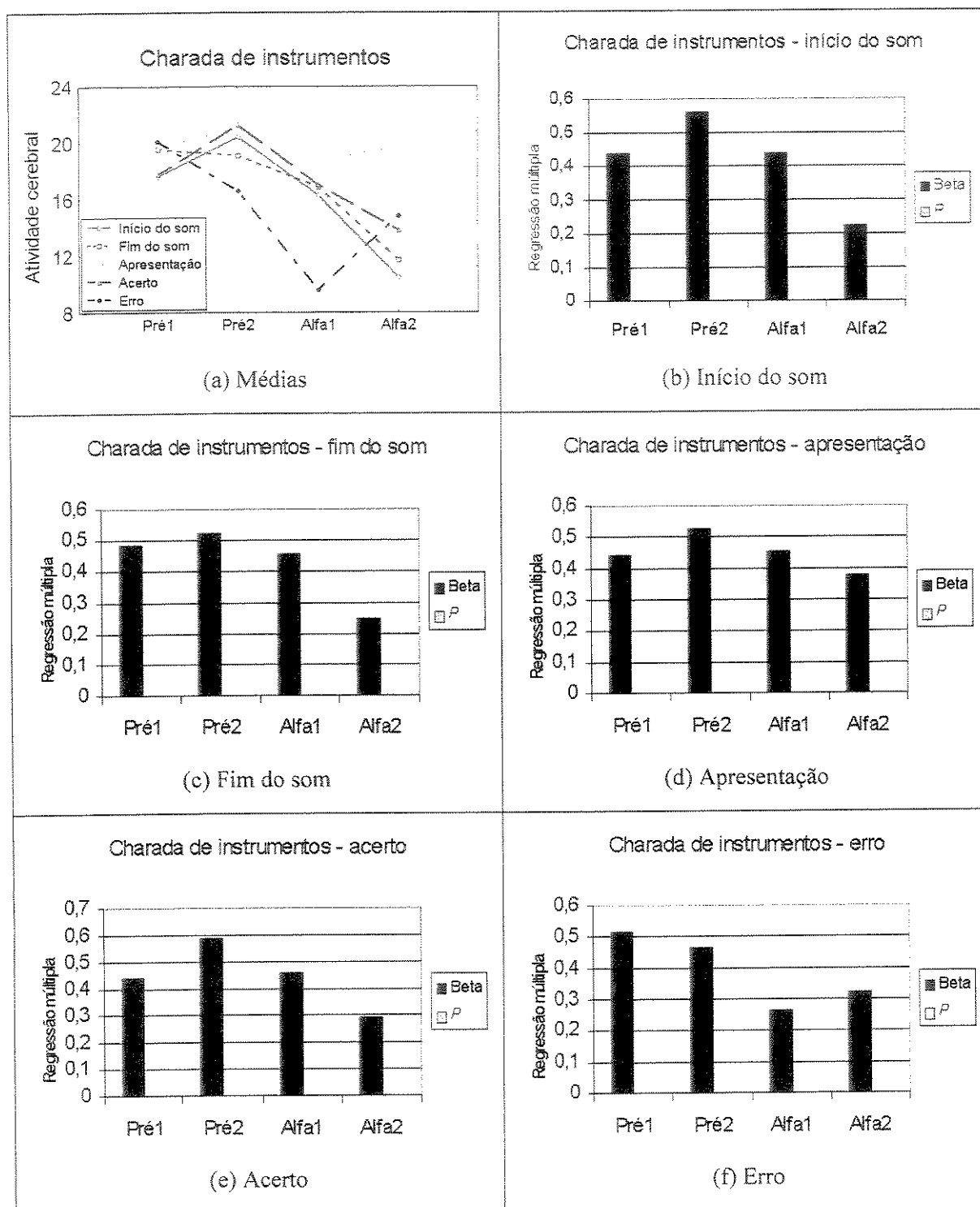


Figura 6.9 – Estatística dos eventos do jogo de charada de instrumentos no grupo por classe.

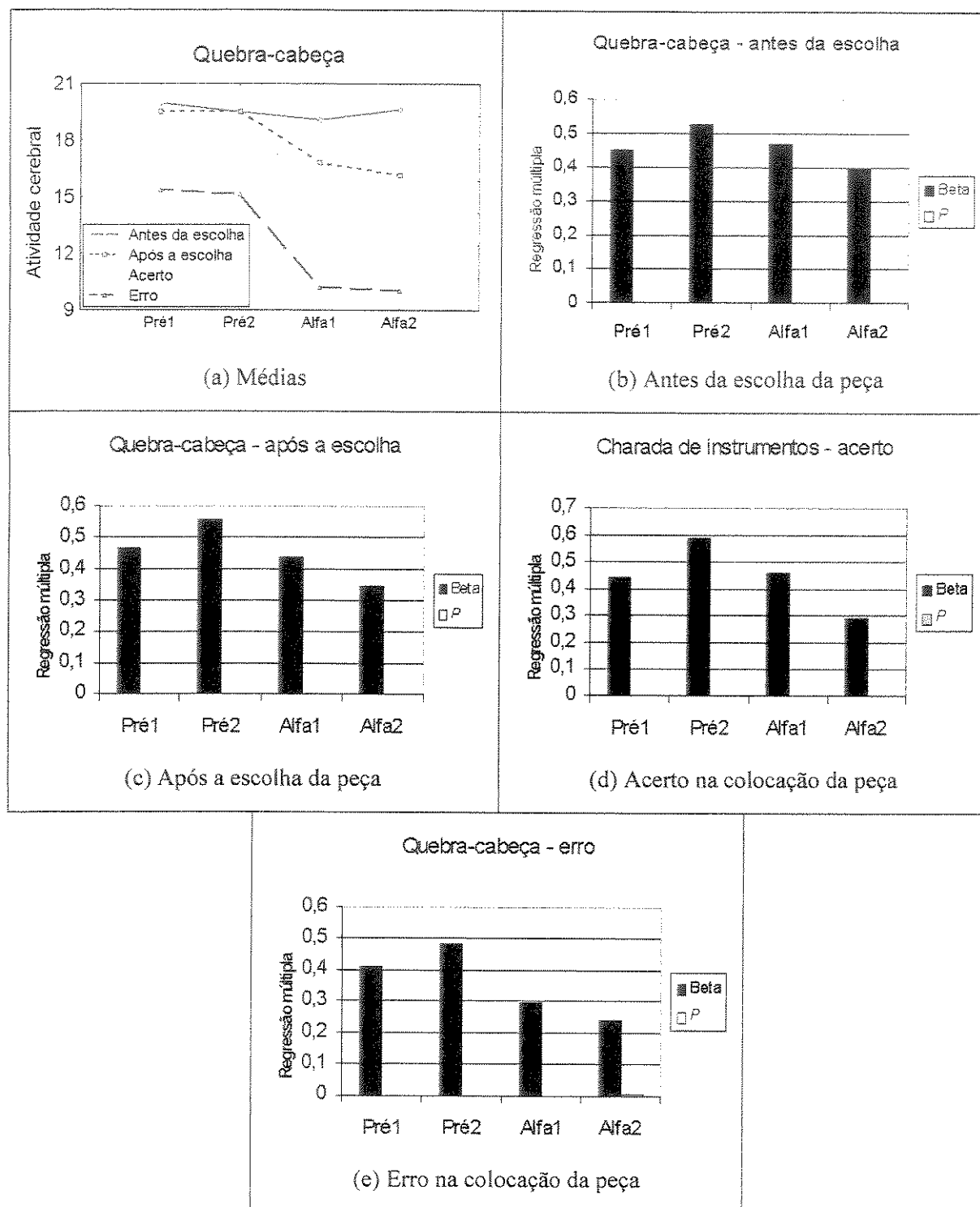


Figura 6.10 – Estatística dos eventos do jogo de quebra-cabeça no grupo por classe.

#### 6.2.4. Análise de regressão no grupo por lesão

Para o grupo por lesão, a análise de regressão múltipla para cada uma das variáveis em questão (desempenho, tempo e atividade cerebral – *HC*) foi feita utilizando-se como intercepto da equação de regressão os respectivos resultados das crianças que não mostraram lesão aparente na ressonância magnética (ressonância normal). Em outras palavras, os resultados das crianças com lesões foram estimados em comparação com as crianças deficientes mentais de ressonância com padrão normal.

Embora os cálculos tenham sido realizados para todas as lesões, são mostrados aqui apenas os resultados estatísticos das lesões que apresentaram significância estatística ( $P < 0,15$ ) para os eventos de cada jogo. Para efeito de simplificação da compreensão dos dados, as lesões não significativas foram omitidas dos gráficos. Entretanto, as médias de desempenho, do tempo e da atividade cerebral foram mostradas para todos os tipos de lesão.

##### 6.2.4.1. Considerações sobre o desempenho e o tempo

Pode-se observar nos gráficos da figura 6.11a, em todos os jogos, que o desempenho das crianças deficientes mentais com ressonância normal, na maioria das vezes, mas nem sempre, é melhor que o desempenho de muitas das crianças lesionadas. Em contrapartida, percebe-se também que, em quase todos os jogos, o tempo de execução do jogo é mais baixo para as crianças com ressonância normal que para as crianças que apresentam algum tipo de lesão.

Uma interpretação para isso poderia ser que embora as crianças com algum tipo de lesão sejam capazes de executar um certo tipo de tarefa com um sucesso razoável, às vezes, pode ser que o tempo de processamento se torne mais longo devido a certas características das lesões dificultarem talvez uma integração mais imediata das informações necessárias para a solução da tarefa.

Lesões no tronco do corpo caloso (CC tronco) e a assimetria ventricular (ASV) parecem influenciar no desempenho das crianças na maior parte dos jogos, como pode ser visto nos gráficos da figura 6.11b. Algumas outras lesões também afetam particularmente outros jogos.

Considerando o tempo de execução de um jogo (figura 6.11c), as crianças deficientes portadoras dessas mesmas duas lesões apresentaram resultados estatisticamente significativos

na realização do jogo, juntamente com as crianças com lesão no corpo caloso de abrangência global (CC global). Adicionalmente, outras lesões mostram-se também serem significativas para a execução de certos tipos de jogos.

Dentre todas as categorias que tiveram significância estatística quando comparadas com o subgrupo com ressonância normal, e considerando-se o desempenho, percebe-se que a assimetria ventricular (ASV) está bastante presente em quase todos os jogos, menos nos jogos de rotação de números e de rotação de letras. As crianças com lesão do corpo caloso global mostram uma diferença significativa de desempenho nos jogos de rotação (com exceção do jogo de rotação de letras), como se pode consultar nos gráficos da figura 6.11.

Na mesma figura, considerando-se o tempo de execução dos jogos, a assimetria ventricular apresenta-se significativa em todos os jogos de rotação, e em alguns deles combinada ainda com outras lesões. Para os jogos de charadas e de quebra-cabeça destacam-se a gliose e algum tipo de lesão do corpo caloso como as categorias com significado estatístico na análise do tempo.

#### ***6.2.4.2. Comparação de eventos***

Analisando-se a atividade cerebral, a colpocefalia apresenta-se estatisticamente significativa em pelo menos um evento de cada jogo de rotação e de charada. Um dos tipos de lesão do corpo caloso – tronco ou global – também aparece como um componente significativo nestes jogos, conforme pode ser constatado nas figuras 6.12 a 6.16.

Para o jogo de quebra-cabeça (figura 6.17) sobressai-se a gliose como a lesão mais significativa estatisticamente nos eventos referentes à escolha da peça.

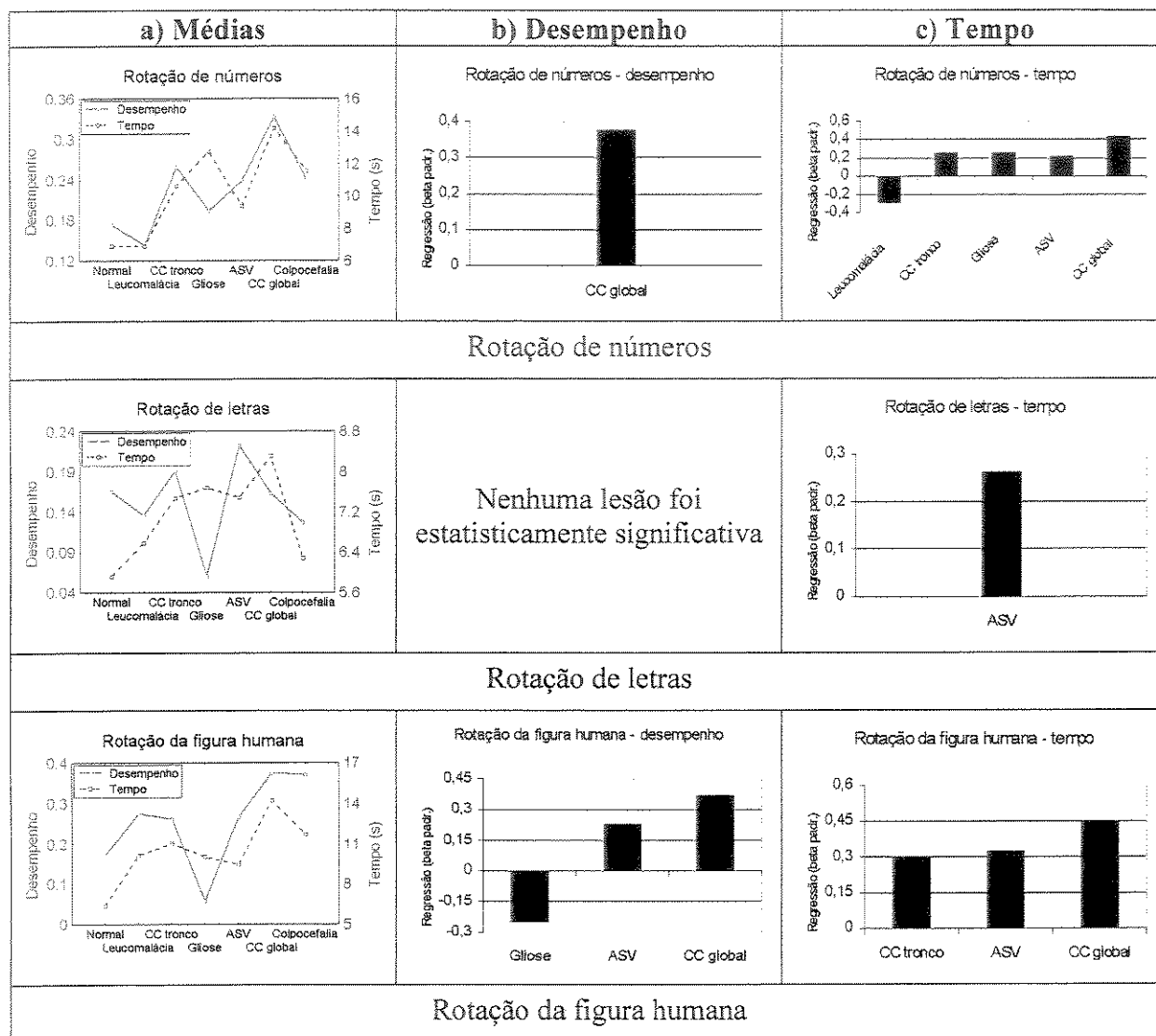


Figura 6.11 – Gráficos das médias e dos valores de beta do desempenho e do tempo para lesões significativas em cada jogo. *Continua.*

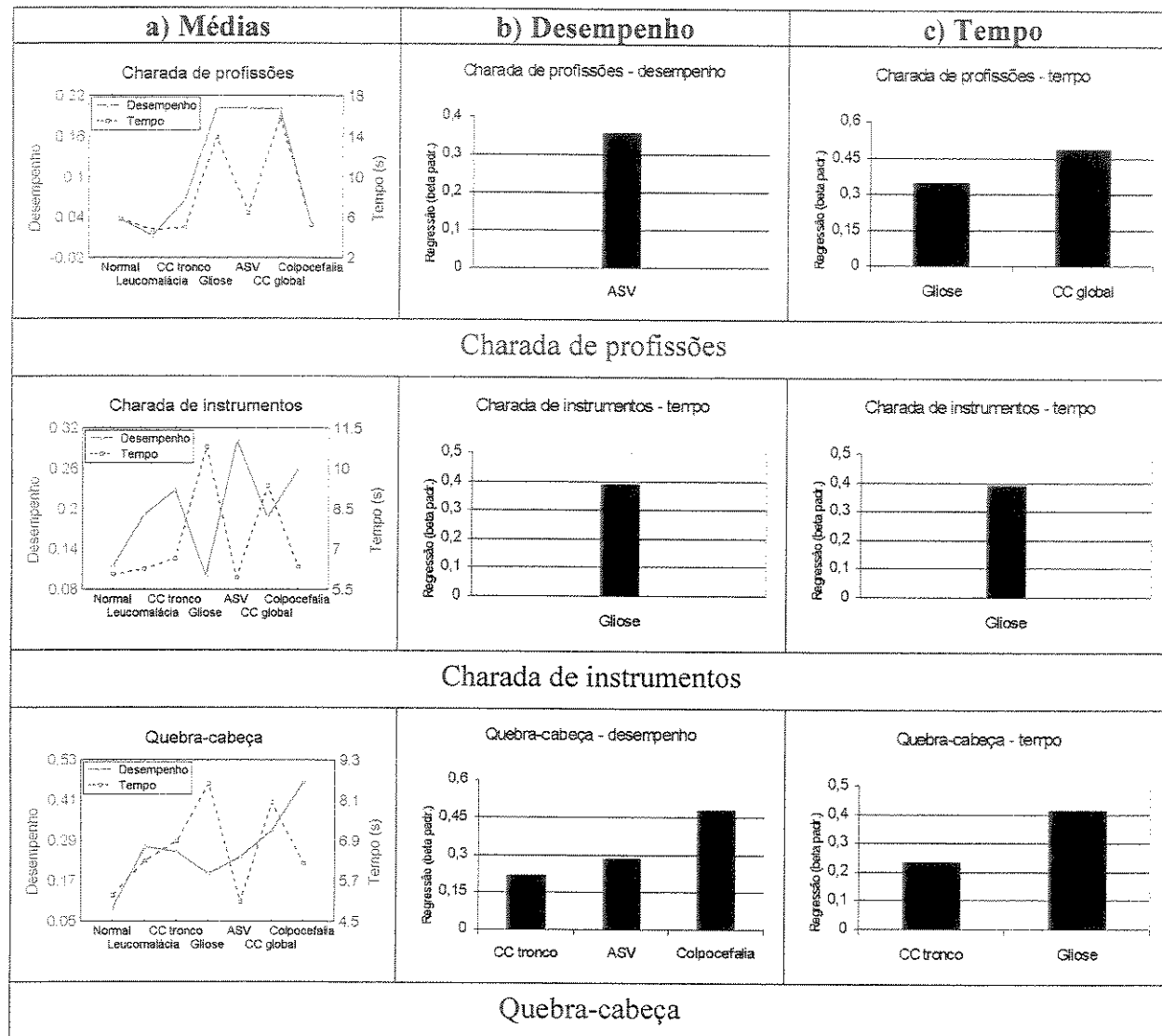


Figura 6.11 – *Continuação*. Gráficos das médias e dos valores de beta do desempenho e do tempo para lesões significativas em cada jogo.

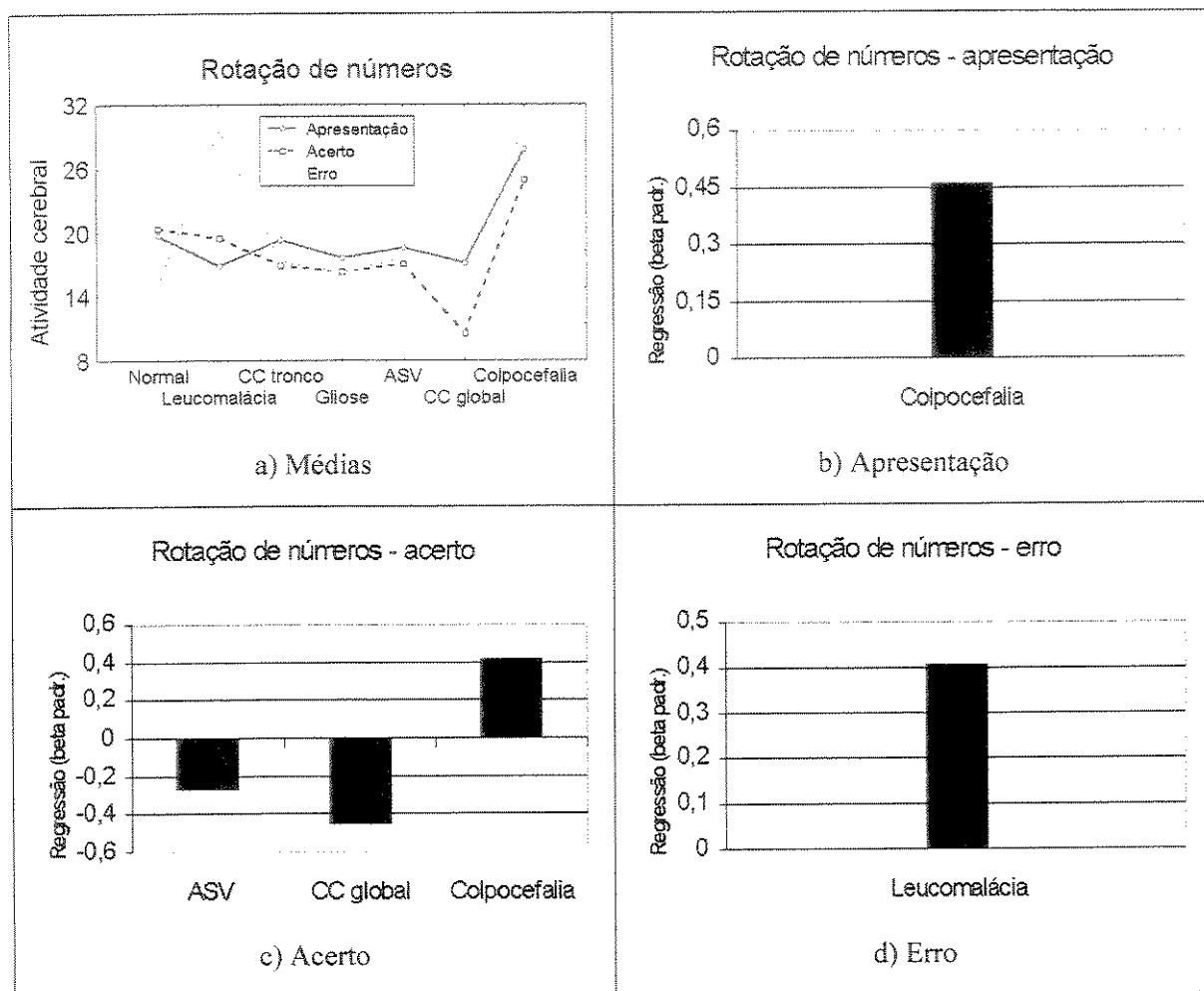


Figura 6.12 – Estatística dos eventos do jogo de rotação de números no grupo por lesão.

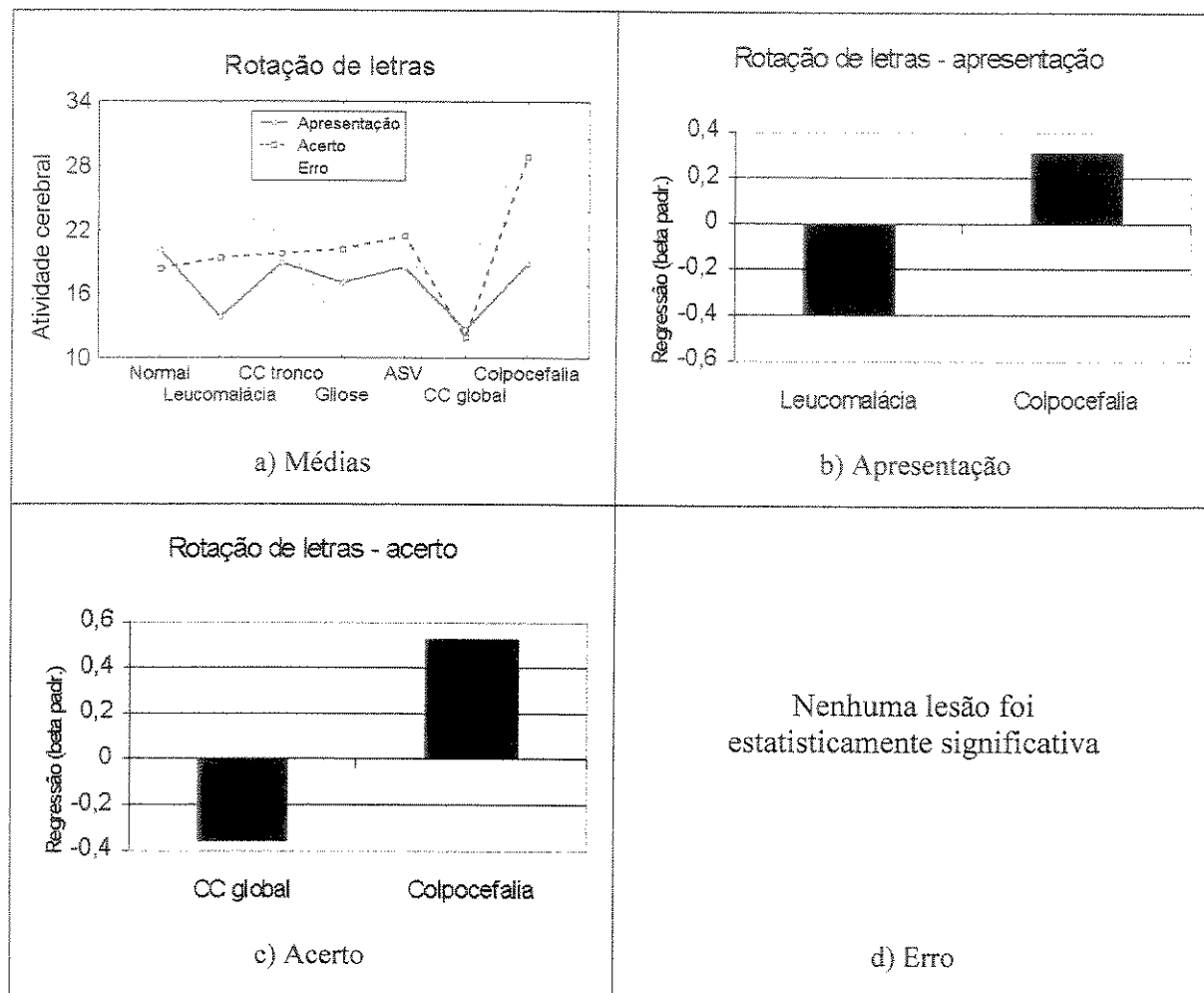


Figura 6.13 – Estatística dos eventos do jogo de rotação de letras no grupo por lesão.

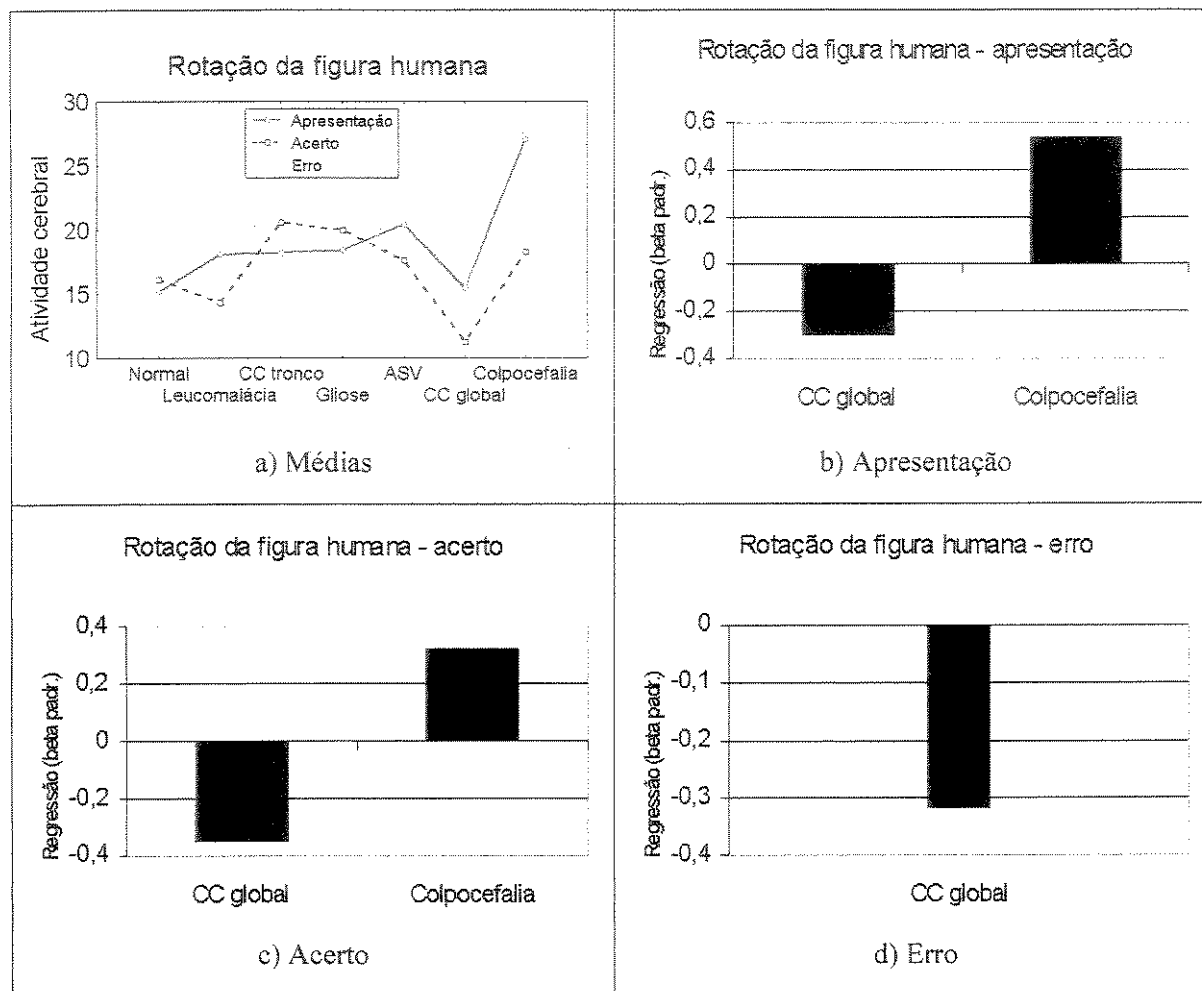


Figura 6.14 – Estatística dos eventos do jogo de rotação da figura humana no grupo por lesão.

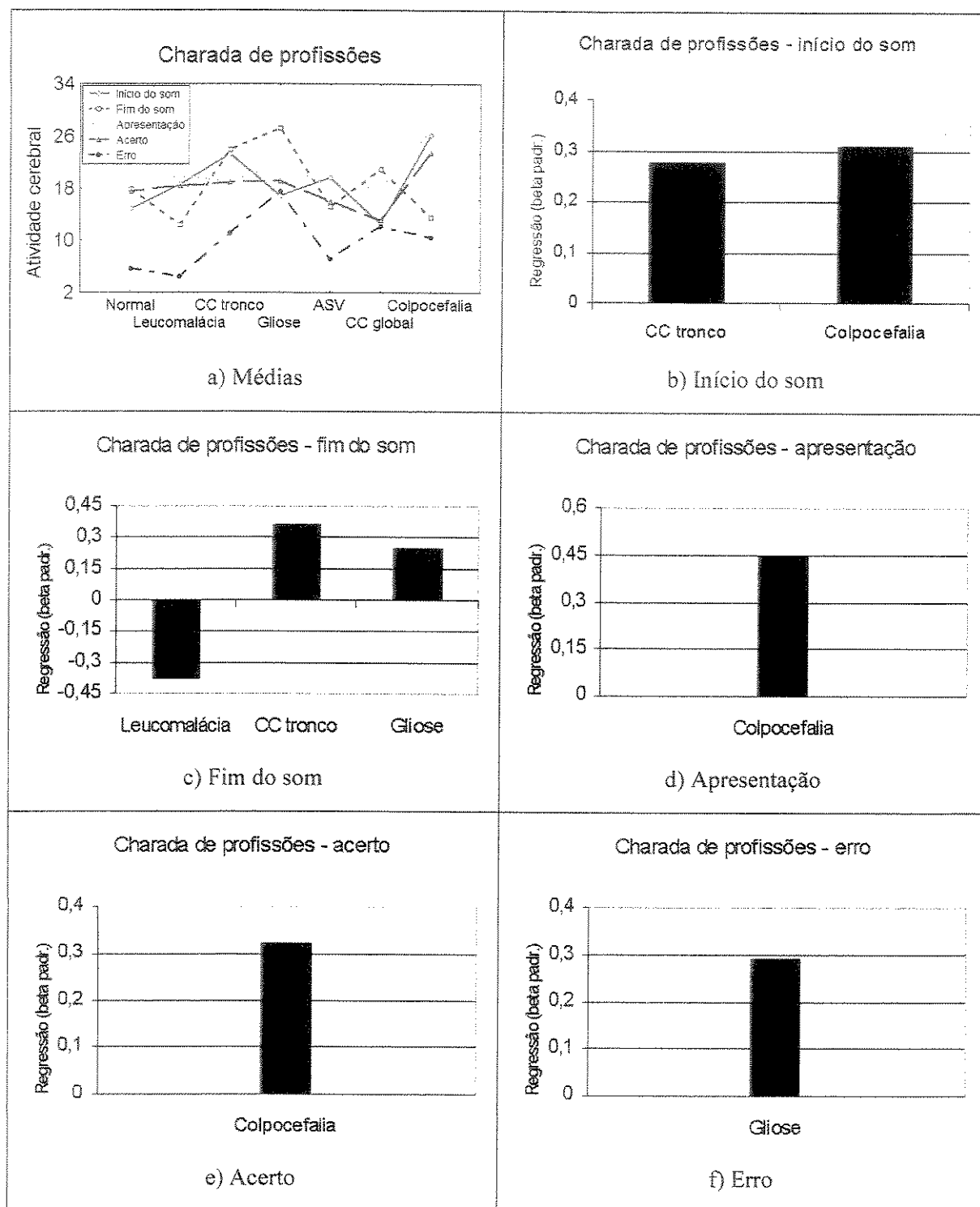


Figura 6.15 – Estatística dos eventos do jogo de charada de profissões no grupo por lesão.

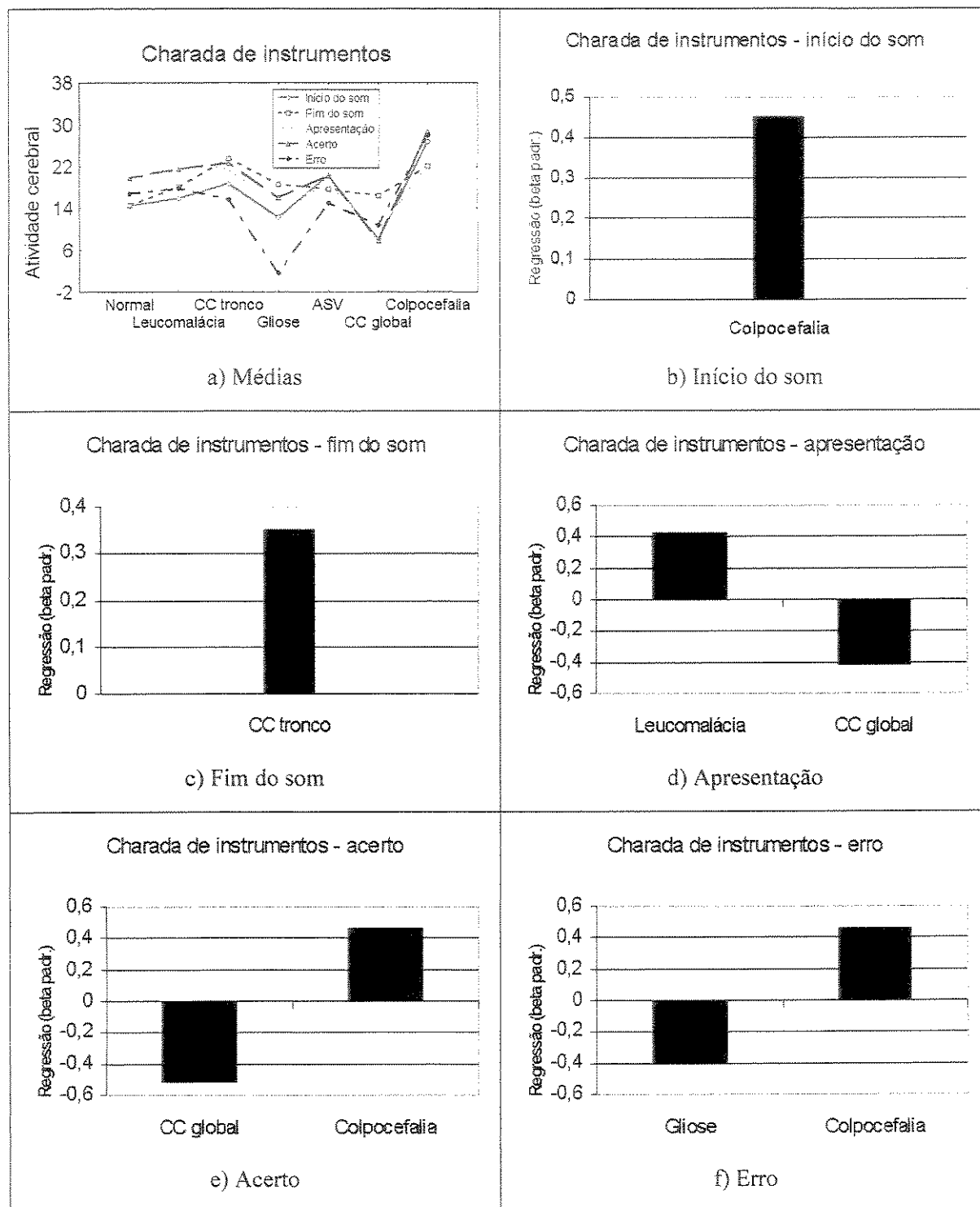


Figura 6.16 – Estatística dos eventos do jogo de charada de instrumentos no grupo por lesão.

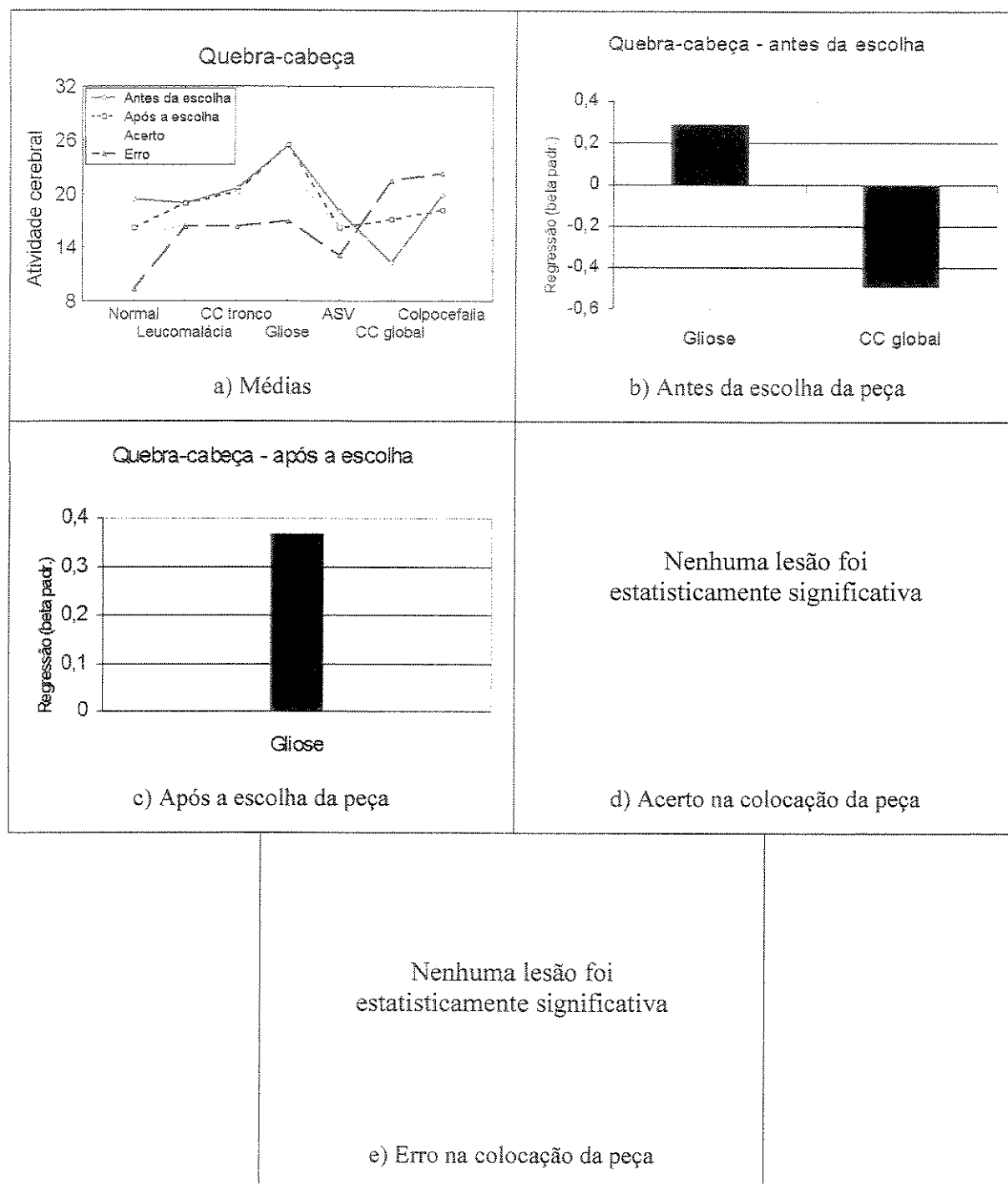


Figura 6.17 – Estatística dos eventos do jogo de quebra-cabeça no grupo por lesão.

## 6.3. Discussão

Finalizando este capítulo, apresenta-se uma discussão dos resultados apresentados, separados para cada grupo de estudos. Também se discute aspectos da metodologia adotada para estes estudos.

### 6.3.1. Sexo

Existem evidências, a partir de um grande número de diferentes fontes, que as interações entre os hemisférios variam entre homens e mulheres, influenciando nos processos cerebrais de atividades cognitivas. As mulheres tendem a realizar melhor tarefas lingüísticas, como velocidade de articulação, fluência verbal, gramática e produção verbal, ao passo que os homens tendem a ter um desempenho melhor em tarefas espaciais, como matemática, rotação mental e percurso de labirinto (Springer & Deutsch, 1989; Iaccino, 1993).

Esta diferença está baseada, segundo a teoria de Meyers-Levy (McGivern et al., 1997), por diferenças no processamento da informação que estão relacionadas a diferentes estratégias adotadas por cada um dos sexos para realizar uma atividade. Os homens, de acordo com esta teoria, geralmente organizam a informação de uma maneira auto-relacionada, enquanto as mulheres adotam uma abordagem compreensiva para o processamento da informação.

McGivern e colaboradores (*op.cit.*) realizaram um trabalho com crianças (entre 10 e 15 anos) e adultos em uma tarefa de memória de reconhecimento visual para determinar diferenças entre os sexos verificando essas estratégias, de modo que as categorias dos objetos de reconhecimento eram masculina, feminina, neutra ou randômica. Em todos os testes com cada categoria as meninas foram melhores que os meninos, assim como as mulheres adultas foram melhores que os homens, exceto quando a natureza do objeto era de uso masculino, onde nenhuma diferença significativa entre os sexos foi detectada. A explicação dada para estes resultados foi, como se queria mostrar, que os indivíduos do sexo feminino usam uma estratégia menos auto-referenciada que os do sexo masculino.

Em estudos, semelhantes ao anterior, mas de memória visual com crianças (Dyl & Wapner, 1996; Cherney & Ryalls, 1999), as meninas mostraram um índice de acerto maior

que os meninos quando os objetos focalizados eram femininos, ao passo que os meninos saíram-se melhor que as meninas quando os objetos eram de uso masculino ou neutro.

Em seu trabalho sobre a lateralidade cerebral entre os sexos, Davidson, Cave & Sellner (2000) mostraram que, na população de universitários estudada, os homens apresentaram uma precisão de acerto maior que as mulheres em tarefas cognitivas como memória de letras e memória espacial. O tempo de resposta dos homens a estas tarefas foi mais baixo que o das mulheres.

Em um outro estudo com tarefas de rotação mental de figuras geométricas e em jogos de cartas em computador, universitários do sexo masculino também saíram-se melhor que o sexo feminino em todos os jogos, de acordo com a pesquisa realizada por De Lisi & Cammarano (1996). A população adulta estudada estava na faixa de idade de 18 a 42 anos.

Lamm e colaboradores (1999) desenvolveram um estudo dos potenciais corticais relacionados a eventos em tarefas visuo-espaciais para avaliar as diferenças de processamento cerebral entre os sexos neste tipo de tarefa. O grupo de estudo composto por jovens estudantes entre 20 e 30 anos foi separado em bons e maus executores da tarefa e a performance dos indivíduos em cada sexo investigada. Tanto na separação dos bons quanto na dos maus executores, os homens apresentaram um maior número de itens resolvidos corretamente em comparação com as mulheres.

Por outro lado, em sua investigação sobre a diferença entre os sexos pelo fluxo sanguíneo cerebral em testes de memória episódica, Ragland e sua equipe (2000) encontraram que em tarefas de memória verbal as mulheres mostraram uma eficiência maior que a dos homens. Parece que as mulheres possuem uma organização semântica melhor, o que facilita os processos de codificação e recuperação da informação verbal.

Neste trabalho, os resultados da divisão do grupo das crianças por sexo evidencia que o desempenho dos meninos é melhor que o das meninas em quase todos os jogos, assim como parecem ser mais rápidos também. No caso do jogo de quebra-cabeça não há diferença na eficiência (desempenho e tempo) entre os sexos. Estes fatos indicam que em crianças deficientes mentais o processamento cerebral dos meninos também é mais eficiente que o de meninas, da mesma forma em que ocorre nos indivíduos normais, como mostrado anteriormente em outros trabalhos baseados em diferentes técnicas (Livesey & Intili, 1996). Há que se levar em consideração também que os objetos dos jogos eram neutros, não

diretamente dirigidos aos interesses de indivíduos de um sexo em particular, a não ser no caso do jogo de charada de instrumentos, onde as ferramentas são mais particularmente de uso masculino.

### 6.3.2. Classe escolar

Várias técnicas de neuroimagem têm sido usadas para examinar as mudanças na cognição relacionadas à idade. Parece que pessoas mais velhas utilizam áreas cerebrais diferentes das de pessoas mais jovens, quando elas realizam a mesma tarefa com o mesmo nível de proficiência. Estas diferenças, segundo Grady (2000), são interpretadas como um tipo de *reorganização funcional* ou *plasticidade funcional*. Neste contexto, a reorganização funcional é definida como a habilidade do cérebro maduro em recrutar novas áreas em uma rede cognitiva específica ou em alterar as interações entre as regiões envolvidas na rede neural cognitiva.

Luciana & Nelson (1998) mostraram que, em tarefas de reconhecimento espacial, de memória de trabalho espacial e de planejamento, a taxa de erro e o tempo de execução diminuem progressivamente à medida que aumenta a idade das crianças (de 4 a 8 anos, ano a ano) até a adolescência e fase adulta.

Diversos outros autores encontraram também em vários trabalhos com crianças o desenvolvimento cognitivo (maior eficiência, em maior quantidade de acertos e/ou menor tempo) diretamente relacionado com a progressão da idade, em diferentes tarefas cognitivas como: memória de trabalho verbal ou espacial (Cycowicz et al., 1997; Kail, 1997; Cherney & Ryalls, *op.cit.*; Fenner, Heathcote & Jerrams-Smith, 2000; Kemps, De Rammelaere & Desmet, 2000), reconhecimento de números (Towse & Saxton, 1997), reconhecimento de palavra (Aghababian & Nazir, 2000), problema de decisão (Espy et al., 1999), rotação mental (Fenner, Heathcote & Jerrams-Smith, *op.cit.*), processamento auditivo (Jerger, Pearson & Spence, 1999), linguagem (em crianças com lesão cerebral: Reilly, Bates & Marchman, 1998) e sequência numérica (Mix, 1999).

Um outro estudo realizado por Del Giudice e colaboradores (2000), com cinco grupos de crianças da pré-escola divididos por idade (de 3 a 5 anos, em períodos de 6 em 6 meses), mostrou que a porcentagem de respostas corretas em cada tarefa visuo-espacial também aumentou com o aumento da idade.

Huttenlocher, Levine & Vevea (1998) examinaram a relação da escolaridade com o crescimento cognitivo em uma população de crianças do jardim da infância e do primeiro ano do ensino fundamental, tanto no semestre de outono e quanto no semestre da primavera. Nestes quatro grupos analisados os resultados foram idênticos em todas as tarefas propostas: linguagem, operações espaciais, conceitos e memória associativa. O crescimento das habilidades cognitivas básicas estava relacionado com a escolaridade. Quanto maior o nível de escolaridade das crianças, maior foi o índice de acerto nessas tarefas. Os autores sugerem que a quantidade de informação escolar está relacionada ao crescimento cognitivo em domínios particulares.

Avaliando neste trabalho os resultados do grupo por classe escolar quanto ao desempenho e ao tempo de execução do jogo, uma questão podem ser levantada quando estes são confrontados com resultados de outras pesquisas. Parece ser que há uma relação direta entre desempenho, tempo, progresso escolar e idade. Ou seja, quanto mais avançado o nível escolar, melhor é o desempenho da criança e menor é o tempo que ela leva para executar um jogo, possivelmente em função do seu processo de aprendizagem e da sua maturidade cerebral, que, por sua vez, estão também relacionados com a idade.

Embora se haja percebido uma relação direta entre desempenho e tempo nos jogos de rotação e de charada, o mesmo não aconteceu com o quebra-cabeça. Isto pode estar relacionado às diferentes estratégias que a criança pode adotar para resolver o problema. É possível que quanto maior o nível da aprendizagem da criança, mais elaborada seja a sua estratégia de solução e, conseqüentemente, maior seja o tempo despendido para a análise e execução da tarefa.

Juottonen, Revonsuo & Lang (1996) mostraram que a idade influencia no potencial cerebral relacionado a evento (ERP) em tarefas cognitivas relativas à análise de efeitos de contexto semântico, através das formas de onda N400 e LPC do ERP<sup>10</sup>. Neste trabalho ficou evidenciado que o efeito da amplitude do N400 é significativamente maior em crianças pequenas que em crianças maiores ou adultos, enquanto o LPC tem efeito oposto ao N400. Outros trabalhos relacionados à cognição indicam também uma diminuição dos valores de

---

<sup>10</sup> O componente N400 do ERP é o pico da forma de onda de amplitude negativa que ocorre na latência em torno de 350-450 ms, relativa à medição centro-parietal (CZ) do EEG. O componente LPC do ERP é o pico de amplitude positiva que acontece nesta mesma forma de onda.

vários componentes da atividade cerebral com o avanço da idade (Yordanova & Kolev, 1997; Yordanova, Kolev & Basar, 1998; Klimesch, 1999).

Também nos dados aqui apresentados neste trabalho pode-se observar que a atividade cerebral (representada por beta) das crianças, na maior parte dos eventos em todos os jogos, diminui com o aumento da classe escolar e, conseqüentemente, com o aumento da idade. Isso vem de encontro com os resultados encontrado na literatura.

Quanto ao jogo de charada de instrumentos, no qual esta relação não se estabelece tão nitidamente como nos outros jogos, pode-se sugerir que os resultados obtidos possam ser decorrentes de aspectos motores referentes ao uso que se faz das ferramentas, como já foi constatado em outro trabalho científico (Landau, Smith e Jones, 1998). Em tal trabalho verificou-se que durante a nomeação ou referência a uma ferramenta há a ativação de certas regiões motoras que são ativadas quando as pessoas imaginam o movimento da mão. Isso por si só pode alterar toda a atividade cerebral da pessoa, pois recruta diferentes áreas cerebrais adicionais e, conseqüentemente, isso modificaria o valor da entropia do cérebro. Isto pode ser sugestivo de explicação para o caso em questão.

### **6.3.3. Lesão**

Antes de se iniciar a discussão sobre os resultados do grupo separado por lesão, é necessário dizer que não é objetivo neste trabalho explicar a influência das lesões na capacidade cognitiva das crianças e nem tampouco indicar que tipo de dificuldades são inerentes aos portadores da lesão, pois isso acarretaria a necessidade de um estudo detalhado de cada uma das lesões enfocadas e dos mecanismos de plasticidade neuronal. Os comentários aqui expostos terão apenas o intuito de fomentar uma discussão a respeito do tema e levantar algumas hipóteses sobre os resultados obtidos no grupo por lesão, como possibilidade de uma investigação posterior. A importância da análise da separação do grupo por lesão está em verificar se a metodologia é capaz de discriminar os comportamentos das crianças com cada tipo de lesão em função das tarefas propostas.

O desenvolvimento da plasticidade cerebral em associação com o cérebro lesionado depende de vários fatores, como a idade do indivíduo no momento da ocorrência da lesão, o tamanho e a topografia da lesão, o estado de maturação do sistema cerebral afetado, a

integridade das áreas cerebrais circundantes e contralaterais da lesão, a presença e a duração da epilepsia, dentre outros (Chugani, Müller & Chugani, 1996). Quando uma lesão ocorre no cérebro em desenvolvimento, há uma ruptura transiente do processo de maturação normal seguida por uma tentativa intrínseca de compensação da lesão, de modo que haja uma recuperação das funções anteriormente mediadas pelo componentes danificados (plasticidade cerebral). Isso foi demonstrado no presente estudo pelo grupo separado por lesão, onde todas as crianças, com qualquer tipo de lesão, conseguiram resolver todos os jogos propostos, apesar do seu maior ou menor grau de dificuldade.

Embora uma lesão possa alterar as habilidades da criança em algumas aspectos cognitivos, isso não a impede de realizar as tarefas propostas, pois possivelmente ela está usando outras regiões não danificadas para suprir a deficiência causada pela lesão. Isso significa que a capacidade de aprendizagem da criança foi preservada, independentemente da eficiência ou do tempo que ela possa levar para obter sucesso na tarefa. Em seu trabalho com linguagem em crianças portadoras de lesões cerebrais extensas, Foz e colaboradores (1999) apresentaram uma demonstração clara do fenômeno de plasticidade neuronal, mostrando que, na realização das tarefas lingüísticas, para três dessas crianças houve o recrutamento de neurônios do hemisfério direito, que assumiram o processamento verbal que deveria ser executado pelas áreas lesionadas. Este trabalho recebeu o prêmio de melhor contribuição na área de Linguagem no 5º Congresso Brasileiro de Fonoaudiologia.

Entretanto, a partir do comportamento cerebral cognitivo do grupo aqui estudado algumas observações podem ser levantadas, a fim de se motivar uma pesquisa mais aprofundada sobre os resultados adquiridos. A seguir, discutir-se-á uma lesão específica, corpo caloso, para mostrar que realmente há espaço para pesquisas neste campo.

De acordo com a literatura, anormalidades originadas no córtex cerebral, inclusive de atenção, podem ser refletidas por lesões no corpo caloso e no tronco cerebral, pois o corpo caloso parece ser importante para a transferência e a facilitação da informação associativa e sensorial entre os hemisférios e no tronco cerebral, por projetar fibras nervosas para o tálamo e para o córtex cerebral, podendo assim modificar toda a organização cerebral (Berlucchi, 1999). Estudos realizados mostraram que anormalidades no corpo caloso podem limitar muito a transferência subcortical de informações sobre cor e forma (Forster & Corballis, 2000), assim como causar distúrbios de linguagem (Preis et al., 2000).

Neste trabalho, constatou-se uma diferença significativa no desempenho e no tempo de execução de tarefas cognitivas relacionadas a visão (jogos de rotação) e linguagem (jogos de charada) nas crianças portadoras de lesão no corpo caloso (tronco ou global), quando comparadas com crianças com ressonância normal, assim como também em vários dos eventos associados a estas tarefas. Isso pode ser sugestivo de uma influência deste tipo de lesão na atividade cerebral da criança, pois a lesão do corpo caloso compromete um recrutamento eficiente dos agentes necessários à execução das tarefas, sobretudo nas associações de agentes interhemisféricos.

Considerando-se a distribuição das lesões em cada classe para cada jogo (tabelas 6.2 a 6.7), as classes Pré 2 e Alfa 2 – contabilizando apenas as crianças que apresentaram exame de ressonância magnética, com ou sem lesão – mostraram uma proporção aproximada de somente uma criança com ressonância normal para cada sete crianças do total da classe (1:7), respectivamente, em todos os jogos, enquanto que nas demais classes esta proporção apresenta aproximadamente uma criança com ressonância normal a cada duas crianças da classe (1:2). Para a classe Alfa 2, embora a proporção de indivíduos com ressonância normal seja bem baixa em comparação com o número de portadoras de lesão, há uma distribuição mais ou menos equitativa entre os tipos de lesões; entretanto, na classe Pré 2 há um grande número de indivíduos apresentando assimetria ventricular (ASV) e lesão no tronco do corpo caloso (CC tronco). Talvez esta diferença de proporção encontrada nas duas classes possa ter influenciado na diferença encontrada nos fatores desempenho, tempo e atividade cerebral dos eventos para certos tipos de jogos, considerando o maior ou menor grau de dificuldade que tais jogos possam apresentar. Sobretudo na classe Pré 2, os dois tipos de lesão mencionados podem talvez ser sugestivos de uma influência mais forte em alguns jogos e eventos, segundo as características de deficiência neural – mais relacionadas a estes jogos – que estas lesões possam apresentar.

Como visto, as observações sobre o corpo caloso parecem mostrar que ele mantém uma influência nas atividades de seus portadores, que pode ser identificada na interrelação dos resultados dos grupos divididos por classe escolar e por lesão.

A assimetria ventricular (ASV) também mereceria uma investigação mais profunda, pois nas tarefas relacionadas ao processamento visual e à linguagem as crianças inseridas nesta categoria obtiveram uma diferença significativa tanto no desempenho quanto no tempo

de execução do jogo, quando comparadas com as crianças com ressonância normal. Assim como na lesão do corpo caloso, a ASV também apresentou um número considerável de indivíduos na classe Pré 2, aumentando a suspeita da influência destes dois tipos de lesão nos resultados encontrados. A perda de fibras de comunicação e conseqüentemente um aumento dos problemas de recrutamento de agentes na assimetria ventricular poderiam explicar as diferenças observadas nos grupos separados por classe escolar e por lesão, assim como sugerido no caso de lesão do corpo caloso.

Em resumo, os resultados no grupo separado pela lesão parecem evidenciar que, em alguns casos, o desempenho, o tempo e atividade cerebral de algumas crianças portadoras de uma lesão são influenciados por características dessa lesão e do tipo de tarefa às quais estas crianças estão subordinadas, quando comparadas com as crianças com ressonância normal. Estes resultados induzem a se acreditar que as características das também determinam as habilidades das crianças em executar uma atividade cognitiva, que vai além do seu repertório criativo, e que é dependente do processo educacional no qual elas estão submetidas.

Entretanto, o fato de uma criança possuir um determinado tipo de lesão não significa que ela esteja incapacitada para uma tarefa cognitiva muito complexa, ou mesmo que sua habilidade para a realização não possa ser grande, apesar do longo tempo que ela possa levar para executá-la. Aí o fator educacional parece ser importante para aumentar a proficiência da criança nesta tarefa.

#### **6.3.4. Metodologia**

Há muitos anos tem havido um crescimento explosivo no campo de técnicas de imagem do cérebro humano (CT, PET, fMRI, MEG, etc.). Muito desse trabalho tem confirmado que o processamento de informação no cérebro humano envolve a atividade relacionada a múltiplas regiões corticais espacialmente distribuídas. Os principais objetivos dos trabalhos direcionados ao mapeamento do cérebro humano em funções cognitivas incluem a identificação das regiões que participam em várias operações do processamento de informação, caracterizando o papel funcional desempenhado por cada região, e modelando as interações entre cada região. Entretanto, estas técnicas não avaliam o comprometimento do cérebro como um todo na resolução de uma função cognitiva, ao passo que a metodologia aqui proposta é capaz não só

de diferenciar as áreas envolvidas na função (embora isto não tenha sido objeto desta pesquisa) como também ‘medir’ o esforço cerebral despendido na execução da função.

As técnicas de imagem cerebral funcional têm disponibilizado uma resolução anatômica do cérebro cada vez mais fina e precisa. Contudo, o comprimento da amostra temporal que é exigido para se atingir tal resolução é ainda de uma magnitude muito grande para se poder visualizar os padrões característicos da atividade de processos neurofisiológicos que se alteram rapidamente no tempo (Gevins et al., 1995; Di Salle et al., 1999). Em contraste, o eletroencefalograma (EEG) tem uma resolução temporal que pode ser tão fina quanto a taxa de amostragem analógica-digital usada para registrá-lo, e sua excelente sensibilidade a mudanças na atividade mental, embora com uma cobertura da superfície menor, tem sido relatada em diversos trabalhos científicos com excelentes resultados (Juottonen, Revonsuo & Lang, 1996, Lamm et al., *op.cit.*, Pelosi & Blumhardt, 1999). Considerando estes pontos, este trabalho confirma então a viabilidade da utilização do EEG no estudo de processos dinâmicos, sobretudo pelos resultados aqui obtidos.

Os resultados dos estudos mostrados indicam que a metodologia proposta para o cálculo do EEG é eficiente, pois permitiu caracterizar e distinguir claramente os subconjuntos dos grupos de estudo, inclusive com dados comparáveis aos encontrados na literatura, o que valida a sua confiabilidade e a sua utilização.

Os valores médios da atividade cerebral (complexidade ou capacidade computacional global -  $HC$ ) dos jogos mostrados no capítulo mostram que na maior parte dos eventos dos jogos analisados, seja no grupo por classe escolar ou por lesão, foi apresentada uma entropia geral na ordem de:

$$HC \rightarrow 20, \text{ onde: } HC = \sum_{z=1}^5 hc^z,$$

significando que os cinco principais agentes ( $\beta = 5$ ) engajados na solução da tarefa possuíam, em média,  $hc^z \rightarrow 4$  bits. Assim, de acordo com as equações 3.17 a 3.19, tem-se:

$$0 < \alpha < (hc^z \rightarrow 4) < (\beta = 5) < (n = 20), \quad \text{e}$$

$$n - \beta = \xi \quad \therefore \quad \xi \gg 0$$

e o cérebro pode ser considerado um *sistema inteligente especializado*, como definido pela equação 3.20, em que  $hc^z \rightarrow \beta < n$  e  $\xi \gg 0$ .

Com uma abordagem matematicamente muito semelhante, Tononi e colaboradores (Tononi, Edelman & Sporns, 1998) desenvolveram uma medida multivariada de dependência estatística de agrupamento funcional para estudar a interação entre as áreas cerebrais. Em estudos com grupos controle e de esquizofrênicos nos mecanismos de integração da consciência (Tononi et al., 1998; Tononi & Edelman, 2000), eles mostraram que para cada um desses grupos existem regiões no cérebro que interagem muito mais fortemente entre si que com o resto do cérebro – com medidas multivariadas aplicadas aos dados de PET. Todavia, nenhum ensaio de uma avaliação do comportamento global do cérebro foi indicado como tentativa quantitativa de diferenciação dos grupos, assim como a medida de capacidade computacional global estabelecida neste trabalho. Por outro lado, nesta dissertação não houve uma tentativa de divisar as áreas cerebrais participantes das tarefas cognitivas. Entretanto, isso pode ainda ser realizado posteriormente e confrontado com os trabalhos da equipe de Tononi (*op.cit.*).

## 7. Considerações finais

*“Tantas vezes pensamos ter chegado  
Tantas vezes é preciso ir além.”  
(Fernando Pessoa)*

### 7.1. Conclusões

As diferenças entre os sexos na cognição humana parecem ir muito além de suas capacidades intelectuais. Existem discussões vários pontos de vista controversos a este respeito (McGivern et al., 1997). Uns afirmam, por exemplo, que tais diferenças são fenômenos biológicos baseados em pressões evolutivas relacionadas a estrutura social e ao ambiente do homem primitivo, enquanto outros defendem que tais diferenças advêm de diferenças nas estratégias empregadas no processamento da informação. Independente de qual seja a explicação – embora vários dos resultados presentes possam ser explanados por uma destas teorias, como já discutido –, o fato é que neste trabalho encontrou-se diferenças significativas relacionadas ao sexo na eficiência das crianças nas tarefas cognitivas propostas, com uma melhor atuação dos meninos.

As análises realizadas no capítulo precedente demonstraram que a eficiência das crianças em tarefas cognitivas está diretamente relacionada com a sua aprendizagem escolar, refletindo uma propensão do seres humanos em construir certas habilidades a partir de aspectos gerais adquiridos do ambiente, que acabam por alicerçar suas experiências individuais. Crianças em estágios mais avançados na escola têm mais desenvolvidas suas habilidades cognitivas, pois possuem um repertório de conhecimento maior e, conseqüentemente, uma maior

permeabilidade para novos desafios e abstrações, como pôde ser constatado na análise dos dados.

Estas evidências também indicam que as crianças com deficiência mental desenvolvem a sua capacidade de aprender e o seu potencial intelectual, apesar de muitas vezes portarem lesões específicas que podem dificultar e/ou prejudicar a efetuação de certos tipos de tarefas cognitivas. Em outras palavras, a população destas crianças deficientes mentais estudadas (com  $QI > 70$  e  $QI < 80$ ) mostrou possuir uma capacidade de aprendizagem que lhe possibilita aumentar o seu rendimento com o desenvolvimento progressivo da escolaridade, igualmente ao que acontece com as populações de crianças normais.

Através dos resultados encontrados, a metodologia aqui proposta utilizando o EEG parece indicar um caminho promissor para muitos tipos de acompanhamento da ativação cerebral durante a realização de tarefas mentais, visto que a metodologia aplicada conseguiu encontrar diferenças significativas entre os comportamentos cognitivos dos grupos investigados.

## **7.2. Contribuições metodológicas deste trabalho**

O EEG, embora tenha uma resolução espacial menor em comparação com as outras técnicas de mapeamento cerebral, oferece uma resolução temporal a custos muito mais acessíveis. Várias instituições de pesquisa e de atendimento/acompanhamento clínico ou educacional não dispõem de recursos suficientes para financiar pesquisas de custo alto e para adquirir equipamentos sofisticados e caros. Uma das contribuições deste trabalho foi adequar as ferramentas aqui disponíveis para estudos do cérebro humano a essa realidade, sem muitos gastos financeiros, mas com qualidade e eficiência, e com resultados comparáveis aos das outras técnicas de imagem do cérebro.

Assim, uma grande vantagem desta metodologia que estimula bastante a sua utilização, é o fato dela requerer um instrumental simples, barato e de fácil aquisição (dois computadores e um eletroencefalograma), permitindo fazer experimentos em larga escala, a um custo reduzido para cada experimento.

Além disso, um aspecto bastante relevante desta metodologia é que a coleta do EEG pode ser feita no próprio ambiente do voluntário, diminuindo os efeitos de ansiedade, estresse e outros fatores psicológicos que poderiam influir no desempenho do indivíduo e alterar os resultados do monitoramento de sua atividade cerebral. Isso sem contar o benefício de ser uma técnica não-invasiva e do equipamento possuir uma grande portabilidade, isto é, o equipamento pode ser transportado e utilizado em qualquer lugar.

Outra vantagem é que uma vez adquirido o EEG, o seu registro pode ser manipulado de diversas maneiras, possibilitando diversas abordagens e tipos de cálculos e medidas, e permitindo diferentes tipos de estudos “off-line”.

Pode-se citar ainda que a exigência computacional para a manipulação do EEG não é exaustiva e que a aplicação da metodologia, além do estudo de grupos, pode ser aplicada no acompanhamento da evolução cognitiva de indivíduos isolados.

### 7.3. Sugestões de trabalhos futuros

Dando continuidade a esta pesquisa uma possibilidade seria tentar usar os dados obtidos das equações de regressão correntes para fazer predição da eficiência de crianças que não tenham sido submetidas a uma aprendizagem formal na escola objeto de pesquisa, a fim de classificá-las em uma classe escolar. Ou ainda, dada uma criança com um certo tipo de lesão, prever qual o comportamento previsto desta criança frente a um determinado tipo de atividade cognitiva.

Aplicado o mesmo estudo a uma população de crianças normais matriculadas na pré-escola e no ensino fundamental, os resultados deste tipo de pesquisa permitirão uma melhor avaliação dos resultados obtidos com as crianças deficientes mentais, possibilitando uma melhor compreensão dos fenômenos que dificultam o aprendizado nos grupos com deficiências cerebrais. Esta comparação poderia, por exemplo, ser feita através do progresso escolar medido pelos coeficientes angulares (beta) nas duas populações.

Vários outros experimentos diferentes utilizando a mesma metodologia exposta neste trabalho podem ainda ser feitos, sobretudo por dois enfoques distintos: *estudo de grupos* e *estudo de estímulos*. O estudo de grupos seria como o apresentado nesta dissertação; ou seja, dado um estímulo, como diferentes grupos o percebem, ou melhor, se um estímulo é capaz de

caracterizar grupos segundo suas respostas a tal estímulo. No outro caso, o estudo de estímulos estaria relacionando como um mesmo grupo percebe estímulos de natureza próxima, mas de percepção distinta.

Exemplificando a primeira linha de investigação, sabe-se que os músicos, devido à sua formação, têm uma grande habilidade e acuidade auditiva na discriminação de notas musicais, tons e melodias (Koelsch, Schroger & Tervaniemi, 1999). Os instrumentos musicais, por sua vez, produzem os mesmos sons com timbres diferentes, fornecendo diferentes tipos de “sensações musicais”. Como um músico que toca dois ou mais instrumentos percebe os sons e notas musicais destes instrumentos? Será da mesma forma que um músico que toca um só instrumento ou de uma pessoa comum que não tem nenhum conhecimento musical (Hirata, Kuriki & Pantev, 1999)? Como o cérebro destes indivíduos responde a aspectos do processamento musical, tais como duração, ordem temporal, seqüenciamento, ritmo, memória tonal, timbre, melodia e intensidade (Springer & Deutsch, 1989; Platel et al., 1997; Griffiths et al., 1998)? Assim, poder-se-ia formar grupos compostos por músicos de múltiplos instrumentos, músicos de instrumento único e não-músicos, e então estudar alguns aspectos musicais.

Para o enfoque no estudo de estímulos, poder-se-ia examinar o comportamento da atividade cerebral de um grupo na discriminação de faces familiares e não-familiares (Sommer, Komoss & Schweinberger, 1997), objetos bidimensionais e tridimensionais, som verbal e não-verbal, percepção de elementos básicos e complexos (i.e., sílaba  $\times$  palavra, nota musical  $\times$  frase melódica, linha  $\times$  figura geométrica), etc.

Uma característica importante da metodologia é que a atividade cerebral pode além de ser avaliada globalmente (*HC*), ser também avaliada localmente através da capacidade computacional (*hc<sub>i</sub>*) de cada agente. Contudo, esta última possibilidade não foi ainda explorada. Tomando-se medidas simultâneas em todas as regiões do cérebro seria possível identificar através de um mapeamento destas medidas, o conjunto dos principais agentes que participam de uma função cognitiva, e talvez estabelecer algum padrão de ativação ou de comunicação entre agentes colaboradores de certos processos cognitivos e/ou de operações de processamento de informações. Neste sentido, também poder-se-ia investigar a conectividade entre os agentes durante a solução de uma tarefa. A utilidade desse mapeamento, no caso do estudo das crianças deficientes mentais, seria levantar uma suposição ou confirmar alguma

eventual disfunção cerebral da criança, de modo que tal diagnóstico pudesse permitir o ajuste das técnicas de ensino às capacidades efetivas de aprendizagem da criança, fornecendo uma assistência adequada ao deficiente cerebral, no sentido de melhorar sua capacidade de aprendizagem.

Por fim, considerando ainda o emprego da metodologia, nota-se que, para o processamento do EEG, o fator de tempo é importante para se analisar a resposta em cada evento. A utilização de um tempo de análise muito grande faz com que a resposta seja mascarada, não percebendo certas sutilezas específicas do processamento cerebral de um evento. Da mesma forma, um tempo muito pequeno pode perder ativações que tardam um pouco mais a serem iniciadas. Assim, o estabelecimento dos parâmetros temporais é significativo para a análise da atividade cerebral, pois, em última instância, modifica os resultados da entropia global do cérebro e, conseqüentemente, os valores dos coeficientes angulares nas análises estatísticas. Os estágios de alteração da atividade mental de um indivíduo ou grupo durante uma atividade cognitiva podem então ser acompanhados através do ajuste sequencial de intervalos de tempo de processamento do EEG, e conseguinte análise destes intervalos sucessivos (acompanhamento dinâmico do processamento cognitivo). Através do mapeamento cerebral, poder-se-ia verificar em quais momentos certas áreas cerebrais são mais ou menos ativadas nos grupos de estudo durante determinadas atividades cognitivas.

---

*“Se tudo for feito com Amor e ingenuidade;  
Se todos se amarem mutuamente;  
Se a felicidade for uma Eternidade;  
Se a tristeza for mera passagem;  
Se a amizade for sincera e de Verdade;  
Se a vida for um Dar acima de receber;  
Então descobriremos que foi em cada um desses  
momentos que nosso coração bateu mais forte,  
e que agimos pura e simplesmente como seres Humanos!”*

*- VERA COSTA*

---

# Bibliografia

- ABDULLAEV, Y. G., BECHTEREVA, N. P. & MELNICHUK, K. V. "Neuronal activity of human caudate nucleus and prefrontal cortex in cognitive tasks". *Behavioural Brain Research*, p.159-177, 1998.
- AGHABABIAN, V. & NAZIR, T. A. "Developing normal reading skills: aspects of the visual processes underlying word recognition". *J. Exp. Child Psychology*, n.76, p. 123-150, 2000.
- ALIVISATOS, B. "The role of the frontal cortex in the use of advance information in a mental rotation paradigm". *Neuropsychologia*, v.30, n.2, p.145-159, 1992.
- BANICH, M. T. & NICHOLAS, C. D. "Integration of processing between the hemispheres in word recognition". In: BEEMAN, M. & CHIARELLO, C. (Eds.). *Right hemisphere language comprehension: perspectives from cognitive neuroscience*. New Jersey: Lawrence Erlbaum, 1998, p.51-77.
- BARCELÓ, F., MARTÍN-LOECHES, M. & RUBIA, F. J. "Event-related potentials during memorization of spatial locations in the auditory and visual modalities". *EEG Clin. Neurophys.*, v.103, p.257-267, 1997.
- BARLOW, J. S. *The Electroencephalogram: its patterns and origins*. Cambridge, Massachussets: A Bradford Book, 1993.
- BEEMAN, M. "Coarse semantic coding and discourse comprehension". In: BEEMAN, M. & CHIARELLO, C. (Eds.). *Right hemisphere language comprehension: perspectives from cognitive neuroscience*. New Jersey: Lawrence Erlbaum, 1998, p.255-284.
- BELIN, P., ZATORRE, R. J., LAFAILLE, P., AHAD, P. & PIKE, B. "Voice-selective areas in human auditory cortex". *Nature*, v.403, p.309-312, 2000.
- BERLUCCHI, G. "Integration of brain activities: the roles of the diffusely projecting brainstem systems and the corpus callosum". *Brain Research Bulletin*, v.50, n.5/6, p. 389-390, 1999.
- BOROD, J. C., BLOOM, R. L. & HAYWOOD, C. S. "Verbal aspects of emotional communication". In: BEEMAN, M. & CHIARELLO, C. (Eds.). *Right hemisphere language comprehension: perspectives from cognitive*. New Jersey: Lawrence Erlbaum, 1998, p.285-307.

- BREWER, J. B., ZHAO, Z., DESMOND, J. E. et al. "Making Memories: Brain activity that predicts how well visual experience will be remembered". *Science*, v.281, p.1158-1187, 1998.
- CABEZA, R. et al. "Functional neuroanatomy of recall and recognition: a PET study of episodic memory". *J. Cogn. Neurosci.*, v.9, p.254-265, 1997.
- CABEZA, R. & NYBERG, L. "Imaging cognition: an empirical review of PET studies with normal subjects". *J. Cog. Neurosci.*, v.9, p.1-26, 1997.
- CARDOSO, S. H. "Funções Especializadas do Córtex Cerebral". *Cérebro & Mente*; Revista Eletrônica de Divulgação Científica em Neurociência. Link: <http://www.epub.org.br/cm/n01/arquitet/cortex.htm>, NIB/UNICAMP, Campinas, n.1, mar./mai.1997.
- CERULLO A., MARINI C., CEVOLI S., CARALLI V. et al. "Colpocephaly in two siblings: further evidence of a genetic transmission". *Dev. Med. Child Neurol.*, April, v.42, n.4, p. 280-282, 2000.
- CHANDRASEKARAN, B. "Natural and social system metaphors for distributed problem solving: introduction to the issue". *IEEE Trans. Sys. Man. Cybernet.*, v.11, p.11-15, 1981.
- CHERNEY, I. D. & RYALLS, B. O. "Gender-linked differences in the incidental memory of children and adults". *J. Exp. Child Psychology*, n.72, p. 305-328, 1999.
- CHIARELLO, C. "On codes of meaning and the meaning of codes: semantic access an retrieval within and between hemispheres". In: BEEMAN, M. & CHIARELLO, C. (Eds.). *Right hemisphere language comprehension: perspectives from cognitive neuroscience*. New Jersey: Lawrence Erlbaum, 1998, p.141-160.
- CHUGANI, H. T., MÜLLER, R. & CHUGANI, D. C. "Functional brain reorganization in children". *Brain and Development*, n.18, p. 345-356, 1996.
- CLARKE, J. M., McCANN, C. M. & ZAIDEL, E. "The corpus callosum and language: anatomical-behavioral relationships". In: BEEMAN, M. & CHIARELLO, C. (Eds.). *Right hemisphere language comprehension: perspectives from cognitive neuroscience*. New Jersey: Lawrence Erlbaum, 1998, p.27-50.
- COHEN, M. S., KOSSLYN, S.M., BREITER, H. C., et al. "Changes in cortical activity during mental rotation. A mapping study using functional MRI". *Brain*, v.119, n.1, p.89-100, 1996.

- CORBETA, M. "Frontoparietal cortical networks for directing attention and the eye to visual locations: identical, independent or overlapping neural systems?". *Proc. Natl. Acad. Sci.*, v.95, p.831-838, 1998.
- COURTNEY, S. M., PETIT, L., MAISOG, J. M. et al. "An area specialized for spatial working memory in human frontal cortex". *Science*, v.279, p.1347-1351, 1998.
- CRUMMER, G. C., WALTON, J. P., WAYMAN, J. W., et al. "Neural processing of musical timbre by musicians, nonmusicians, and musicians possessing absolute pitch". *J. Acoust. Soc. Am.*, v.95, n.5, p.2720-2727, 1994.
- CYCOWICZ, Y. M., FRIEDMAN, D., ROTHSTEIN, M. & SNODGRASS, J. G. "Picture naming by young children: norms for name agreement, familiarity, and visual complexity. *J. Exp. Child Psychology*, n.65, p. 171-237, 1997.
- DAMASIO, A. R. "Time-locked multiregional retroactivation: A systems-level proposal for the neural substrates of recall and recognition". In: EIMAS, Peter E. & GALABURDA, Albert M. (Eds.). *Neurobiology of cognition*. A Bradford Book, 1990, p.25-62.
- DAMASIO, A. R. & DAMASIO, H. "Brain and Language". *Scientific American*, p.89-95, Sep. 1992.
- DAVIDSON, H., CAVE, K. & SELLNER, D. "Differences in visual attention and task interference between males and females reflect differences in brain laterality". *Neuropsychologia*, v.38, p. 508-519, 2000.
- DAVIS, R. & SMITH, R. G. "Negotiation as metaphor for distributed problem solving". *Artific. Intell.*, v.20, p.63-109, 1983.
- DE LISI, R. & CAMMARANO, D. "Computer experience and gender differences in undergraduate mental rotation performance". *Computers in Human Behavior*, v.12, n.3, p. 351-361, 1996.
- DEL GIUDICE, E., GROSSI, D., ANGELINI, R. et al. "Spatial cognition in children. I. development of drawing-related (visuospatial and constructional) abilities in preschool and early schools years". *Brain & Development*, n.22, p. 362-367, 2000.
- DENNET, D. *Consciousness explained*. Bock Bay Books, Little, Brown, Boston, 1991.
- DI SALLE, F., FORMISANO, E., LINDEN, D. E. J. et al. "Exploring brain function with magnetic resonance imaging". *European Journal of Radiology*, n.30, p. 84-94, 1999.

- DURFEE, E. H. & MONTGOMERY, T. "Coordination as distributed search in a hierarchical behavior space". *IEEE Trans. Sys. Man. Cybernet.* v.21, p.1363-1378, 1991.
- DYL, J. & WAPNER, S. "Age and gender differences in the nature, meaning, and function of cherished possessions for children and adolescents". *J. Exp. Child Psychology*, n.62, p. 340-377, 1996.
- EDELMAN, G. M. *Neural Darwinism: the theory of neuronal group selection*. Basic Books, New York, 1987.
- EICHENBAUM, H., OTTO, T. & COHEN, N. J. "Two functional components of the hippocampal memory system". *Behav. Brain Sci.*, v.17, p.449-518, 1994. *Apud* GRIFFITHS, D., DICKINSON, A. & CLAYTON, N. "Episodic memory: what can animals remember about their past?". *Trends in Cognitive Sciences*, v.3, n.2, p.74-80, 1999.
- EICHENBAUM, H. et al. "Functional organization of the hippocampal memory system". *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*, n.93, p.13500-13507, 1996. *Apud* GRIFFITHS, D., DICKINSON, A. & CLAYTON, N. "Episodic memory: what can animals remember about their past?". *Trends in Cognitive Sciences*, v.3, n.2, p.74-80, 1999.
- EICHENBAUM, H. "How does the brain organize memory?". *Science*, n.277, p.330-332, 1997. *Apud* GRIFFITHS, D., DICKINSON, A. & CLAYTON, N. "Episodic memory: what can animals remember about their past?". *Trends in Cognitive Sciences*, v.3, n.2, p.74-80, 1999.
- ESPY, K. A., KAUFMANN, P. M., McDIARMID, M. D. & GLISKY, M. L. "Executive functioning in preschool children: performance on A-not-B and other delayed response format tasks". *Brain and Cognition*, n.41, p. 178-199, 1999.
- FEDRIZZI, E., INVERNO, M., BRUZZONE, M. G. et al. "MRI features of cerebral lesions and cognitive functions in preterm spastic diplegic children". *Pediatric Neurology*, v.15, n.3, p. 207-212, 1996.
- FENNER, J., HEATHCOTE, D. & JERRAMS-SMITH, J. "The development of wayfinding: asymmetrical effects of visuo-spatial and verbal ability". *Journal of Environmental Psychology*, n.20, p. 165-175, 2000.
- FIEZ, J. A. & PETERSEN, S. E. "Neuroimaging studies of word reading". *Proc. Natl. Acad. Sci.*, v.95, p.914-921, 1998.

- FORSTER, B. & CORBALLIS, M. C. "Interhemispheric transfer of colour and shape information in the presence and absence of the corpus callosum". *Neuropsychologia*, v.38, p. 32-45, 2000.
- FOX, M. S. "An organizational view of distributed systems". *IEEE Trans. Sys. Man. Cybernet.* v.11, p.70-80, 1981.
- FOZ, F. B., RONDÓ, A. M., REBELLO, M. P., ROCHA, A. F., RAMAZZINI, P. B., CARDOSO, M. A., LEITE, C. C. "Plasticidade neural e processamento de linguagem: efeitos de lesões congênitas na alocação dos circuitos neurais no hemisfério direito". In: STERCHELE, R (Ed.). *Atualização em voz, linguagem, audição e motricidade oral*. São Paulo: Frôntis Editorial, 1999.
- GABRIELI, J. D. E., POLDRACK, R. A. & DESMOND, J. E. "The role of left prefrontal cortex in language and memory". *Proc. Natl. Acad. Sci.*, v.95, p.906-913, Feb. 1998.
- GARDNER, H. "A multiplicity of intelligences". *Scientific American*, v.9, n.4, p.0-23, 1998.
- GASSER, L. "Social conceptions of knowledge and action: DAI foundations and open systems semantics". *Artificial Intelligence*, v.47, p.107-138, 1991.
- GEFFEN, G. M., WRIGHT, M. J., GREEN, H. J. et al. "Effect of memory load and distraction on performance and event-related slow potentials in a visuospatial working memory task". *J. Cog. Neurosci.*, v.9, p.743-757, 1997.
- GEVINS, A., LEONG, H., SMITH, M. E. et al. "Mapping cognitive brain function with modern high-resolution electroencephalography". *Trends in Neuroscience*, v.18, n.10, p.429-436, 1995.
- GIBSON, E. & PEARLMUTTER, N. J. "Constraints on sentence comprehension". *Trends in Cognitive Sciences*, v.2, n.7, p.262-268, 1998.
- GILL, B. S., O'BOYLE, M. W. & HATHAWAY, J. "Cortical distribution of EEG activity for component processes during mental rotation". *Cortex*, v.34, n.5, p.707-718, 1998.
- GRIFFITHS, T. D., BUCHEL, C., FRACKOWIAK, R. S. & PATTERSON, R. D. "Analysis of temporal structure in sound by the human brain". *Nat. Neurosci.*, v.1, n.5, p.422-427, 1998.
- GRIFFITHS, D., DICKINSON, A. & CLAYTON, N. "Episodic memory: what can animals remember about their past?". *Trends in Cognitive Sciences*, v.3, n.2, p.74-80, 1999.

- HEWITT, C. "Viewing control structure as patterns of passing messages". *Artific. Intell.*, v.8, p.323-364, 1977.
- HEWITT, C. & INMAN, J. "DAI betwixt and between: from 'intelligent agents' to open system science". *IEEE Trans. Sys. Man. Cybernet.*, v.21, p.1409-1419, 1991.
- HIRATA, Y., KURIKI, S. & PANTEV, C. "Musicians with absolute pitch show distinct neural activities in the auditory cortex". *Neuroreport*, v.10, n.5, p.999-1002, 1999.
- HUPPÉ, J. M., JAMES A. C., PAYEN B. R., et al. "Cortical feedback improves discrimination between figure background by V1, V2 and V3". *Nature*, v.394, p.784-786, 1998.
- HUTTENLOCHER, J., LEVINE, S. & VEVEA, J. "Environmental input and cognitive growth: a study using time-period comparisons". *Child Development*, August, v.69, n.4, p.1012-1029, 1998.
- IACCINO, J. F. *Left brain – right brain differences: inquiries, evidence, and new approaches*. New Jersey: Lawrence Erlbaum, 1993.
- INOUE, M., YOSHIRO, A., SUZUKI, A. et al. "Topographic study of human event-related potentials using a task requiring mental rotation". *Neurosci. Lett.*, v.253, n.2, p.107-110, 1998.
- ISHAY, A & SAGI, D. "Common mechanisms of visual imagery and perception". *Science*, v.268, p.1772-1774, 1995.
- IVRY, R. & LEBBY, P. C. "The neurology of consonant perception: specialized module or distributed processors?". In: BEEMAN, M. & CHIARELLO, C. (Eds.). *Right hemisphere language comprehension: perspectives from cognitive neuroscience*. New Jersey: Lawrence Erlbaum, 1998, p.3-25.
- JERGER, S., PEARSON, D. A. & SPENCE, M. J. "Developmental course of auditory processing interactions: Garner interference and Simon interference". *J. Exp. Child Psychology*, n.74, p. 44-67, 1999.
- JONIDES, J. E., SCHUMACHER, H., SMITH, E. E. et al. "Verbal wording memory load affects regional brain activation as measured by PET". *J. Cog. Neurosci.*, v.9, p.462-475, 1997.
- JOSEPH, R. *Neuropsychiatry, neuropsychology and clinical neuroscience*. Baltimore, Philadelphia: Williams and Wilkins, 1996.

- JUOTTONEN, K., REVONSUO, A. & LANG, H. "Dissimilar age influences on two ERP waveforms (LPC and N400) reflecting semantic context effect". *Cognitive Brain Research*, n.4, p. 99-107, 1996.
- KAIL, R. "Processing time, imagery, and spatial memory". *J. Exp. Child Psychology*, n.64, p. 67-78, 1997.
- KASTNER, S., DE WEERD, P., DESIMONE, R. et al. "Mechanisms of directed attention in the human extrastriate cortex as revealed by functional MRI". *Science*, v.282, p.108-111, 1998.
- KEMPS, E., DE RAMMELAERE, S. & DESMET, T. "The development of working memory: exploring the complementarity of two models" *J. Exp. Child Psychology*, n.77, p. 89-109, 2000.
- KIM, K. H., RELKIN, N. R., LEE, K. M. & HIRSCH, J. "Distinct cortical areas associated with native and second languages". *Nature*, Jul. 10, v.388(6638), p.171-174, 1997.
- KING, J. W., CANIS, G. & KUTAS, M.. Potential asymmetries in language comprehension: in search of the electrical right. In: BEEMAN, M. & CHIARELLO, C. (Eds.). *Right hemisphere language comprehension: perspectives from cognitive neuroscience*. New Jersey: Laurence Erlbaum, 1998.
- KLIMESCH, W. "EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis". *Brain Research Reviews*, n.29, p. 169-195, 1999.
- KNIGHT, R. T. "Distributed cortical network for visual attention". *J. Cogn. Neurosci.*, v.9, p.75-91, 1997.
- KNYAZEVA, M., KOEDA, T., NJIOKIKTIJEN, C. et al. "EEG coherence changes during finger tapping in acallosal and normal children: a study of inter- and intrahemispheric connectivity". *Behavior and Brain Research*, v.89, n.1-2, p.254-258, Dec. 1997.
- KOEDA, T., KNYAZEVA, M., NJIOKIKTIJEN, C. et al. "The EEG in acallosal children. Coherence values in the resting state: left hemisphere compensatory mechanism" *EEG Clin. Neurophys.*, v.95, n.6, p.397-407, Dec. 1995.
- KOELSCH, S., SCHROGER, E. & TERVANIEMI, M. "Superior pre-attentive auditory processing in musicians". *Neuroreport*, v.10, n.6, p.1309-1313, 1999.
- KORNFIELD, W. & HEWITT, C. E. "The scientific community metaphor". *IEEE Trans. Sys. Man. Cybernet.*, v.11, p.24-42, 1981.

- KRAUSE, C. M., LANG, A. H., LAINE, M. et al. "Event-related EEG desynchronization and synchronization during an auditory memory task". *EEG Clin. Neurophys.*, v.98, n.4, p.319-326, Apr.1996.
- LAMM, C., BAUER, H., VITOUCH, O. & GSTÄTTNER, R. "Differences in the ability to process a visuo-spatial task are reflected in event-related slow cortical potentials of human subjects". *Neuroscience Letters*, v.269, p. 137-140, 1999.
- LANDAU., B., SMITH, L. & JONES, S. "Object perception and object naming in early development". *Trends in Cognitive Sciences*, v.2, n.1, p.19-24, 1998.
- LESSER, V. R. "A retrospective view of FA/C distributed problem solving". *IEEE Trans. Sys. Man. Cybernet.*, v.21, p.1374-1362, 1991.
- LESSER, V. R. & CORKILL, D. D. "Functionally accurate, cooperative distributed systems". *IEEE Trans. Sys. Man. Cybernet.*, v.11, p.81-96, 1981.
- LIVESEY, D. J. & INTILI, D. "A gender difference in visual-spatial ability in 4-year-old children: effects on performance of a kinesthetic acuity task". *J. Exp. Child Psychology*, n.63, p. 436-446, 1996.
- LUCIANA, M. & NELSON, C. A. "The functional emergence of prefrontally-guided working memory systems in four- to eight-year-old children". *Neuropsychologia*, v.36, n.3, p. 273-293, 1998.
- LUMER, E. E., FRISTON, K. & REES, G. "Neural correlates of perceptual revelry in the human brain". *Science*, v.280, p.1930-1934, 1998.
- MAUNSELL, J. H. R. "The brain visual world: representation of visual targets in cerebral cortex". *Science*, v.270, p.764-769, Nov. 1995.
- MEHTA, Z. & NEWCOMBE, F. "A role for the left hemisphere in spatial processing". *Cortex*, v.27, n.2, p.153-167, 1991.
- MILTNER, W. H. R., BRAUN, C. H. & COLES, M. G. H. "Event-related brain potentials following incorrect feedback in time-estimation task: evidence for a generic neural system for error detection". *J. Cog. Neurosci.*, v.9, p.788-798, 1997.
- MINSKY, M. *The Society of the Mind*, Simon & Schuster, New York, 1986.
- MIX, K. S. "Preschoolers' recognition of numerical equivalence: sequential sets". *J. Exp. Child Psychology*, n.74, p. 309-332, 1999.

- MIYASHITA, Y. "How the brain creates imagery: projection to primary visual cortex". *Science*, v.268, p.1718-1719, Jun. 1995.
- MOSS, E. M., DAVIDSON, R. J., SARON, C. "Cross-cultural differences in hemisphericity: EEG asymmetry discriminates between Japanese and Westerners". *Neuropsychologia*, v.23, n.1, p.131-135, 1985.
- NEVILLE, H. J., BAVELIER, D., CORINA, D. et al. "Cerebral organization for language in deaf and hearing subjects: biological constraints and effects of experience". *Proc. Natl. Acad. Sci.*, v.95, p.922-929, 1998.
- NOLDE, S. F., JOHNSON, M. K. & RAYE, C. L. "The role of prefrontal cortex during tests of episodic memory". *Trends in Cognitive Sciences*, v.2, n.10, p.399-406, 1998.
- NUNEZ, P. L., SRINIVASAN, R., WESTDORP, A. F. et al. "EEG coherency. I: Statistics, reference electrode, volume conduction, Laplacians, cortical imaging, and interpretation at multiples scales". *EEG Clin. Neurophys.*, v.103, n.5, p.499-515, Nov. 1997.
- NYBERG, L., CABEZA, R. & TULVING, E. "Asymmetric frontal activation during episodic memory: what kind of specificity?". *Trends in Cognitive Sciences*, v.2, n.11, p.419-420, 1998.
- ORNSTEIN, R., JOHNSTONE, J., HERRON, J. & SWENCIONIS, C. "Differential right-hemisphere engagement in visuospatial tasks". *Neuropsychologia*, v.18, p.49-64, 1980.
- ORNSTEIN, R. *The evolution of consciousness*. Touchstone Books, Simon and Schuster, New York, 1991.
- OWENS Jr., R. E. *Language development*. 4.ed. Boston: Allyn and Bacon, 1996.
- PASSINGHAM, R. *The frontal lobes and voluntary action*. Oxford University Press, Grã-Bretanha: Oxford psychologies series, n. 21, 1993.
- PELLIZER, G. & GEORGOPOULOS, A. P. "Common processing constraints for visuomotor and visual mental rotations". *Exp. Brain Res.*, v.93, n.1, p.165-172, 1993.
- PELOSI, L. & BLUMHARDT, L. D. "Effects of age on working memory: an event-related potential study". *Cognitive Brain Research*, n.7, p.321-334, 1999.
- PLATEL, H., PRICE, C., BARON, J. C., et al. "The structural components of music perception. A functional anatomical study". *Brain*, v.120, n.2, p.229-243, 1997.

- POSNER, M. I. & PAVESE, A. "Anatomy of word and sentence meaning". *Proc. Natl. Acad. Sci.*, v.95, p.899-905, Feb. 1998.
- PREIS, S., STEINMETZ, H., KNORR, U. & JÄNCKE, L. "Corpus callosum size in children with developmental language disorder". *Cognitive Brain Research*, v.10, p. 37-44, 2000.
- PULVERMÜLLER, F., BIRBAUMER, N., LUTZENBERGER, W. et al. "High-frequency brain activity: its possible role in attention, perception and language processing". *Progress in Neurobiology*, v.52, n.5, p.427-445, Aug. 1997.
- RAGLAND, J. D., COLEMAN, A. R., GUR, R. C. et al. "Sex differences in brain-behavior relationships between verbal episodic memory and resting regional cerebral blood flow". *Neuropsychologia*, v.38, p. 451-461, 2000.
- REILLY, J. S., BATES, E. A. & MARCHMAN, V. A. "Narrative discourse in children with early focal brain injury". *Brain and Language*, n.61, p. 335-375, 1998.
- RITCHIE, W. C. & BHATIA, T. K. *Handbook of second language acquisition*. Academic, San Diego, 1996.
- ROCHA, A. F. *Brain activity during language perception*. In: SINGH, M. (Ed.). *Encyclopedia of system and control*. Pergamon Press, Suppl. v.1, 1990, p.38-46.
- ROCHA, A. F., SERAPIÃO, A. B., RONDÓ, A. et al. "Correlating intelligence and brain activity". In: *Proceedings of 6<sup>th</sup> Annual Meeting of Cognitive Neurosciences Society*, Washington, EUA, Apr. 1999.
- ROLLAND, P. E. & FRIBERG, L. "Localization of cortical areas activated by thinking". *J. Neurophysiology*, v.5, p.1219-1243, 1985.
- ROSA, F. B. & MARTINS Jr., F. A. "Inteligência Artificial Distribuída". Link: <http://www.igce.unesp.br/igce/grad/computacao/cintiab/fefis/ia.html>, Trabalho do Curso de Inteligência Artificial, UNESP, Rio Claro, 1997.
- SERAPIÃO, A. B., ROCHA, A. F., RONDÓ, A. et al. "EEG Activity during Gaming Playing". In: *Proceedings of 6<sup>th</sup> Annual Meeting of Cognitive Neurosciences Society*, Washington, EUA, Apr. 1999.
- SERAPIÃO, A. B. "Estudo do cérebro bilíngüe pela análise de EEG". Projeto de qualificação apresentado ao Departamento de Fisiologia & Biofísica, Instituto de Biologia, UNICAMP, mai. 1999.

- SHANNON, E. R. "A mathematical theory of communication". In: SLEPIEN, D. *Key Papers in the Development of the Information Theory*. IEEE Press, p.5-29, 1974.
- SICHMAN, J. S., DEMAZEAU, Y. & BOISSIER, O. "When can knowledge-based systems be called agents?". In: *IX Simpósio Brasileiro de Inteligência Artificial*, 1990, p.172-185.
- SIMONS, G. L. *Introducing Artificial Intelligence*. Manchester, Inglaterra: NCC Publications, 1984.
- SINGER, W. "Synchronization of cortical activity and its putative role in information processing and learning". *Annual Review of Physiology*, v.55, p.349-347, 1993.
- SMITH, E. E. & JONIDES, J. "Neuroimaging analyses of human working memory". *Proc. Natl. Acad. Sci.*, v.95, p.12061-12068, Sep. 1998.
- SOMMER, W., KOMOSS, E. & SCHWEINBERGER, S. R. "Differential localization of brain systems subserving memory for names and faces in normal subjects with event-related potentials". *EEG Clin. Neurophys.*, v.102, p.192-199, 1997.
- SOWELL, E. R., THOMPSON, P. M., HOLMES, C. J. et al. "Localizing age-related changes in brain structure between childhood and adolescence using statistical parametric mapping". *NeuroImage*, n.9, p. 587-597, 1999.
- SPIEGEL, M. R. *Estatística*. 8.ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.
- SPRINGER, S. P. & DEUTSCH, G. *Left brain, right brain*. 3.ed. New York: W. H. Freeman and Company, 1989.
- TAGARIS, G. A., KIM, S. G., STRUPP, J. P. et al. "Mental rotation studied by functional magnetic resonance imaging at high field (4 Tesla): performance and cortical activation". *J. Cog. Neurosci.*, v.9, p.419-432, 1997.
- TANEHAUS, M., SPIVEY-KNOWLTON, M. J., EBERHARD, K. M. et al. "Integration of visual and linguistic information in spoken language comprehension". *Science*, v.268, p.1632-1634, Jun. 1995.
- TONONI, G., EDELMAN, G. M. & SPORNS, O. "Complexity and coherency: integrating information in the brain". *Trends in Cognitive Sciences*, v.2, n.12, p.474-484, 1998.
- TONONI, G., McINTOSH, A. R., RUSSEL, D. P. & EDELMAN, G. M. "Functional clustering: identifying strongly interactive brain regions in neuroimaging data". *NeuroImage*, n.7, p. 133-149, 1998.

- TONONI, G. & EDELMAN, G. M. "Schizophrenia and the mechanisms of the conscious integration". *Brain Research Reviews*, n.31, p. 391-400, 2000.
- TOWSE, J. N. & SAXTON, M. "Linguistic influences on children's number concepts: methodological and theoretical considerations". *J. Exp. Child Psychology*, n.66, p. 362-375, 1997.
- TULVING, E. et al. "Hemispheric encoding/retrieval asymmetry in episodic memory: positron emission tomography findings". *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*, v.91, p.2016-2020, 1994.
- TULVING, E. & MARKOWITSCH, H. J. "Episodic and declarative memory: role of the hippocampus". *Hippocampus*, v.8, p.198-204, 1998. *Apud* GRIFFITHS, D., DICKINSON, A. & CLAYTON, N. "Episodic memory: what can animals remember about their past?". *Trends in Cognitive Sciences*, v.3, n.2, p.74-80, 1999.
- UNGERLEIDER, L. G. "Functional Brain Imaging Studies of cortical Mechanisms for Memory". *Science*, v.270, p.769-775, Nov. 1995.
- UNGERLEIDER, L. G., COURTNEY, S. M. & HAXBY, J. V. "A neural system for human visual working memory". *Proc. Natl. Acad. Sci.*, v.95, p.883-890, Feb. 1998.
- WAGNER, A. D., SCHACTER, D. L., ROTTE, M. et al. "Building memories: remembering and forgetting of verbal experiences as predicted by brain activity". *Science*, v.281, p.1188-1191, 1998.
- YORDANOVA, J. Y. & KOLEV, V. N. "Developmental changes in the event-related EEG theta response and P300". *EEG Clin. Neurophys.*, v.104, p. 418-430, 1997.
- YORDANOVA, J. Y., KOLEV, V. N. & BASAR, E. "EEG theta and alpha frontal oscillations during auditory processing change with age". *EEG Clin. Neurophys.*, v.108, p. 497-505, 1998.
- ZHANG, X. L., BEGLEITER, H., PORJESZ, B. et al. "Visual object priming differs from visual word priming: an ERP study". *EEG Clin. Neurophys.*, v.102, p. 200-215, 1999.