

CONTROLES ÓTIMO E ADAPTATIVO NA AQUISIÇÃO DE HABILIDADES MOTORAS SERIADAS

Edison de Jesus MANOEL*

RESUMO

Habilidades motoras são mantidas num estado provisório. Por um lado, elas são estáveis, padronizadas e flexíveis para atingir uma meta imediata. Por outro lado, elas podem se tornar instáveis, desordenadas e inconsistentes quando novas metas necessitam ser alcançadas. A aquisição do primeiro - controle ótimo - é restringida pela necessidade do segundo controle adaptativo. Uma série de estudos foi executada para investigar as seguintes questões: se o controle ótimo é caracterizado por um "timing" relativo invariante; se o controle adaptativo seria beneficiado pela estrutura temporal previamente adquirida; se crianças são diferentes de adultos nas duas questões prévias. Oito sujeitos participaram do estudo, cinco adultos e três crianças (6, 8, e 11 anos de idade), numa tarefa motora seriada. O tempo total de resposta e de seus componentes foram medidos. Os resultados indicaram que: (1) o controle ótimo foi adquirido com um "timing" relativo invariante para adultos e crianças; (2) o controle adaptativo foi fortemente baseado nessa estrutura, em todos os sujeitos. O contraste entre a variabilidade dos componentes e a consistência do tempo total de resposta sugere que a variação na micro-estrutura da habilidade pode ser mais importante do que a invariância na macro-estrutura em relação a aquisição de controle adaptativo.

UNITERMOS: Desenvolvimento motor; Processo adaptativo; Habilidade motora.

INTRODUÇÃO E PROPOSIÇÃO GERAL DO ESTUDO

Dentro do repertório de ações humanas, habilidades motoras têm um papel essencial visto ser através delas que o ser humano interage com o meio ambiente. Para a compreensão da gênese e desenvolvimento das habilidades motoras é necessário referir-se à natureza básica do ser humano, isto é, como um sistema aberto (Manoel, 1986, 1989; Tani, 1979).

Sistemas abertos trocam matéria/energia e informação com o meio ambiente continuamente (Bertalanffy, 1968). Como consequência, seus estados internos são suscetíveis às influências ambientais tornando regra a continuidade de estados instáveis no ciclo de vida desses sistemas. Entretanto, é nessa instabilidade natural que parece residir a principal fonte para seu desenvolvimento (Prigogine & Stengers, 1984).

Nesta perspectiva, a necessidade de abordagens orientadas ao processo é reforçada. Nos anos 70 e 80, algumas visões particulares do processo foram desenvolvidas. Nelas, o desenvolvimento de habilidades motoras foi reconhecido por suas consequências básicas: consistência, flexibilidade e novidade no comportamento motor (Glencross, 1980). Entretanto, tais concepções de processo negligenciaram aspectos básicos do sistema neuro-motor.

* Escola de Educação Física da Universidade de São Paulo.

Por um lado, a aprendizagem é vista como um processo de aquisição de um estado estável representado por uma particular meta ambiental, como visto em modelos cognitivos de memória motora (Lee, 1988; Schmidt, 1975; Shapiro & Schmidt, 1982). Por outro lado, o domínio dos graus de liberdade de movimento é visto como sendo resultado único e exclusivo da dinâmica de sub-sistemas que compõem o sistema, por exemplo, geometria do sistema efetor, sua cinética, ou osciladores espinais (por ex., Kelso, 1982; Kugler & Turvey, 1987; Thelen, 1985).

Na primeira concepção, dado um certo problema motor, foi enfatizado o que foi adquirido, em negligência de o como o controle adquirido é modificado em relação a novas metas ambientais. Já na segunda concepção, foi tentada uma nova descrição do sistema como ele é, e não como ele se torna ao longo do tempo.

De um ponto de vista sistêmico, o desenvolvimento de habilidades motoras é um processo no qual o comportamento motor cresce em diversificação e complexidade (Tani, Manoel, Kokubun & Proença, 1988). Nesse processo, habilidades motoras não estão apenas dirigidas a uma meta ambiental imediata, mas estão também mudando em direção a possíveis metas futuras (Sommerhoff, 1974). Ressalte-se que a natureza dos sistemas abertos é a de que eles são ativos, e não passivos em relação ao meio ambiente (Bertalanffy, 1952). Assim, habilidades motoras têm duplo aspecto: de um lado elas são estáveis, padronizadas e flexíveis para atingir uma meta particular; por outro lado, podem tornar-se instáveis, desordenadas e inconsistentes quando novas metas necessitam ser atingidas. Sistemas biológicos e sociais não atingem estados dinâmicos de equilíbrio através de uma trajetória ideal sem flutuações ("asymptote"). Pelo contrário, a trajetória é repleta de flutuações com ultrapassagens ("overshooting") e falsas saídas ("false start") (Bertalanffy, 1968).

A organização do sistema neuro-motor é essencialmente hierárquica. É inegável a autonomia de sub-sistemas do aparato neuro-motor para dominar os inúmeros graus de liberdade de movimento. Entretanto, os mesmos estão de certa forma condicionados ao sistema controlador desse aparato (Arbib, 1989; Greene, 1972). Na interação com o meio ambiente, a meta da ação é, em última análise, definida pelo controlador (Bruner, 1973; Connolly, 1973; Jeannerod, 1988). Não há que se discutir se sub-metas ambientais bem como os meios para atingi-las, não sejam moldadas a partir de ideosincrasias emanantes da história de interações entre aparato motor e o meio ambiente (Fowler & Turvey, 1978). Entretanto, os propósitos e estratégias gerais da ação motora estão ligados aos graus de liberdade disponíveis ao controlador (Koestler, 1967) no processo de organização das unidades em um programa de ação (por ex., Elliott & Connolly, 1974; Miller, Galanter & Pribram, 1960). A evolução de sistemas de ação biológicos ou sociais, envolve a restrição de alguns graus de liberdade em determinados padrões de ação, associados ao desmantelamento de certas estruturas. Assim são criadas novas analogias ou novas funções no comportamento (Lorenz, 1974).

Desta forma, a aquisição de habilidades motoras é vista como um processo contínuo em que unidades de ação devem ser equipadas com potencial para solução de problemas imediatos - controle ótimo. Essas unidades devem também estar preparadas para assumir novas funções requisitadas por novas demandas e/ou metas ambientais - controle adaptativo. Esse processo tem sido denominado de adaptativo (Tani, 1982) e envolve a reorganização de habilidades adquiridas para a solução de um novo problema motor. A suposição de que a habilidade é modular (Bruner, 1970; Connolly, 1973) contribui nesse raciocínio, na medida em que a integridade da unidade deve manifestar-se através de estabilidade e flexibilidade. Uma hipótese básica é a de que no processo de reorganização, a aquisição do controle ótimo esteja condicionada e definida pela aquisição do controle adaptativo.

Assim sendo, o presente trabalho relata as primeiras tentativas voltadas ao estudo da natureza e do processo de aquisição de unidades modulares de ação. Os estudos abaixo relatados foram realizados assumindo que dois tipos de controle devem ser demonstrados pelo sujeito em sua interação com a tarefa ambiental: ótimo e adaptativo. Basicamente, procurou-se identificar as características de controle ótimo, e principalmente, como tais características são reorganizadas no controle adaptativo.

DEFINIÇÃO EXPERIMENTAL E MÉTODO DE ESTUDO

Um problema básico na organização de habilidades motoras é a integração de vários movimentos necessários para atingir uma dada meta ambiental. Através da estruturação temporal dos elementos da habilidade, esse problema é contornado. Dois aspectos da estruturação temporal contribuem decisivamente na organização da habilidade: sequenciamento e "timing", com especial destaque para o segundo (Glencross, 1973; 1975). Desde Bartlett (1958), o "timing" tem sido considerado um aspecto distintivo do ato habilidoso. Em anos recentes, o "timing" relativo, medido pela proporção do tempo total de resposta em cada componente da mesma, tem sido considerado como a informação de nível superior, essencial na definição de um programa motor (Langley & Zelaznik, 1984; Schmidt, 1980, 1982).

Nesse sentido, a flexibilidade na habilidade motora parece estar baseada na invariância do "timing" relativo, visto que ele proporciona condições para o ajustamento de outros parâmetros do programa como velocidade, amplitude ou duração (por exemplo, Carter & Shapiro, 1984; Glencross, 1975; Kelso, Goodman & Southard, 1983; Schmidt, 1980; Summers, 1975; Viviani & Terzuolo, 1980). Deve ser ressaltado que entre esses autores existe uma disputa, não resolvida, sobre até que ponto o "timing" é um produto de condições naturais do sistema, ou ele reflete a prescrição central de controle. No presente trabalho, assume-se que a invariância e flexibilidade do "timing" refletem a hierarquia organizacional do programa de ação, sem se referir a este ou aquele nível. Assim, o estudo da aquisição do "timing" em uma habilidade seriada oferece condições para a observação da aquisição de controle ótimo e adaptativo.

Portanto, nos estudos abaixo relatados, procurou-se investigar como o "timing" é estabelecido em função de uma determinada ordem de eventos (configuração espacial), e principalmente como ele é modificado e/ou utilizado quando a ordem dos eventos for alterada. A ordem dos eventos foi considerada como sendo uma das características definidoras da habilidade seguindo sugestões apresentadas por Lashley (1951) a esse respeito.

Três questões foram formuladas: (1) o controle ótimo é caracterizado por um "timing" relativo invariante? (2) o controle adaptativo se beneficiará da estrutura temporal previamente adquirida? (3) crianças são diferentes dos adultos nas questões 1 e 2?

Método

Aparelho e tarefa

O aparelho especialmente construído para a pesquisa, constitui-se de uma placa sensível ao toque, com dimensão de 40 x 40 cm. Sobre a placa foram desenhados 64 quadrados, igualmente dispostos em colunas de 8, e com dimensão aproximada de 3 x 3 cm cada. No centro de cada quadrado, encontra-se uma pequena luz vermelha, que acendida, indica ao sujeito qual alvo tocar. Ao toque do sujeito, a referida luz é apagada. A disposição espacial dos alvos a serem tocados em cada tentativa, constituiu-se na ordem dos eventos da tarefa.

Um micro-computador IBM-PC controlou a apresentação dos estímulos, assim como registrou os dados em termos de tempo total de resposta (TTR) para tocar todos os quadrados em cada tentativa, tempo de movimento entre um toque e outro (TM), e o tempo gasto no contato com a placa em cada toque (TP). Após cada sessão experimental, o computador imprimiu os resultados em termos de média e desvio padrão dos TTR, TM e TP por blocos de tentativas. A vantagem da utilização de apenas uma placa sensível, em termos de deslocamento do aparelho, teve em contrapartida a desvantagem de impedir o registro de erros espaciais, o que deve ser considerado uma limitação do presente estudo.

O aparelho foi posicionado à altura do abdomen do sujeito e em relação a sua linha média sagital do corpo. Os sujeitos foram instruídos para tocarem os alvos com o mesmo dedo indicador direito.

No início de cada tentativa, uma das luzes era acendida no painel, sobre a qual o sujeito deveria posicionar seu dedo, e após dois segundos, a sequência de alvos era indicada no painel. O registro do tempo só era acionado assim que o sujeito deixava de pressionar o primeiro alvo. As instruções

básicas dadas foram: 1) preocupar-se com a precisão em tocar os alvos indicados; 2) após ter adquirido certeza sobre suas posições procurar diminuir o tempo total de resposta. Os sujeitos foram motivados a basearem-se em seu próprio ritmo em suas tentativas de diminuir o tempo de resposta. Conhecimento de resultados foi fornecido em termos do TTR.

Procedimentos

Experimento 1

Neste estudo foi esperado que a estabilização do "timing" seria a condição básica para a aquisição do controle adaptativo na nova tarefa.

Tomaram parte no estudo, cinco (5) adultos, entre 22 e 31 anos de idade (incluindo o autor), dois do sexo feminino e três do sexo masculino, estudantes de pós-graduação. Cada tarefa envolveu 8 alvos a serem tocados. A disposição desses alvos foi alterada de maneira a criar novidade nos movimentos (FIGURA 1a).

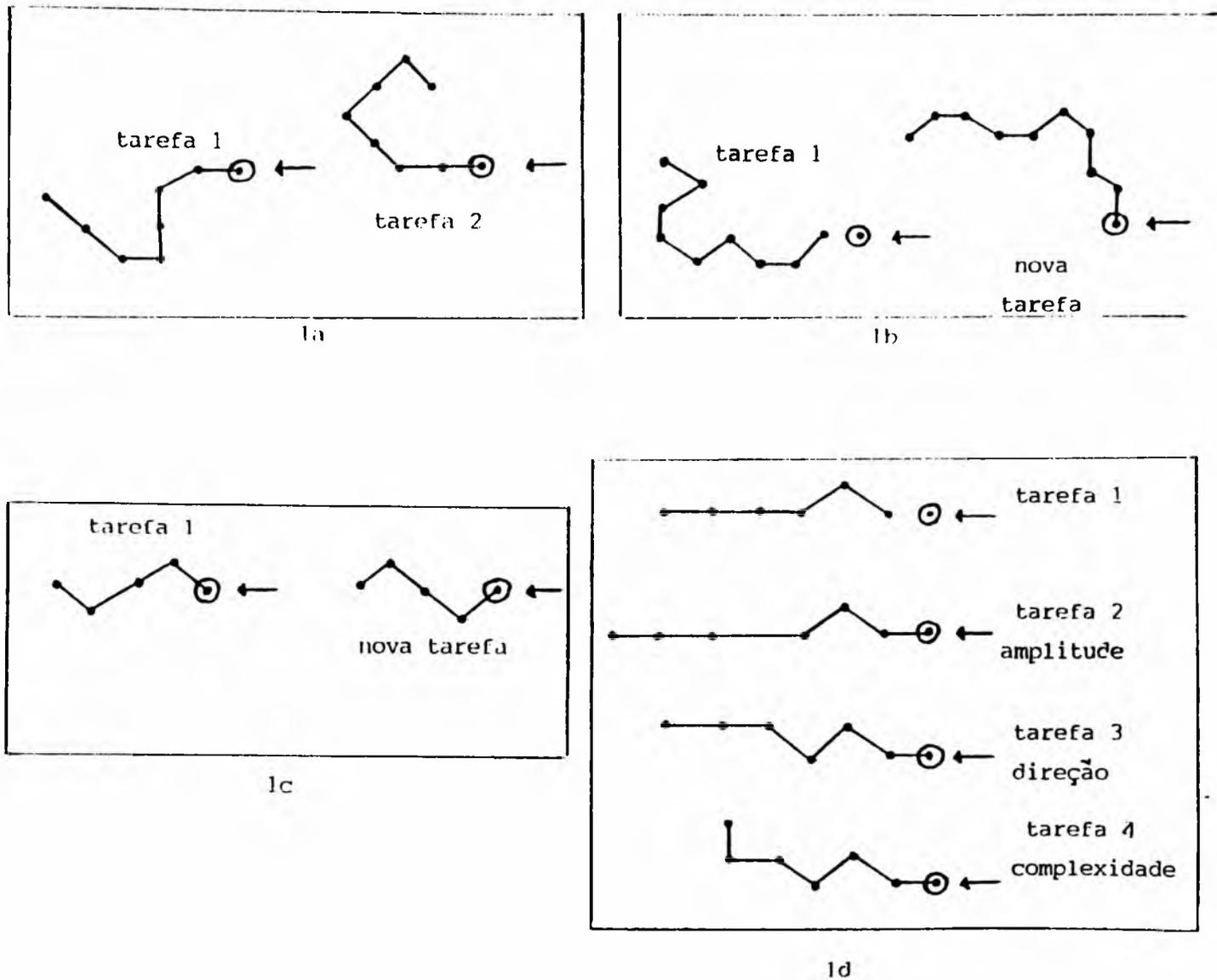


FIGURA 1 - Configuração espacial da tarefa nos experimentos 1(1a), 2(1b), 3(1c) e 4(1d).

Eles participaram de quatro sessões experimentais distribuídas em 4 a 6 dias. As primeiras três sessões envolveram 60 tentativas por sessão. Esse período foi considerado como a fase de aquisição do controle ótimo. Na quarta sessão experimental, os sujeitos praticaram inicialmente mais 10 tentativas na tarefa de aprendizagem (totalizando 190 tentativas), sendo após transferidos para a nova tarefa, envolvendo mais 50 tentativas. Em cada sessão houve um período de repouso de 30 segundos após a 30a. tentativa. O conhecimento de resultados sobre o TTR foi dado nas tentativas 5, 20, 30, 35 e 50. Com o intuito de verificar um possível efeito do tipo da tarefa, os sujeitos foram distribuídos aleatoriamente em dois grupos nos quais a ordem de prática das tarefas de aprendizagem e a adaptação foram alteradas.

Experimento 2

Neste estudo, um sujeito (sexo feminino, 22 anos de idade) teve prática de 400 tentativas em uma tarefa, distribuídas em cinco dias (80 tentativas por dia). A meta principal do estudo foi identificar a quantidade de prática necessária para a estabilização nesse tipo de tarefa. O nível de estabilização foi testado com a introdução de uma tarefa-ruído, durante a sessão experimental conduzida no quarto dia.

A tarefa envolveu o toque de 9 alvos sobre o painel. A tarefa-ruído constituiu-se de uma inversão na disposição espacial desses alvos (FIGURA 1b). Houve um período de repouso de 30 segundos após a 40a. tentativa em cada sessão. No quarto dia foram praticadas mais 5 tentativas correspondentes a tarefa-ruído. O sujeito não foi avisado sobre o ruído, mas quando o mesmo foi introduzido, o experimentador motivou o sujeito a fazer o melhor possível. O conhecimento de resultados sobre TTR foi dado a cada 10 tentativas, enquanto que na situação de ruído ele foi dado nas tentativas 1 e 3.

Experimento 3

Este estudo repetiu o experimento 1, utilizando três (3) crianças como sujeitos. Assim, dois meninos (6 e 11 anos de idade) e uma menina (8 anos de idade) tomaram parte em apenas uma sessão experimental. Tendo em vista a pouca quantidade de prática e as características de idade, a tarefa foi simplificada em relação ao experimento 1 (FIGURA 1c).

Cada criança praticou 45 tentativas na fase de aquisição de controle ótimo e 20 tentativas na fase de controle adaptativo. Houve dois períodos de repouso de 30 segundos após a 20a. e 40a. tentativa.

Experimento 4

Assumindo que o "timing" também diz respeito a criação de condições temporais mais favoráveis para a resposta (Conrad 1955), pode-se entender que a estabilização de alguns componentes facilitará o controle adaptativo necessário quando outros componentes são sistematicamente modificados.

Para verificar essa suposição, dois procedimentos foram adotados no presente experimento. Primeiro, o padrão espacial da tarefa (FIGURA 1d) foi parcialmente apresentado ao sujeito antes do início da resposta. Os alvos restantes foram apresentados durante a execução. Assim, na primeira metade da sequência (3 alvos) foi disponível antes do início, enquanto que a segunda metade (3 alvos) foi apresentada após o sujeito ter tocado o segundo alvo da sequência. Previu-se que a incerteza a respeito da segunda metade da sequência afetaria o "timing" relativo de cada componente. Com o desenrolar da prática, o efeito da apresentação parcial deveria ser eliminado. Segundo, o controle adaptativo foi requisitado pelas mudanças sistemáticas nas características espaciais da segunda parte da sequência, especificamente amplitude, direção e complexidade, nessa ordem.

Tomaram parte nesse experimento os mesmos sujeitos do experimento 3. Cada criança teve 20 tentativas na fase de controle ótimo e 30 tentativas na fase de controle adaptativo, 10 tentativas para cada tipo de manipulação. As crianças foram avisadas sobre as mudanças antes de cada manipulação. Conhecimento de resultados sobre TTR foi fornecido nas tentativas 5, 10, 15, 20 na fase de controle ótimo, e nas tentativas 1, 5, 10, 11, 15, 20, 21 e 25 na fase de controle adaptativo.

Análise dos dados

O "timing" (TR) adotado durante as fases foi calculado pela porcentagem de TTR por cada componente (TP adicionado ao TM). A relação entre o "timing" dos componentes indicou estrutura temporal da habilidade. O tempo absoluto para TTR, TM e TP foram obtidos em milisegundos e posteriormente calculados em termos de média e desvio padrão por blocos de tentativas (de 5 a 11 tentativas cada). A variabilidade de cada componente foi calculada por indicar diferenças qualitativas no "timing" entre grupos etários (Burton, 1986). Assim, calculou-se o coeficiente de variação (CV) (desvio padrão/média x 100; Jeannerod, 1988). Na condução de teste estatístico, apenas no experimento 1, fixou-se o valor de $p < 0,01$ a fim de evitar erro do tipo I (Winer, 1971).

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Experimento 1

Os resultados médios de TTR e seu CV são apresentados na FIGURA 2a. Os dois grupos apresentaram diminuição do TTR do bloco 1 ao 15 (10 tentativas cada).

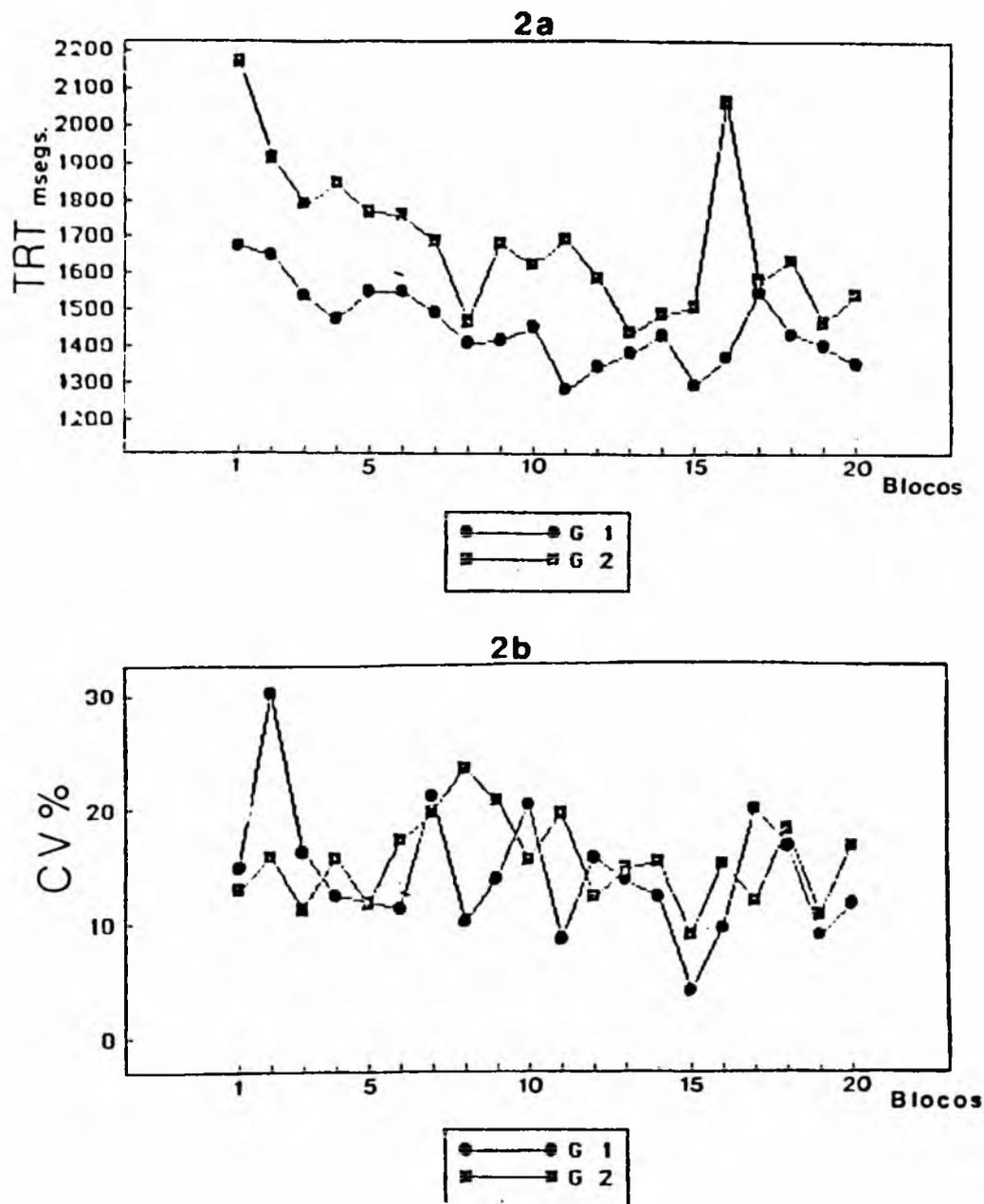


FIGURA 2 - Curva de performance dos dois grupos em relação ao TTR (2a) e CV(2b) com blocos de 10 tentativas.

No bloco 16, o aumento do TTR foi esperado, visto tratar-se do primeiro bloco com a nova tarefa. O grupo 2 pareceu ser mais afetado pela mudança na tarefa do que o grupo 1. A análise de variância Grupo (2) x Bloco (20), não revelou efeitos significantes para o fator grupo, $F(19;57)=3,532$, ou para interação grupo/bloco, $F(19;57)=0,947$. Entretanto, o fator bloco foi significante, $F(19;57)=2,668$; $p<0,01$. O teste post hoc de Tukey revelou diferenças significantes nos blocos 13 e 15 ($p<0,001$), evidenciando o efeito da prática na diminuição do TTR.

Com relação a variabilidade do TTR, os dois grupos apresentaram um comportamento similar (FIGURA 2b). O primeiro bloco da fase de controle adaptativo caracterizou-se por um aumento no CV. Entretanto, as diferenças entre CV por bloco não foram significantes em nenhum estágio da prática. A análise de variância, Grupo(2) x Bloco (20), apresentou os seguintes resultados : $F(1;3)=0,166$ para o fator grupo; $F(19;57)=0,703$ para o fator bloco; $F(19;57)=0,576$ para interação entre ambos.

A análise por componentes (FIGURA 3) parece indicar que a fase de controle ótimo caracterizou-se por uma estrutura temporal estável. Com a prática, o "timing" de cada componente (TP e TM) mudou, mas as relações entre elas parecem não sofrer mudanças. A comparação entre respostas rápidas e lentas confirma essa observação. Em outras palavras, enquanto a duração total e o "timing" mudaram, a estrutura temporal manteve-se inalterada. A representação mental no comando dos programas motores parece basear-se não no "timing" de cada componente, mas na relação entre eles.

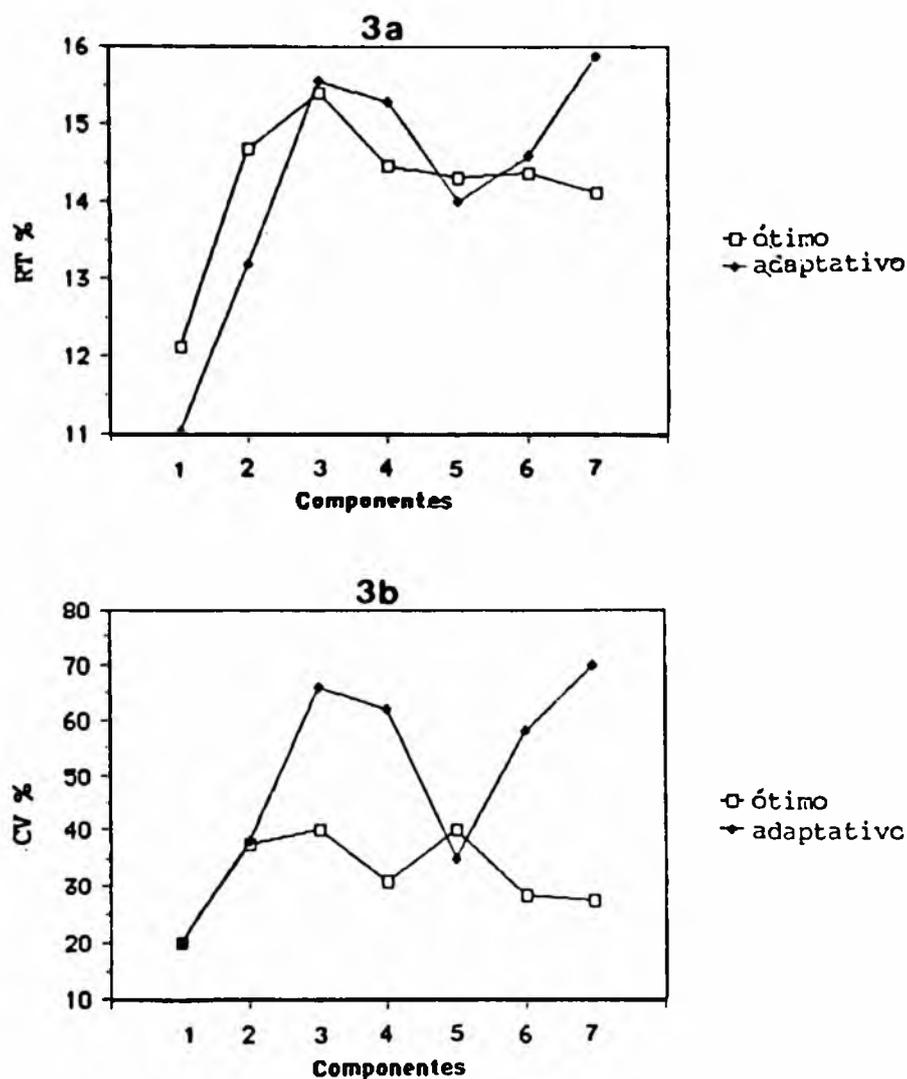


FIGURA 3 - TR médio (3a) e CV(3b) por componente nas fases de controles ótimo (representado pela média dos melhores resultados, como uma função de velocidade e consistência de cada sujeito) e adaptativo (média do primeiro bloco na nova tentativa).

Deve-se ressaltar, no entanto, que as variações no "timing" durante a prática não foram estatisticamente significantes, impondo limites em nossa especulação.

Para analisar a transição entre uma fase e outra, as proporções de TTR para TP e TM (imediatamente após TP), foram somadas e comparadas com outras posições na sequência. A partir desse cálculo obteve-se 7 componentes da tarefa. A análise de variância para cada um deles, com dois fatores, Grupo(2) x Bloco(10), e medidas repetidas no último fator, não revelou nenhum efeito significativo. Portanto, os sujeitos adaptaram-se à nova tarefa com base no "timing" adquirido. Como já reportado anteriormente, esses resultados necessitam ser avaliados com cautela tendo em vista o número reduzido de sujeitos por grupo.

Tomando os resultados como um todo, deve ser ressaltado que em tarefas seriadas, como datilografar, tocar piano, ou toques sucessivos em alvos pré-estabelecidos, o executante necessita ter informação prévia a respeito da relação entre cada componente da sequência (Shaffer, 1984). À medida em que a relação entre velocidade e erro é aperfeiçoada ("speed-accuracy trade off"), é plausível supor que a estrutura temporal também é aprimorada ou é atuante na descoberta da melhor relação entre ambos. Schmidt et alii (1979) propuseram o modelo de variabilidade do impulso, segundo o qual o aumento da velocidade e/ou força leva a um aumento do ruído no sistema ocasionando problemas de precisão temporal. No presente experimento, as demandas impostas foram espaciais, mas é aceitável supor que a velocidade de deslocamento impõe demandas temporais a nível central, como o estabelecimento de intervalos entre a geração de impulsos. Pode ser que a descoberta da relação entre a precisão de amplitude/direção e velocidade esteja dependente da estrutura temporal ou mais especificamente do ritmo dos toques. A aquisição desse ritmo poderia evitar um aumento muito grande de impulsos em determinados pontos da tarefa, ocasionando o aumento de erros. Em conversas informais, após o experimento, os sujeitos revelaram comumente, que suas estratégias, na execução da tarefa, envolveram a internalização de um dado ritmo de batidas. De fato, quando algum erro acontecia, o restante da sequência era totalmente perturbado. Era como se o sujeito enfrentasse um conflito de informações entre a geração programada de impulsos, determinada por algum relógio endógeno (Wing, 1980) e a necessidade de correção espacial dos movimentos em função do erro. Estudos realizados com a escrita manual têm revelado a existência de um mecanismo dessa natureza (Stelmach et alii, 1974; Wing, 1978). Além disso, Tyldesley (1980) demonstrou que em atividades motoras globais, indivíduos tendem a organizar ativamente a estrutura temporal dos movimentos, de forma a criar ótimas condições para responder às demandas da tarefa e do ambiente.

Finalizando, parece plausível supor que dentro dos limites do presente experimento, os sujeitos mantiveram total ou parcialmente a estrutura temporal, praticada na fase de controle ótimo, para adaptarem-se à nova tarefa. Como pode ser discernido da discussão acima, a manutenção do "timing" foi uma estratégia importante na reorganização do controle, exigida pela nova ordem dos eventos na sequência.

Experimento 2

Os resultados do "timing" durante a prática são apresentados na FIGURA 4. A aquisição de controle ótimo foi caracterizada por uma estrutura temporal e "timing" relativamente invariantes. A maior fonte de variação foi localizada nos componentes intermediários, tanto para TM como TP. Esses componentes envolveram mudanças de direção. A estabilidade da performance foi adquirida após o terceiro dia de prática, ou seja, após 240 tentativas.

Com a introdução da tarefa-ruído, o TTR aumentou em cerca de 35%. Entretanto, o CV foi relativamente pequeno (9%). Com a retirada da tarefa-ruído, o sujeito retomou, imediatamente, o nível de execução demonstrado antes do ruído. Assim, parece evidente que um controle ótimo tenha sido atingido.

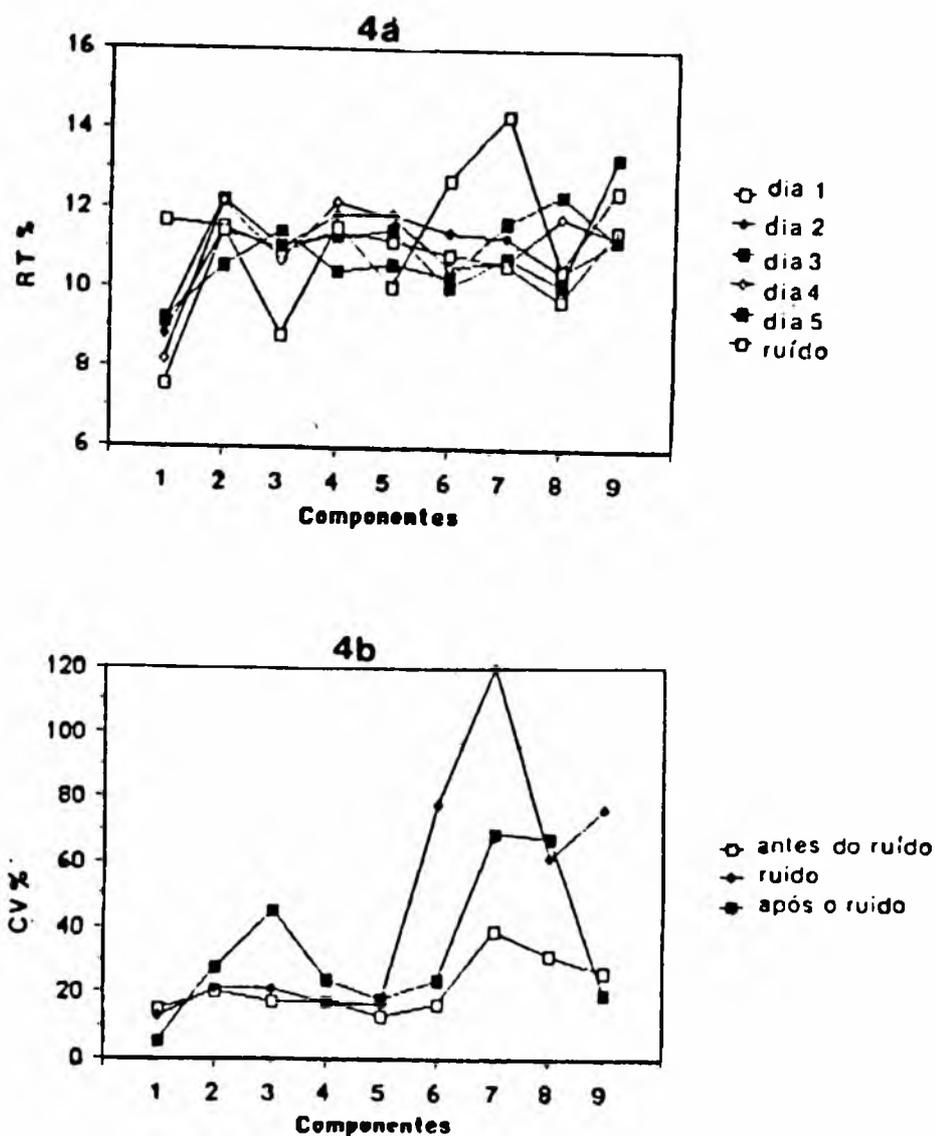


FIGURA 4 - TR médio (4a) e CV(4b) por componente (representado pelo melhor resultado, como uma função da velocidade e consistência, em cada dia de prática).

Foi interessante verificar que a estrutura temporal foi parcialmente alterada na nova tarefa, com mudanças no "timing" dos componentes 6 e 7. O CV nessas posições apresentou um aumento de 50%. Considerando que a relação entre os eventos foi completamente invertida na tarefa-ruído, é significativo constatar que aproximadamente a metade inicial da sequência manteve a mesma estrutura temporal, com baixa variabilidade. Portanto, novamente é verificada a tendência do ritmo adquirido ser utilizado, pelo menos parcialmente, para adaptar-se às novas demandas espaciais do movimento. Ou seja, o controle adaptativo é estabelecido com base na reorganização dessa estrutura temporal.

Experimento 3

Como pode ser visto na TABELA 1, houve uma diminuição do TTR, principalmente no caso da criança mais velha (11 anos de idade). A variabilidade do TTR foi relativamente grande, em especial para os sujeitos de 6 e 11 anos de idade. Isto impõe limites para analisar a aquisição do controle adaptativo, a qual assume-se ser baseada num controle ótimo consistente.

TABELA 1 - Tempo total de resposta em milisegundos e coeficiente de variação (%) nas fases de controles ótimo (blocos 1 a 5) e adaptativo (blocos 1 e 2) para cada sujeito.

	B1	B2	B3	B4	B5	B1	B2
S1	1730 (33,7)	1474 (21,1)	1434 (27,9)	1565 (40,7)	1762 (36,9)	2083 (44,7)	1897 (46,86)
S2	1644 (11,3)	1614 (10,5)	1393 (10,9)	1475 (6,8)	1669 (21,3)	1550 (9,3)	1414 (6,4)
S3	1415 (32,6)	1456 (57,2)	9,84 (49,0)	966 (43,4)	971 (16,1)	924 (43,2)	1229 (47,8)

FIGURAS 5 e 6 apresentam resultados do "timing" (TR) e variabilidade (CV) dos componentes referentes ao último bloco da fase de controle ótimo e primeiro bloco da fase de controle adaptativo.

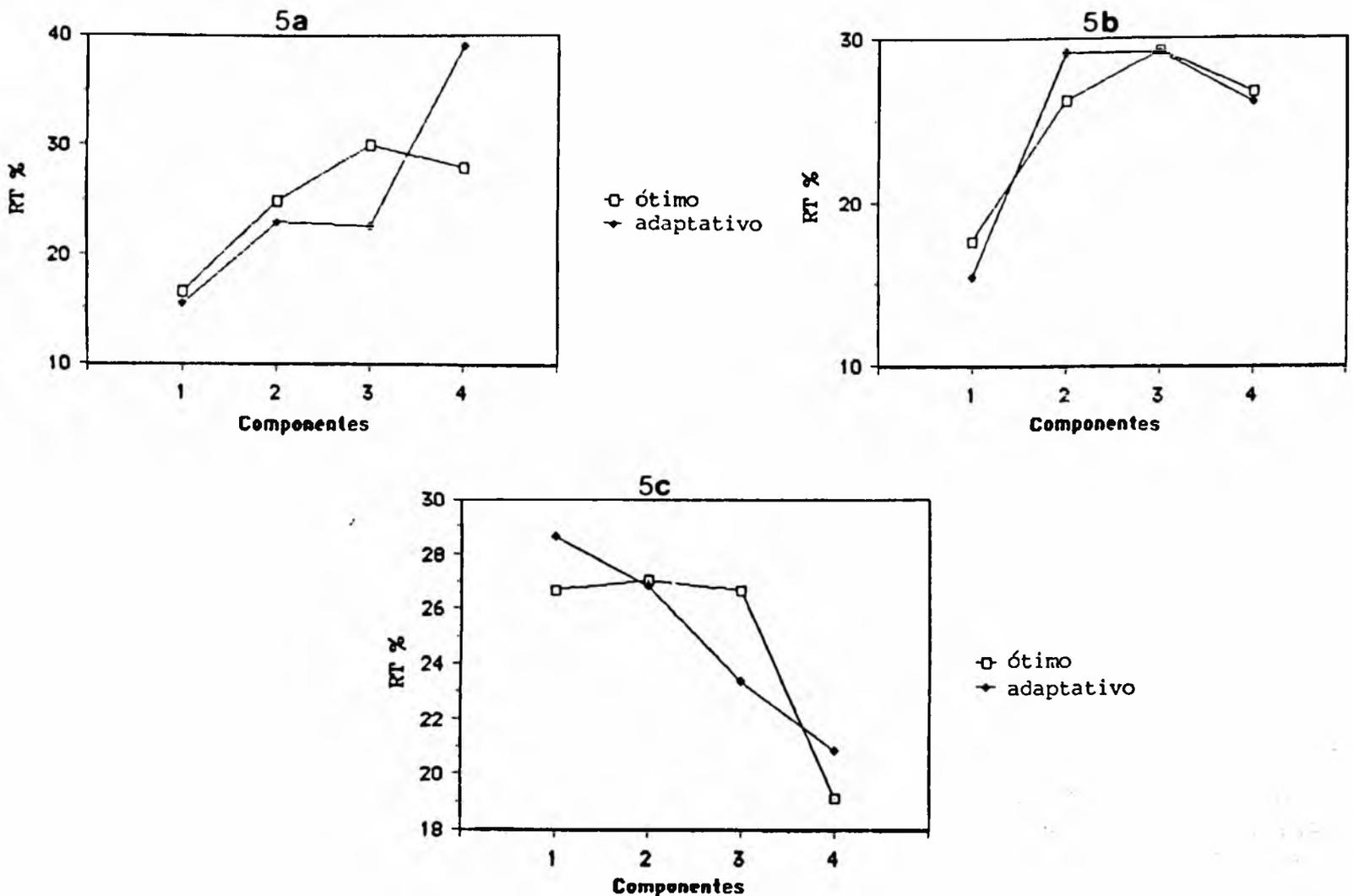


FIGURA 5 - TR médio por componente nas fases de controles ótimo (melhor resultado, como função de velocidade e consistência) e adaptativo (primeiro bloco) para os sujeitos 1(5a), 2(5b) e 3(5c).

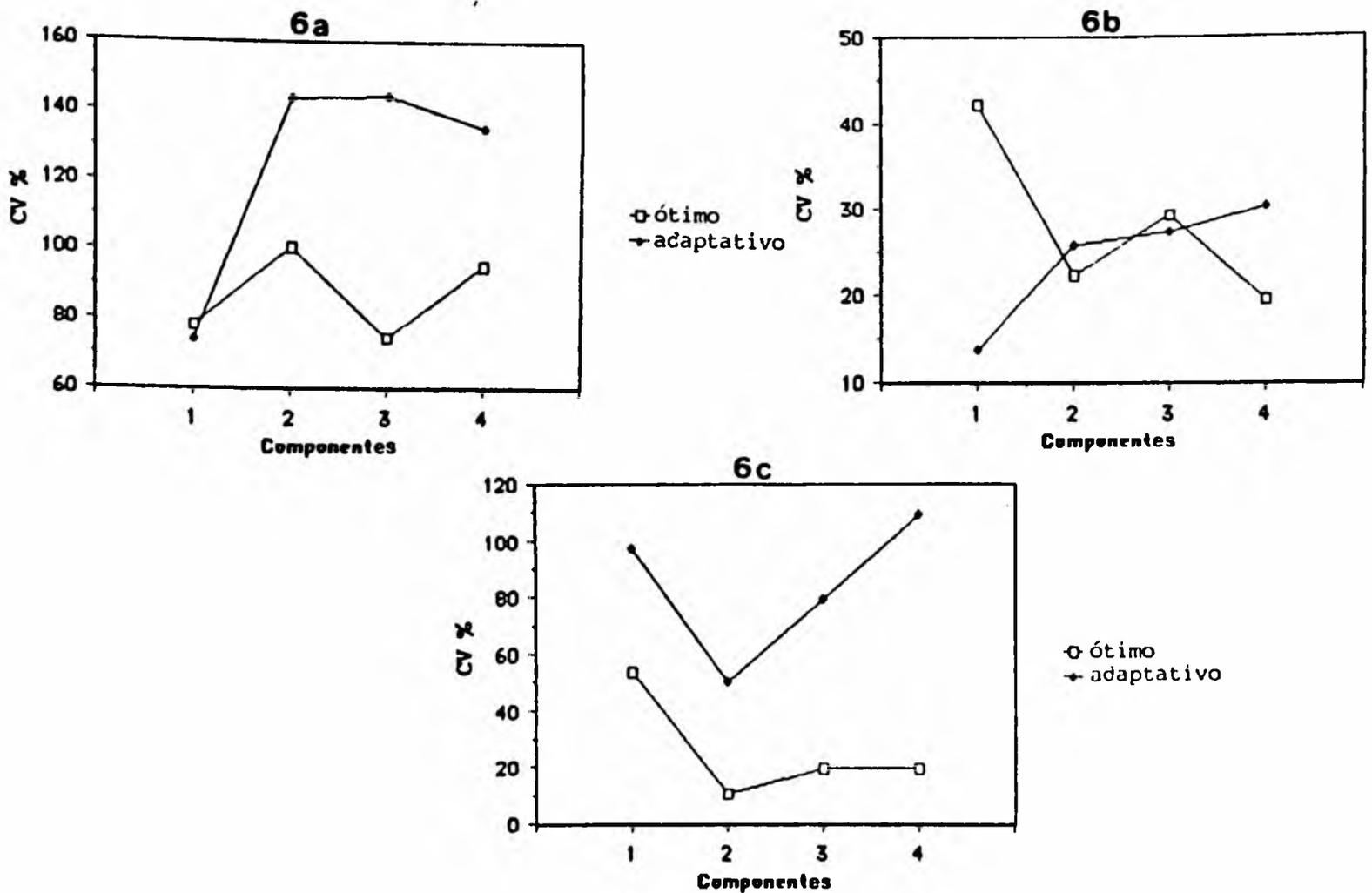


FIGURA 6 - CV por componente nas fases de controles ótimo (idem fig.5) e adaptativo (idem fig.5) para os sujeitos 1(6a), 2(6b) e 3(6c).

Sujeitos 2 e 3 foram mais consistentes na estrutura temporal adotada na fase de controle ótimo. Além disso, sujeitos 1 e 2 dedicaram mais tempo nos últimos componentes da sequência. Nesse particular, é importante ressaltar o aspecto das estratégias de controle. O sujeito de 6 anos de idade, gastou mais tempo e foi mais variável nos dois últimos componentes. Já o sujeito de 8 anos de idade, distribuiu melhor seus tempos ao longo da sequência, embora os valores, em especial do TP, tenham sido particularmente altos.

Esses resultados alinham-se bem com a literatura a respeito. Por exemplo, tem sido verificado que crianças novas têm a tendência de adotar um controle "on line" com pouca programação antecipada (Connolly, Brown & Bassett, 1968; McCracken, 1983; Salmoni, 1983). Além do mais, crianças de 7 a 8 anos de idade parecem basear-se grandemente em "feedback" na definição de parâmetros espaciais do movimento, enquanto crianças mais novas tendem a exercer um controle mais balístico e pouco preciso (Hay, 1984, 1990). Isto é evidenciado no sujeito 1 (6 anos de idade), pela contraposição entre o pouco tempo gasto em cada alvo e a considerável variação na duração dos dois últimos

componentes. A grande duração nos contatos com os alvos, pode assim implicar, que o sujeito 2 (8 anos de idade) deu mais importância ao controle "on line", sacrificando a velocidade de resposta. Finalizando, a inconsistência dos primeiros componentes no sujeito 3 (11 anos de idade), revela muito mais a sua busca de uma melhor relação entre controle "on line" e pré-programado, o que tem sido considerado uma característica comum em crianças dessa faixa etária (Bairstow, 1989; Burton, 1986, 1987; Hay, 1984, 1990).

A adaptação à nova tarefa foi mais traumática para o sujeito de 6 anos de idade, em comparação aos demais sujeitos, que conseguiram inclusive diminuir ou manter os seus TTRs. Ele apresentou uma grande modificação no "timing" do último componente, reforçando observações feitas anteriormente. A confirmação dessa análise é corroborada pelo aumento marcante de variabilidade nos últimos componentes (FIGURA 6a.). Os sujeitos de 8 e 11 anos de idade aplicaram quase que a mesma estrutura temporal na nova tarefa. Deve ser ressaltado que o sujeito de 11 anos de idade apresentou uma estrutura temporal relativamente diferente, quando apenas o TM é considerado, apresentando grandes variações. Mesmo com tais modificações na estrutura temporal, o sujeito de 11 anos de idade, diminuiu o seu TTR no primeiro bloco da fase de controle adaptativo. Esse sujeito demonstrou uma grande capacidade de alcançar o mesmo resultado (TTR médio) através de diferentes meios. Isto é corroborado pelo fato da variação total da resposta ter sido menor que as variações por componente.

Em geral, pode-se dizer que o controle adaptativo foi obtido com a manutenção quase total da estrutura temporal, para as crianças mais velhas (sujeitos 2 e 3), ou parcial para a criança mais nova (sujeito 1). Além do mais, o sujeito de 11 anos de idade demonstrou grande disponibilidade de processamento de informação ao explorar diferentes formas de estruturar temporalmente a resposta em ambas as fases.

Experimento 4

A TABELA 2 apresenta os resultados gerais, TTR e CV, para cada sujeito. Inicialmente, verificou-se que a variabilidade de resposta diminuiu neste experimento em relação aos resultados do experimento 3. A provável explicação para esse decréscimo, pode ser atribuída ao efeito da prática e conhecimento da situação experimental, visto que os mesmos sujeitos já tinham participado do experimento 3.

TABELA 2 - Tempo total de resposta em milissegundos e coeficiente de variação (%) nas fases de controles ótimo (blocos 1 e 2) e adaptativo (blocos 3, amplitude; 4, direção; 5, complexidade) para cada sujeito.

	B1	B2	B3	B4	B5
S1	2424 (29,9)	2086 (14,1)	2940 (17,9)	2020 (28,3)	2307 (28,2)
S2	2291 (3,7)	1961 (7,0)	2102 (5,4)	2077 (12,7)	1880 (7,6)
S3	1767 (9,1)	1769 (20,0)	1730 (25,3)	1575 (11,1)	1487 (26,22)

FIGURAS 7 e 8 apresentam o "timing" e variabilidade dos componentes para cada fase. A fase de controle adaptativo é representado apenas pelo bloco 3 com mudança de amplitude, visto que as mudanças de direção e complexidade não causaram alteração da estrutura temporal.

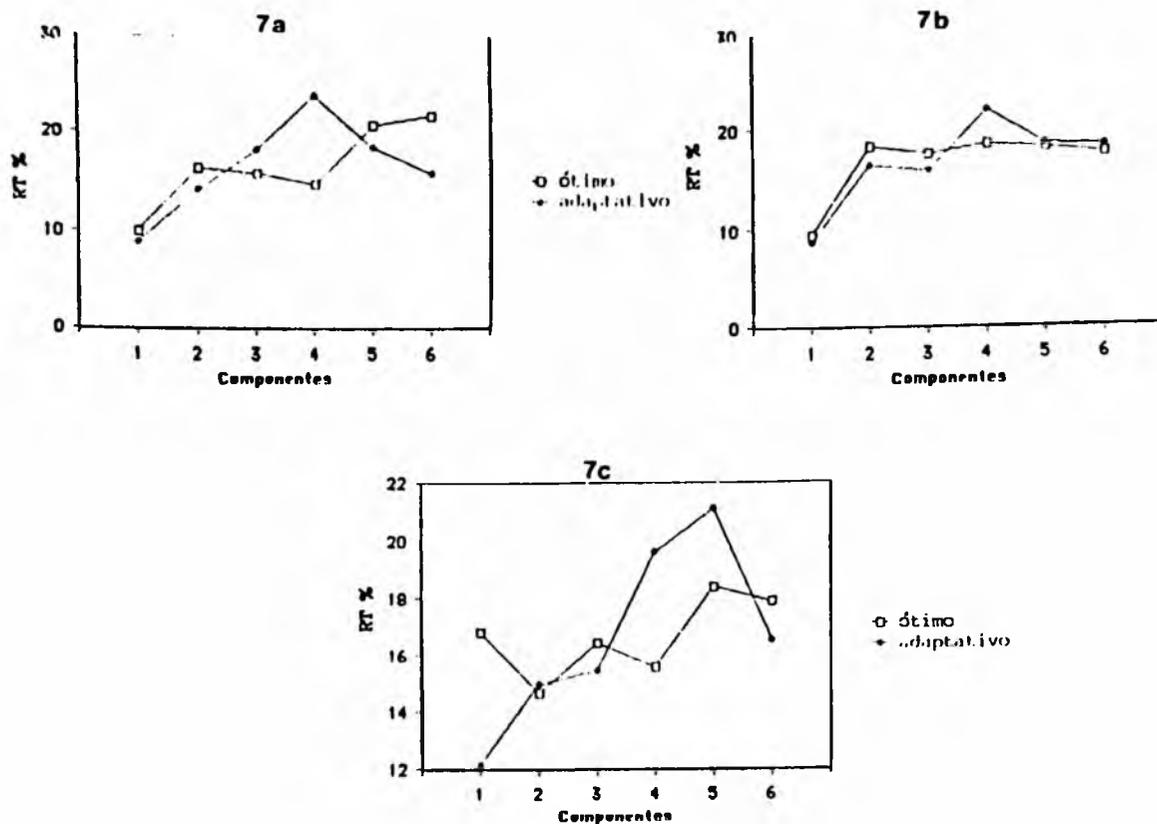


FIGURA 7 TR médio por componente nas fases de controles ótimo (melhor resultado, como função de velocidade e consistência) e adaptativo (apenas bloco com nova amplitude) para os sujeitos 1(7a), 2(7b) e 3(7c).

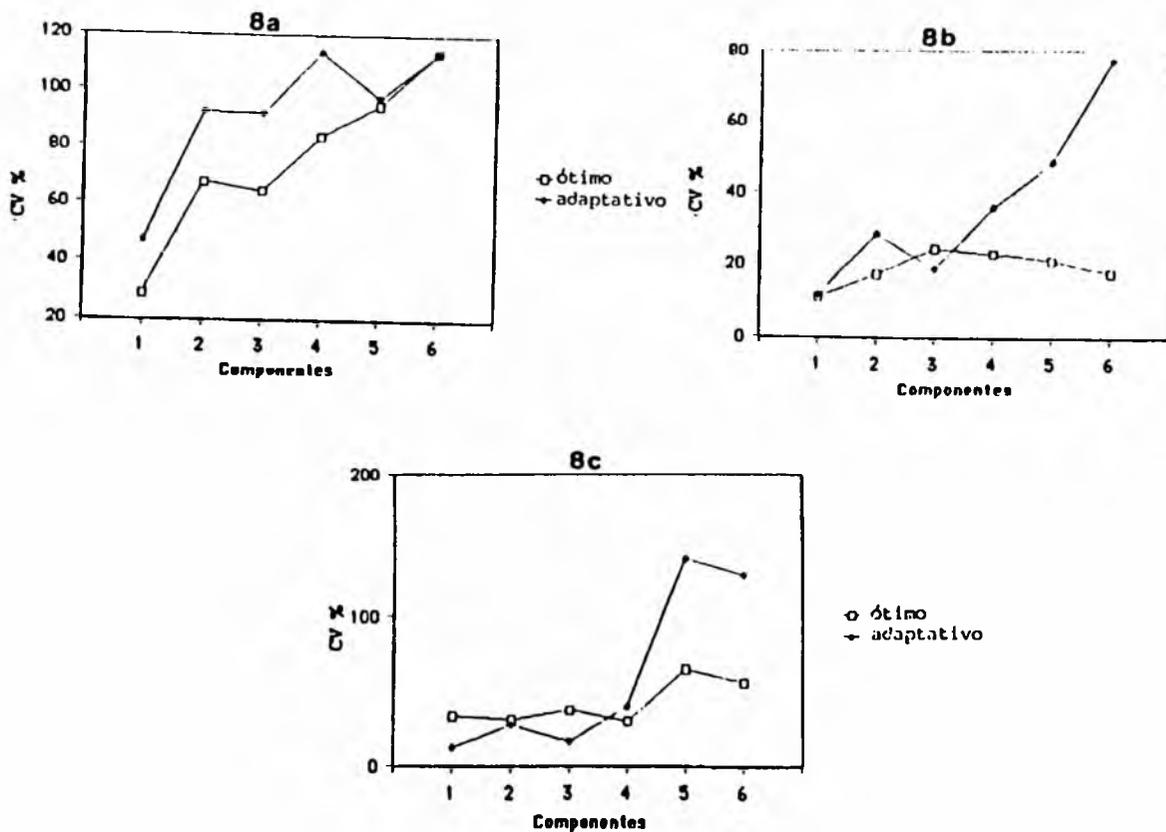


FIGURA 8 - CV por componente nas fases de controles ótimo (idem fig.7) e adaptativo (idem fig.7) para os sujeitos 1(8a), 2(8b) e 3(8c).

A apresentação parcial dos estímulos e o conseqüente aumento de incerteza, pareceu afetar mais a performance dos sujeitos de 6 e 8 anos de idade. Esse resultado pode ser verificado na duração e variabilidade do TM e TP na posição 3.

Durante a fase de controle ótimo, registrou-se uma diminuição do TTR, assim como de sua variação, para todos os sujeitos. Além do mais, a relativa invariância do "timing" e da estrutura temporal foi uma característica observada em todos eles. No entanto, vale ressaltar que os sujeitos de 6 e 11 anos de idade foram bem variáveis em cada componente. A variabilidade no TTR foi menor em comparação aos CVs dos componentes da seqüência. Isto vem a evidenciar a capacidade relativa de atingir o mesmo objetivo através de diferentes meios. Com relação a esse aspecto, é um tópico importante para futuras pesquisas, investigar se a variabilidade nos intervalos é resultante de uma imprecisão inerente do controle ou é o produto de uma supra-organização baseada no tempo, na qual proporções de tempo total - "timing" - são alteradas, mas as relações entre elas - estrutura temporal - não.

Na fase de controle adaptativo, observou-se a tendência, comum a todos os sujeitos, de manutenção da mesma estrutura temporal, correspondente aos três primeiros componentes da seqüência (sempre apresentados antes do início da execução).

Além disso, a manipulação de amplitude pareceu afetar mais a estrutura temporal correspondente, em comparação com as manipulações de direção e complexidade. Esse efeito foi particularmente marcante nos sujeitos de 8 e 11 anos de idade. Entretanto, o TTR aumentou apenas para o sujeito de 8 anos de idade. Em outras palavras, o sujeito de 11 anos de idade demonstrou em sua performance o princípio de isocronia (Fitts, 1954; Viviani & Terzuolo, 1980; Viviani, 1986), no qual o aumento da amplitude entre os alvos, são compensados pelo aumento da velocidade de deslocamento do segmento, mantendo-se constante a duração total do movimento. De fato, essa capacidade de ajustamento tem sido verificada em crianças dessa faixa etária (Bard, Hay & Fleury, 1990).

Em geral pode-se dizer que para as manipulações de direção e complexidade, os sujeitos ajustaram-se com base na estrutura temporal e "timing" adotados na fase de controle ótimo. A manutenção da mesma estrutura temporal, para os três primeiros componentes da seqüência, no controle adaptativo, pode indicar que os sujeitos se utilizaram dessa estrutura para a criação de condições favoráveis de resposta. Entretanto, a apropriada investigação dessa questão exige a realização de novos estudos, nos quais a incerteza seja mantida além da primeira tentativa.

CONCLUSÕES E FUTURAS DIREÇÕES

Os experimentos realizados, em que pese suas limitações, ofereceram dados interessantes para a condução do presente programa de pesquisa.

Em primeiro lugar, parece claro que o controle motor da tarefa beneficia-se em grande parte da existência de uma estrutura temporal estável. Mesmo quando ocorrem variações no "timing" dos componentes, durante a prática, parece evidente que as relações temporais entre eles são mais estáveis.

Em segundo lugar, foi interessante constatar a manutenção total ou parcial da estrutura temporal e "timing" na fase de controle adaptativo. Deve-se considerar que a manutenção ocorreu mesmo quando a nova tarefa se caracterizou por uma nova ordem de eventos.

A manutenção parcial da estrutura temporal é, guardada as suas proporções, um resultado anômalo em relação a hipótese do programa motor generalizado. A idéia de um programa motor generalizado (Schmidt, 1975; Shapiro & Schmidt, 1982) tem sempre defendido a noção de invariância do "timing". Entretanto, essa invariância parece não ser perfeita (Gentner, 1982, 1987; Wann & Nimmo-Smith, 1990). Este posicionamento não invalida a idéia de uma representação central, mas sugere talvez uma estrutura diferente e mais flexível do que a preconizada por Schmidt e Shapiro (veja também Heuer, 1988; Heuer & Schmidt, 1988).

Deve-se ressaltar a importância da estruturação temporal para a reorganização do controle motor exigida na adaptação. De fato, Choshi & Tani (1983) demonstraram que a aquisição de respostas antecipatórias no controle ótimo foi essencial para a manutenção de respostas corretas na fase em que se

exigia controle adaptativo. Em estudos realizados com crianças, a importância dessas respostas antecipatórias na estruturação temporal da habilidade também tem sido constatada (Moss & Hogg, 1987; Todor, 1975, 1979).

Em terceiro lugar, chamou atenção a similaridade entre crianças e adultos na aquisição de controle adaptativo. Ambos utilizaram-se total ou parcialmente da estrutura temporal previamente adquirida. Isto sugere que essa estratégia de reorganização do controle ocorre independente da idade. Para verificar essa hipótese, estudos com um maior número de sujeitos e melhor controle de variáveis necessitam ser realizados. É importante delinear experimentos que permitam verificar com mais cuidado as diferenças de controle ótimo e adaptativo entre crianças de faixas etárias similares as do presente estudo. Hay (1984, 1990) tem preconizado um desenvolvimento não monotônico do controle motor durante o período de 6 a 11 anos de idade. O presente estudo falhou em demonstrar tal tendência desenvolvimentista.

Na condução do presente programa de pesquisas, duas possibilidades são consideradas como futuras direções. Primeiro, existe a alternativa de delineamento de estudos nos quais seja possível perturbar a estrutura temporal adquirida na fase de controle ótimo. O propósito básico dessa manipulação seria verificar até que ponto a manutenção da estrutura temporal original é importante na aquisição do controle adaptativo.

Segundo, uma hipótese na qual os graus de liberdade do controlador (em contraposição aos graus de liberdade do aparato) são considerados como vitais para a aquisição de controle adaptativo, tem sido proposta e discutida (Manoel, 1990). A partir dessa hipótese, torna-se particularmente interessante observar as relações entre a variabilidade do TTR frente a variabilidade de cada componente da sequência. A idéia básica envolvida nesse raciocínio é a de que a variabilidade controlada dos elementos da habilidade (resultando, portanto, em pouca variação do TTR) é essencial no processo de adaptação às novas situações.

ABSTRACT

OPTIMAL AND ADAPTIVE CONTROLS IN THE ACQUISITION OF SERIAL MOTOR SKILLS

Motor skills are continuously in a provisional state. On one hand, skills are stable, patterned and flexible in achieving a particular goal. On another hand, skills can become unstable, disordered and inconsistent when new goals emerge. The acquisition of the first-optimal control - is constrained by the need of the second adaptive control. Thus, in the present study, the main questions tackled were: whether optimal control was characterized by an invariant relative timing; whether adaptive control would benefit from the temporal structure previously acquired; whether children were different from adults on those particular questions. Eight subjects took part in the study, five adults and three children (6, 8 & 11 years old). Total response time and its components time were measured. The results indicated that: (1) optimal control was characterized by an almost invariant relative timing both for adults and children; (2) adaptive control relied heavily upon this timing, again for all subjects. The contrast between the variability of components and the consistency of total response time suggests that for the acquisition of adaptive control the variability in the skill's microstructure is more important than the invariance in the skill's macrostructure.

UNITERMS: Motor development; Adaptive process; Motor skill.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARBIB, M. A. *The metaphorical brain 2 - neural networks and beyond*. New York, John Wiley & Sons, 1989.
- BAIRSTOW, P.I. Development of planning and control of hand movements to moving targets. *British Journal of Developmental Psychology*, v.7, n.1, p.29-42, 1989.
- BARD, C. et alii. Timing and accuracy of visually directed movements in children: control of direction and amplitude components. *Journal of Experimental Child Psychology*, v.50, p.102-18, 1990.
- BARTLETT, F.C. *Thinking: an experimental and social study*. London, George Allen & Unwin, 1958.
- BERTALANFFY, L. von. *General systems theory*. New York, George Braziller, 1968.
- _____. *Problems of life*. London, Watts, 1952.
- BRUNER, J.S. The growth and structure of skill. In: CONNOLLY, K.J., ed. *Mechanisms of motor skill development*. London, Academic Press, 1970.
- _____. Organization of early skilled action. *Child Development*, v.44, p. 1-11, 1973.
- BURTON, A.W. The effect of age on relative timing variability and transfer. *Journal of Motor Behavior*, v.18, n.3, p.323-42, 1986.
- CARTER, M.C.; SHAPIRO, D.C. Control of sequential movements: evidence for generalized motor programs. *Journal of Neurophysiology*, v.52, n.5, p.787-96, 1984.
- CHOSHI, K.; TANI, G. Stable system and adaptive system in motor learning. In: JAPANESE ASSOCIATION OF BIOMECHANICS, ed. *The science of movement V*. Tokyo, Kyorin, p.346-51, 1983.
- CONNOLLY, K.J. Factors influencing the learning of manual skills by young children. In: HINDE, R.; STEVENSON-HINDE, J., eds. *Constraints on learning*. London, Academic Press, 1973.
- CONNOLLY, K.J. et alii. Developmental changes in some components of a motor skill. *British Journal of Psychology*, v.59, n.3, p. 305-14, 1968.
- CONRAD, R. Timing. *Occupational Psychology*, v.29, p. 173-81, 1955.
- ELLIOTT, J.M.; CONNOLLY, K.J. Hierarchical structure in skill development. In: CONNOLLY, K.J.; BRUNER, J.S., eds. *The growth of competence*. London, Academic Press, 1974.
- FITTS, P.M. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, v.47, n.6, p.381-91, 1954.
- FOWLER, C.A.; TURVEY, M.T. Skill acquisition: an event approach with special reference to searching for the optimum of a function of several variables. In: STELMACH, G. E., ed. *Information processing in motor control and learning*. New York, Academic Press, 1978.
- GENTNER, D.R. Evidence against a central control model of timing in typing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, v.8, n.4, p.793-810, 1982.
- _____. Timing of skilled motor performance: tests of the proportional duration model. *Psychological Review*, v.94, p.255-76, 1987.
- GLENCROSS, D.J. The effects of changes in task conditions on the temporal organization of a repetitive speed skill. *Ergonomics*, v.18, n.1, p.17-28, 1975.
- _____. Levels and strategies of response organization. In: STELMACH, G. E.; REQUIN, J., eds. *Tutorials in motor behavior*. Amsterdam, North-Holland, 1980.
- _____. Temporal organization in a repetitive speed skill. *Ergonomics*, v.16, n.6, p.765-76, 1973.
- GREENE, P.H. Problems of organization of motor systems. In: ROSEN, R.; SNELL, F.M., eds. *Progress in theoretical biology*. New York, Academic Press, 1972.
- HAY, L. Developmental changes in eye-hand coordination behaviors: preprogramming versus feedback control. In: BARD, C. et alii., eds. *Development of eye-hand coordination across the life span*. Columbia, University of South Press, 1990.
- _____. A discontinuity in the development of motor control in children. In: PRINZ, W.; SANDERS, A.F., eds. *Cognition and motor processes*. Berlin, Springer Verlag, 1984.
- HEUER, H. Adjustment and readjustment of the relative timing of a motor pattern. *Psychological Research*, v.50, p.83-93, 1988.

- HEUER, H.; SCHMIDT, R. A. Transfer of learning among motor patterns with different relative timing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, v.14, n.2, p.241-2, 1988.
- JEANNEROD, M. *The neural and behavioural organization of goal-directed movements*. Oxford, Oxford University Press, 1988.
- KELSO, J.A.S. Human motor behavior: a process approach. In: KELSO, J. A. S., ed. *Human motor behavior: an introduction*. Hillsdale, New Jersey, Lawrence Erlbaum, 1982.
- KELSO, J.A.S. et alii. On the space-time structure of human interlimb coordination. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 35A, p.347-75, 1983.
- KOESTLER, A. *The ghost in the machine*. London, Hutchinson, 1967.
- KUGLER, P. K.; TURVEY, M.T. *Information, natural law, and the self-assembly of rhythmic movement*. Hillsdale, N.J., Lawrence Erlbaum, 1987.
- LANGLEY, D. J.; ZELAZNIK, H. N. The acquisition of time properties associated with a sequential motor skill. *Journal of Motor Behavior*, v.16, n.3, p.275-301, 1984.
- LASHLEY, K.S. The problem of serial order in behavior. In: JEFFRESS, L., ed. *Cerebral mechanisms in behavior*. New York, Interscience, 1951.
- LEE, T.D. Transfer-appropriate processing: a framework for conceptualizing practice effects in motor learning. In: MEIJER, O. G.; ROTH, K., eds. *Complex movement behaviour*. Amsterdam, North-Holland, 1988.
- LORENZ, K. Analogy as a source of knowledge. *Science*, v.185, p.229-34, 1974.
- MCCRACKEN, H.D. Movement control in a reciprocal tapping task: a developmental study. *Journal of Motor Behavior*, v.15, n.3, p.262-79, 1983.
- MANOEL, E.J. *Desenvolvimento do comportamento motor humano: uma abordagem sistêmica*. São Paulo, 1989. Dissertação (Mestrado) - Escola de Educação Física, Universidade de São Paulo.
- _____. Movimento humano: considerações acerca do objeto de estudo da educação física. *Boletim Fiep*, v.56, n.1, p.33-9, 1986.
- _____. *The nature of adaptative control in motor skill development*. Sheffield, University of Sheffield, 1990. (Technical Report, Department of Psychology).
- MILLER, G. A. et alii. *Plans and the structure of behavior*. New York, Henry Holt and Co., 1960.
- MOSS, S. C.; HOGG, J. The integration of manipulative movements in children with down's syndrome and their non-handicapped peers. *Human Movement Science*, v.6, n.1, p. 67-99, 1987.
- PRIGOGINE, I.; STENGERS, I. *Order out of chaos*. New York, Bantam Books, 1984.
- SALMONI, A.W. A descriptive analysis of children performing Fitt's reciprocal task. *Journal of Human Movement Studies*, v.9, n.2, p.81-95, 1983.
- SCHMIDT, R.A. *Motor control and learning: a behavioral emphasis*. Champaign, Ill., Human Kinetics, 1982.
- _____. On the theoretical status of time in motor program representations. In: STELMACH, G. E.; REQUIN, J., eds. *Tutorials in motor behavior*. Amsterdam, North-Holland, 1980.
- _____. A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review*, v.82, n.4, p.225-60, 1975.
- SCHMIDT, R.A. et alii. Motor-output variability: a theory for the accuracy of rapid motor acts. *Psychological Review*, v.86, n.51, p.415-51, 1979.
- SHAFFER, L.H. Motor programming in language production. In: BOUMA, H.; BOUWHIS, D.G., eds. *Attention and performance X: control of language process*. London, Lawrence Erlbaum, 1984.
- SHAPIRO, D.C. ; SCHMIDT, R.A. The schema theory: recent evidence and developmental implications. In: KELSO J. A. S.; CLARK, J., eds. *The development of movement control and coordination*. Chichester, John Wiley & Sons, 1982.
- SOMMERHOFF, G. *Logic of the living brain*. London, John Wiley & Sons, 1974.
- STELMACH, G. E. et alii. Motor programming and temporal patterns in handwriting. In: GIBBON, J.; ALLEN, L., eds. *Annals of the New York Academy of Sciences*, vol.423. New York, The New York Academy of Sciences, 1974.
- SUMMERS, J.J. The role of timing in motor program representation. *Journal of Motor Behavior*, v.7, n.4, p.229-41, 1975.
- TANI, G. *Adaptive process in perceptual-motor skill learning*. Hiroshima, 1982. Dissertation (Doctoral) - Hiroshima University (em japonês).

- _____. **Human motor behavior: a systems approach.** Hiroshima, 1979. Thesis (Master) - Hiroshima University (em japonês).
- TANI, G. et alii. **Educação física escolar: fundamentos de uma abordagem desenvolvimentista.** São Paulo, EPU/EDUSP, 1988.
- THELEN, E. **Developmental origins of motor coordination: leg movements in human infants.** *Developmental Psychobiology*, v.18,n.1, p.1-22, 1985.
- TODOR, J.I. **Age differences in integration of components of a motor task.** *Perceptual and Motor Skills*, v.41, p.211-15, 1975.
- _____. **Developmental differences in motor task integration: a test of Pascual-Leone's theory of constructive operators.** *Journal of Experimental Child Psychology*, v.28, p.314-22, 1979.
- TYLDESLEY, D.A. **The role of movement structure in anticipatory timing.** In: STELMACH, G.; REQUIN, J., eds. **Tutorials in motor behavior.** Amsterdam, North-Holland, 1980.
- VIVIANI, P. **Do units of motor action really exist?** In: HEUER, H.; FROMM, C., eds. **Generation and modulation of action patterns.** Berlin, Springer Verlag, 1986.
- VIVIANI, P.; TERZUOLO, C. **Space-time invariance in learned motor skills.** In: STELMACH, G.; REQUIN, J., eds. **Tutorials in motor behavior.** Amsterdam, North-Holland, 1980.
- WANN, J.P.; NIMMO-SMITH, I. **Evidence against the relative invariance of timing in handwriting.** *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, v.42A, n.1, p. 105-11, 1990.
- WINER, B.J. **Statistical principles in experimental design.** New York, McGraw-Hill, 1971.
- WING, A.M. **The long and short of timing in response sequences.** In: STELMACH, G.E.; REQUIN, J., eds. **Tutorials in motor behavior.** Amsterdam, North-Holland, 1980.
- _____. **Response timing in handwriting.** In: STELMACH, G.E., ed. **Information processing in motor control and learning.** New York, Academic Press, 1978.

Recebido para publicação em: 09/06/92

O autor deseja agradecer a orientação do Prof. Kevin Connolly, o apoio técnico do Dr. Peter Furness, o apoio logístico do Department of Psychology da University of Sheffield, o apoio financeiro da CAPES e Escola de Educação Física da Universidade de São Paulo, e a dedicação de todos os sujeitos na condução da presente pesquisa.

**ENDEREÇO: Edison de Jesus Manoel
18 Dalewood Drive
Sheffield - England GREAT BRITAIN
S8 OEA**