

# Estabilidade na aquisição de habilidade motora

um estudo de caso sobre a formação de padrões

Edison de Jesus Manoel

Andrea Michele Freudenheim

Luciano Basso

Go Tani

**Como citar:** MANOEL, E. J.; FREUDENHEIM, A. M.; BASSO, L.; TANI, G. Estabilidade na aquisição de habilidade motora: um estudo de caso sobre a formação de padrões. *In*: GONZALEZ, M. E. Q.; DEL-MASSO, M. C. S.; PIQUEIRA, J. R. C. (org.). **Encontro com as Ciências Cognitivas - volume 3**. Marília: Oficina Universitária; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2001. p. 121-138. DOI: <https://doi.org/10.36311/2001.85-86738-19-0.p121-138>



All the contents of this work, except where otherwise noted, is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0).

Todo o conteúdo deste trabalho, exceto quando houver ressalva, é publicado sob a licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0).

Todo el contenido de esta obra, excepto donde se indique lo contrario, está bajo licencia de la licencia Creative Commons Reconocimiento-No comercial-Sin derivados 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0).

# ESTABILIDADE NA AQUISIÇÃO DE HABILIDADE MOTORA: UM ESTUDO DE CASO SOBRE A FORMAÇÃO DE PADRÕES

Edison de Jesus MANOEL<sup>1</sup>  
Andrea Michele FREUDENHEIM<sup>1</sup>  
Luciano BASSO<sup>1</sup>  
Go TANI<sup>1</sup>

## Introdução

Quando indivíduos praticam uma habilidade motora eles adquirem uma representação mental ou um programa motor, particularmente quando essa habilidade apresenta alta demanda cognitiva (COLLEY, 1989). O conceito de programa motor tem passado por várias mudanças nas últimas três décadas. O programa já foi considerado como sendo específico para cada padrão de movimento (KEELE, 1981), generalizado para uma dada classe de movimento (SCHMIDT, 1975), ou ainda distribuído (MACKAY, 1982; PEW, 1984; REQUIN, 1992) e hierarquicamente organizado (ROSENBAUM; KENNY; DERR, 1983). Em que pese as diferenças, essas concepções concordam na natureza abstrata do programa que é visto como uma representação mental que dá todas as direções para o desenrolar da ação. Essa é uma concepção que está de acordo com o conceito de programa de ação proposto por Connolly (1973). O programa de ação estabelece um padrão global para a ação motora, definindo a seqüência de eventos para atingir um objetivo no ambiente. Ele condiciona ao invés de determinar o padrão de movimento, revelando uma plena compreensão da relação meio-fim da habilidade (CONNOLLY; DALGLEISH, 1989). A elaboração de um programa de ação começa com a intenção em atingir uma meta particular. Atualmente, a intenção é vista como um parâmetro de controle que restringe a dinâmica do sistema (KELSO, 1995; SCHÖNNER; 1994; THELEN, et al., 1993). Assim, podemos argumentar que um programa de ação atua como uma restrição (*constraint*) que com outras irá levar à coordenação motora (MANOEL; CONNOLLY, 1995; TANI; CONNOLLY; MANOEL, 2000). Investigar a estrutura de um programa de ação e sua aquisição é de grande interesse para a compreensão da formação de padrões na aquisição de habilidades motoras.

Com a abordagem dos sistemas dinâmicos abriram-se novas perspectivas sobre como a coordenação é engendrada nas habilidades motoras (cf. TURVEY, 1990). Recentemente, seus instrumentos conceituais e metodológicos têm sido utilizados para lidar com a própria essência do

<sup>1</sup> Escola de Educação Física e Esporte - Laboratório de Comportamento Motor - Universidade de São Paulo. E-mail: ejmanoel@usp.br

processo: mudança. Paradoxalmente, é a estabilidade, e não a mudança, o foco de muitos estudos (e.g. VEREIJKEN, et al., 1992; ZANONE; KELSO, 1992). Isto é compreensível posto que para identificar a mudança, é preciso caracterizar o padrão estável do sistema. A principal característica da aquisição de habilidades motoras é a transição entre atratores (KELSO, 1995; THELEN; SMITH, 1994; VAN DER MASS; HOPKINS, 1998). A partir desse ponto de vista, Manoel e Connolly (1997) argumentam que o principal problema de influentes teorias de aprendizagem motora, tais como a de circuito fechado (ADAMS, 1971) e a de esquema motor (SCHMIDT, 1975) não é tanto sua ênfase numa representação mental da ação motora, mas a visão finita do processo de aprendizagem como é expresso no modelo clássico de três estágios proposto por Fitts e Posner (1967).

Do ponto de vista dos sistemas dinâmicos, a aquisição de habilidades não termina quando o estágio autônomo é alcançado, ao contrário, a habilidade continuará a mudar visto que o indivíduo enfrenta novas situações e estabelece novos objetivos em sua interação com o meio ambiente. Por essa razão, os modelos tradicionais de aprendizagem podem ser entendidos como modelos de equilíbrio, isto é, modelos que só explicam a formação de estruturas. Choshi e Tani (1983) conceberam a aprendizagem motora como a formação de um sistema estável (estabilização) seguida de uma transição para um sistema adaptativo (processo adaptativo). Esses autores estudaram a aprendizagem de uma tarefa em que os sujeitos adultos tinham que realizar uma seqüência de movimentos de acordo com o rastreamento de uma série de estímulos visuais. Eles encontraram que após uma série de respostas omissas e erradas os sujeitos iniciavam a apresentação de respostas corretas seguidas de respostas em que toda a seqüência era realizada antecipadamente à seqüência de estímulos (respostas antecipatórias). Essa última classe de resposta levou à uma melhor adaptação quando a relação entre os estímulos, e consequentemente a ordem seriada da ação, era modificada. Tani, Connolly e Manoel (1996) utilizaram o mesmo paradigma experimental para investigar a estabilização e o processo adaptativo em crianças de dez anos de idade. Com algumas crianças, a estabilização do desempenho ocorreu com a predominância de respostas corretas, já com outras crianças, a estabilização se deu com respostas antecipatórias. Quando a seqüência foi modificada, o grupo que estabilizou com respostas corretas apresentou um desempenho inferior em comparação ao grupo com respostas antecipatórias.

A formação de uma estrutura é atingida pela estabilização, fenômeno que é explicado pela maioria dos modelos de aprendizagem motora. Entretanto, o processo adaptativo é sempre requerido quando novos desafios se impõem ao indivíduo. Nessas condições, o estado estável não se sustenta face às novas demandas para a habilidade, acarretando uma

quebra da estabilidade. O processo adaptativo requer que os estados estáveis sejam quebrados e reorganizados em novos, algo que demanda alto grau de redundância no sistema. As respostas antecipatórias refletem esse estado de redundância no sistema, necessário para a adaptação.

O modelo de Choshi e Tani (1983) destaca a importância em se testar experimentalmente o grau de estabilidade do sistema por meio de perturbações que demandem uma solução motora fundamentalmente diferente daquelas que o sistema se acostumou a produzir. De acordo com os conceitos oriundos da teoria de esquema motor, o processo adaptativo seria requerido toda vez que as características invariáveis da ação, como *timing* relativo ou sequenciamento, tivessem que ser modificados. Assim, o programa motor generalizado deveria ser modificado, entretanto, a teoria de esquema não é capaz de explicar como isso ocorre. Já no paradigma de aprendizagem de seqüência (e.g. KEELE; COHEN; IVRY, 1990), o processo adaptativo estaria envolvido toda vez que a relação entre os elementos fosse modificada, entretanto a preocupação nesse paradigma continua sendo investigar como a estrutura formada se mantém. Zanone e Kelso (1997) estudaram como um sistema estável lida com a perturbação que requer uma dinâmica diferente da dinâmica intrínseca do sistema. Entretanto, o interesse de ambos repousou na análise dos efeitos da perturbação num sistema já estabilizado, isto é na sua dinâmica intrínseca. Pouca ou nenhuma atenção foi dada à emergência do novo padrão. Em resumo, a investigação da continuidade do processo de aquisição de habilidades motoras ainda carece de maior atenção.

A natureza da representação mental e o processo de aquisição de habilidades motoras são temas de grande interesse no estudo dos aspectos cognitivos da ação motora. A abordagem articulada de ambos ainda se ressentem da visão de equilíbrio que predomina em teorias influentes de aprendizagem motora, como a teoria de circuito fechado e de esquema motor. Para tentarmos suplantar esse problema abordaremos primeiramente a natureza do programa de ação.

Muitos autores se maravilham com o fato de que habilidades motoras passam por mudanças qualitativas ao longo do tempo. Habilidades gráficas, por exemplo, são adquiridas em idades precoces, mas estão longe de ser consolidadas a essa altura, algo que se estenderá por toda a infância e parte da adolescência. A maioria dos adultos escreve razoavelmente bem, mas há diferenças qualitativas em seu desempenho. Nas habilidades esportivas, igualmente, encontramos pessoas que executam com graus de desempenho radicalmente diferentes. Esses níveis diferenciados de habilidade podem ser explicados em grande parte pelas diferenças no progresso trilhado da estabilidade para a adaptação.

A investigação de como diferentes restrições atuam sobre a estabilização e adaptação de habilidades é um aspecto importante para o estudo da aprendizagem motora. Em particular, deve-se conceber o programa de ação de uma forma dinâmica de maneira a se explicar o seu aumento em complexidade, isto é a sua transição da estabilidade para a adaptação. A investigação de como um programa de ação é formado e evolui no tempo é o principal foco do presente trabalho.

### **Programa hierarquicamente organizado: um modelo experimental**

Ações habilidosas são consistentes e variáveis, fidedignas e flexíveis. Qualquer proposição sobre como habilidades são organizadas necessita reconciliar essas características tidas como pólos opostos. Assim, o programa de ação pode ser visto como sendo organizado hierarquicamente seguindo a distinção entre macro-determinância e micro-indeterminância proposta originalmente para os sistemas biológicos (WEISS, 1969). Dessa forma, o programa de ação seria organizado em dois níveis: (a) macro-estrutura; (b) micro-estrutura (MANOEL; CONNOLLY, 1995, 1997; TANI, 1982, 1995; TANI, CONNOLLY; MANOEL, 2000). A macro-estrutura resulta da interação dos componentes da habilidade e por isso ela se caracteriza por ser bem definida e orientada à consistência e à ordem. A macro-estrutura é refletida nas características invariantes da ação motora como o *timing* relativo, seqüenciamento, força relativa. A micro-estrutura refere-se aos componentes da ação cujo comportamento goza de relativa autonomia. Por isso, a micro-estrutura é mal definida, variável e orientada à desordem. Ela é refletida nas características variáveis do desempenho motor como tempo de movimento absoluto, força absoluta e seleção de grupo muscular. Tani (1995) exemplifica o funcionamento das duas estruturas com um programa de ação hipotético para o salto em distância. No nível da macro-estrutura do programa, há uma relação temporal bem definida entre a corrida de preparação, impulsão, fase aérea e aterrissagem. Já no nível microscópico do programa, cada componente é empregado livremente mas dentro de certos limites estabelecidos pela macro-estrutura. Por exemplo, a velocidade de corrida pode variar, como de fato ocorre para garantir maior precisão na impulsão (cf. LEE; LISHMAN; THOMSON, 1984). Mas o componente corrida também apresenta um *timing* relativo que tende a ser invariante (macro-estrutura) apesar das variações nos tempos absolutos de movimento dos ciclos de passada (micro-estrutura). Essa natureza hierárquica do comportamento é reconhecida de longa data (cf. TINBERGEN, 1951; WEISS, 1941), e revela a natureza dinâmica e não linear do comportamento motor. Nossa tentativa é mostrar que a dinâmica do processo é igualmente de natureza hierárquica. A relação dos elementos na definição da macro e

micro-estruturas varia ao longo do tempo, como tem sido mostrado no desenvolvimento de habilidades manipulativas (MANOEL; CONNOLLY, 1994; 1998).

Durante a aquisição de habilidades, a macro-estrutura do programa de ação é mal definida pois a variabilidade está presente nos dois níveis, como pode ser visto na aprendizagem e desenvolvimento (cf. MANOEL; CONNOLLY, 1995). Quando há a padronização motora, a relação entre os componentes torna-se bem estabelecida levando à emergência de uma macro-estrutura. Nesse sentido, a macro-estrutura emerge das relações que se estabelecem na micro-estrutura que por sua vez passa a ser restringida pela macro-estrutura. Os graus de liberdade nunca são congelados totalmente, do contrário, o sistema perderia redundância e assim sua capacidade de gerar nova macro-estrutura, necessária para uma nova adaptação. Tani (1995) comenta de forma interessante que a macro-estrutura é, ao mesmo tempo, causa e efeito da padronização na micro-estrutura. Trata-se de uma visão dinâmica de hierarquia posto que os níveis superior e inferior são relativamente definidos. A relação hierárquica entre a macro-estrutura e a micro-estrutura se estabelece de forma que uma condiciona a outra. A qualquer momento, flutuações da micro-estrutura podem gerar uma quebra da macro-estrutura resultando numa reorganização do padrão e conseqüentemente levando a uma nova macro-estrutura. Essa, por sua vez, passará a agir de forma a condicionar a micro-estrutura. Dessa forma, evita-se o problema do regresso infinito (qual a representação que gera a representação ?) e o problema da concepção estática de hierarquia onde os níveis inferiores são totalmente submissos ao nível superior e/ ou o nível superior tem que especificar toda a ação dos níveis inferiores.

Tani, Connolly e Manoel (2000) investigaram se a aprendizagem de uma habilidade gráfica resultaria na formação de um programa de ação com macro- e micro-estruturas. Assumiu-se que a formação de padrão envolveria a padronização das interações entre os componentes do movimento levando a uma estrutura estável. Para esse fim, é necessário que as tarefas experimentais envolvam componentes claramente identificáveis além de terem formas de interação distinta entre eles. Por essa razão, optou-se pelo uso de uma tarefa de reprodução gráfica que consistia num padrão particular de associação entre traços. Nesse experimento, os indivíduos praticaram uma tarefa gráfica composta de dez traços (horizontais e verticais) ao longo de 100 tentativas. Em seguida, ocorreram algumas modificações na tarefa praticadas por subgrupos da amostra original. Parte dos indivíduos executaram o mesmo padrão com a instrução de fazê-lo o mais rápido possível, outro grupo devia reproduzir o padrão praticado mas com um aumento de 40% em seu tamanho original, e finalmente, o último grupo de indivíduos, deveria executar um novo padrão que diferia do original pela

modificação da posição espacial de quatro traços. O raciocínio subjacente a esse delineamento era o de que nas primeiras duas modificações da tarefa haveria a necessidade de alterações paramétricas e por isso poderiam ser acomodadas por alterações na micro-estrutura. Já na terceira modificação da tarefa, haveria uma alteração estrutural nas relações entre os elementos, resultando numa maior perturbação da macro-estrutura. As medidas de macro-estrutura foram a variabilidade do *timing* relativo, do tempo de pausa relativo, do tamanho relativo e do seqüenciamento. A micro-estrutura foi acompanhada a partir da variabilidade do tempo absoluto de movimento, de pausa absoluta e do tamanho total. Em todas as medidas, com exceção de uma (tamanho relativo), as previsões foram confirmadas. Portanto, mudanças estruturais na configuração espacial do padrão levaram a um aumento significativo da variabilidade da macro-estrutura. Da mesma forma, mudanças paramétricas (velocidade e tamanho) não afetaram a macro-estrutura. Tani, Connolly e Manoel (2000) não verificaram o grau de estabilidade do programa antes da introdução de modificações. A identificação desse grau é um ponto que merece atenção pois dentro da perspectiva teórica adotada espera-se que um padrão estável tenha como causa a emergência de uma macro-estrutura consistente.

O estudo de como o sistema se torna estável é difícil na aprendizagem motora devido à necessidade de uma grande quantidade de prática para esse fim. Em estudos prévios, a macro-estrutura tendia a se tornar consistente quando o desempenho global melhorava. Entretanto, podemos perguntar até que ponto isso ocorrerá quando o indivíduo for submetido a uma prática extensiva. Será que a macro-estrutura se manterá consistente? Assumindo que a variabilidade desempenha um papel construtivo no aumento da complexidade da habilidade, poderíamos perguntar se a variabilidade irá aumentar com a crescente estabilidade? Em caso positivo, esse aumento seria mais evidente na micro-estrutura? Grande variabilidade no desempenho pode ser prejudicial no início da prática, mas o mesmo não vale para um estado em que a habilidade é praticada de forma extensiva. Outro aspecto que merece atenção diz respeito ao tratamento estatístico para caracterizar a variabilidade enfocando como a macro e micro-estruturas se comportam entre si e em relação à performance global.

Nós tentamos abordar alguns desses problemas via a condução de um estudo de caso, no qual o indivíduo realizou prática extensa de numa habilidade gráfica. Para que a estabilidade seja alcançada é necessário uma grande quantidade de prática, assim, nós examinamos como o desempenho global, as macro e micro-estruturas se comportaram como forma de descrever a formação de padrão na aquisição de habilidade motora.

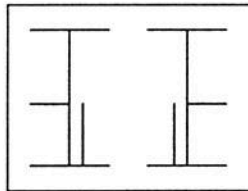
## Método

**Participante.** Um garoto de 14 anos de idade, com alguma prática na reprodução gráfica de padrões similares ao utilizado no presente estudo.

**Instrumento e tarefa.** Foi utilizada uma mesa digitalizadora sensível a pressão de uma caneta especial, modelo *Quora Cordless QC-A4* da TDS Card-graphics. Uma interface foi construída especialmente para esse estudo, a qual interligava a mesa à um computador Macintosh, *Performa 630*. A coleta e análise dos dados foram gerenciados por um software também desenvolvido especialmente para esse estudo.

A tarefa experimental era desenhar um padrão gráfico composto por 10 traços (Figura 1). O sujeito teve que realizar os desenhos em uma folha de papel sulfite (A4) na qual estava demarcado 20 quadros igualmente distribuídos, sendo que no topo da folha estava localizado o padrão gráfico a ser reproduzido.

FIGURA 1 - Padrão gráfico que foi reproduzido.



**Delineamento e procedimento.** O indivíduo executou a tarefa 700 vezes, numa prática que foi distribuída durante uma semana, em cinco sessões. Foi realizada uma sessão por dia, com 140 tentativas. O indivíduo recebeu as seguintes orientações: (a) reproduzir o padrão gráfico adotando qualquer seqüência de traços e numa velocidade a qual se sentisse mais confortável; (b) os traços deviam ser executados de forma que o início e o fim fossem bem definidos; (c) o padrão devia ser desenhado de acordo com possível do modelo, procurando ser o mais fiel possível às suas características espaciais (d) nenhuma tentativa deveria ser feita para retornar ao desenho anterior com o propósito de corrigi-lo; (e) todos os quadros da folha deviam ser preenchidos iniciando-se do quadro mais à esquerda e superior, indo para a direita até o último da folha.

Após o preenchimento da folha (com 20 quadros) havia um intervalo ao redor de 90 segundos, tempo suficiente para que o experimentador trocasse a folha preenchida por uma nova.



**Medidas e análise estatística.** Várias medidas foram tomadas para se atingir diferentes propósitos. Primeiro, o desempenho global foi utilizado para se verificar como a habilidade foi adquirida. A identificação de plateau na curva de desempenho foi considerado como indicativo de estabilidade do comportamento. Duas medidas de desempenho global foram utilizadas: tempo total de movimento médio e tempo total de pausa médio. Essas medidas foram calculadas a partir da soma dos tempos gastos para efetuar cada traço e a soma dos tempos gastos entre um traço e outro, respectivamente. Segundo, para verificar a formação da macro e micro-estruturas utilizou-se dos desvios-padrão, posto que a estabilidade era o objeto principal da investigação. A macro-estrutura foi considerada a partir dos desvios-padrão da média do *timing* relativo e do tempo de pausa relativo dos componentes num bloco de tentativas. A micro-estrutura foi indicada pelos desvios-padrão das médias de tempo total de movimento e tempo total de pausa num bloco de tentativas.

A análise estatística foi aplicada a dez blocos (com setenta tentativas em cada), para cada uma das medidas já mencionadas. De forma a verificar a significância das diferenças ao longo da prática foi conduzida uma série de ANOVAs one way para cada medida. As análises *post hoc* foram feitas com o teste de Tuckey.

A magnitude da variabilidade da macro e micro-estruturas foi posteriormente calculada por meio da aplicação de um coeficiente de variabilidade relativa para dados discretos proposto por Eisenhauer (1993). Esse coeficiente é definido pela razão entre o desvio padrão e a diferença dos valores máximo e mínimo desses desvios por bloco, o que é expresso na seguinte equação:

$$\text{Cevr} = \text{DP} / (\text{Máx} - \text{Min})$$

Os valores de variabilidade se distribuem numa escala que vai de 0,5 (nível mais alto de variabilidade) a 0,0 (nível mais baixo de variabilidade).

## Resultados

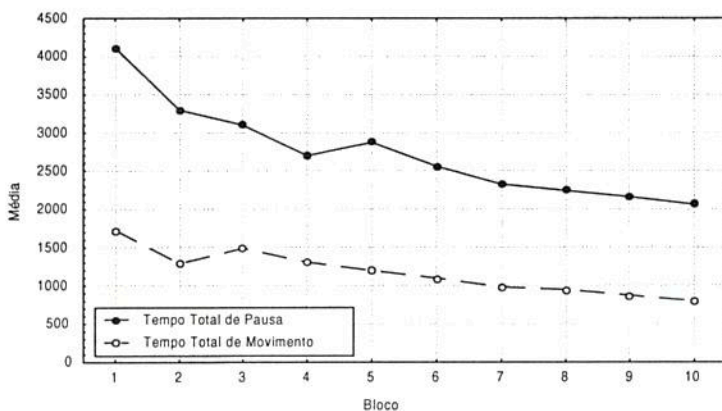
### Medidas de desempenho global

Um fato comum na pesquisa em aprendizagem motora é a presença de plateau na curva de performance depois de uma prática extensa. Na figura 2, pode-se verificar que mesmo após 700 tentativas o indivíduo ainda mostrava uma tendência à diminuição no tempo total de movimento e tempo total de pausa. O tempo total de pausa apresentou um declínio acentuado do primeiro para o segundo bloco no primeiro dia, e

depois ele tendeu a diminuir de forma menos acentuada até a última sessão (blocos 9 e 10). O tempo total de movimento diminuiu de forma mais gradual ao longo dos cinco dias de prática.

A ANOVA one way conduzida para cada medida encontrou diferença estatisticamente significativa para o tempo total de pausa ( $F[9,60]=59,864, p < .05$ ) e o tempo total de movimento ( $F[9,60]=40,301, p < .05$ ). O teste *post hoc* de *Tuckey* indicou diferenças significativas no tempo total de pausa entre o bloco 1 e todos os outros blocos, bloco 2 e todos os outros blocos com exceção do bloco 3, e bloco 3 com todos os outros blocos com exceção do bloco 5 ( $p < .05$ ). Para o tempo total de movimento, a análise *post hoc* usando o teste de *Tuckey* indicou diferenças significativas entre o bloco 1 e todos os outros blocos, bloco 2 e blocos 7, 8, 9 e 10, bloco 3 e blocos 5, 6, 7, 8, 9 e 10, bloco 4 e blocos 7, 8, 9 e 10, bloco 5 e blocos 7, 8, 9 e 10 ( $p < .05$ ).

FIGURA 2 - Média do tempo total de pausa e tempo total de movimento por blocos de 70 tentativas (Desempenho global).

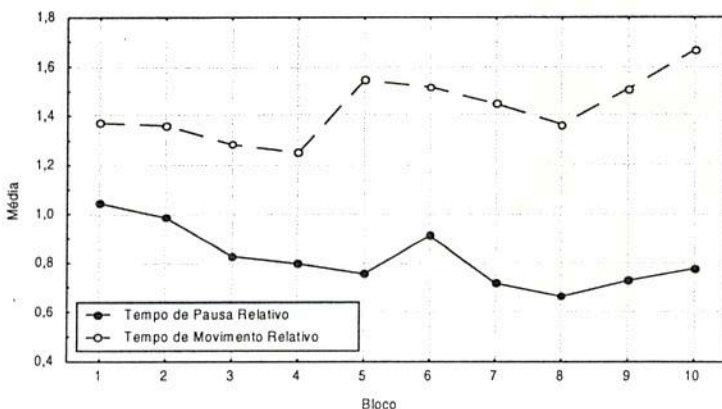


No geral, esses resultados indicaram que o desempenho global melhorou posto que o indivíduo gastou menos tempo para tomar decisões sobre qual traço deveria realizar (tempo total de pausa), assim como também, despendeu menos tempo para completar os traços constituintes do padrão gráfico (tempo total de movimento). A falta de diferenças estatísticas nos últimos três dias de prática indica a existência de um plateau, o que nos dá evidência de que a estabilidade foi alcançada. A seguir cabe descrever como essa estabilidade foi atingida.

### Medidas de macro-estrutura

A variabilidade do tempo de pausa relativo tendeu a diminuir apesar de um breve aumento no segundo bloco da terceira sessão (Figura 3). Por outro lado, a variabilidade do tempo de movimento relativo aumentou, principalmente da segunda para a terceira sessão e da quarta para a quinta sessão (Figura 3). A ANOVA *one way* não detectou diferença significativa para o tempo de pausa relativa, ( $F[9,60]=1,714, p < .10$ ). Já para o tempo de movimento relativo houve uma diferença, ( $F[9,60]=2,909, p < .05$ ). A análise *post hoc* com o teste de *Tuckey* indicou que as diferenças significativas estavam localizadas entre os blocos 3 e 10 e os blocos 4 e 10.

FIGURA 3 - Média do tempo de pausa relativa e tempo de movimento relativo por blocos de 70 tentativas (Macro-estrutura).

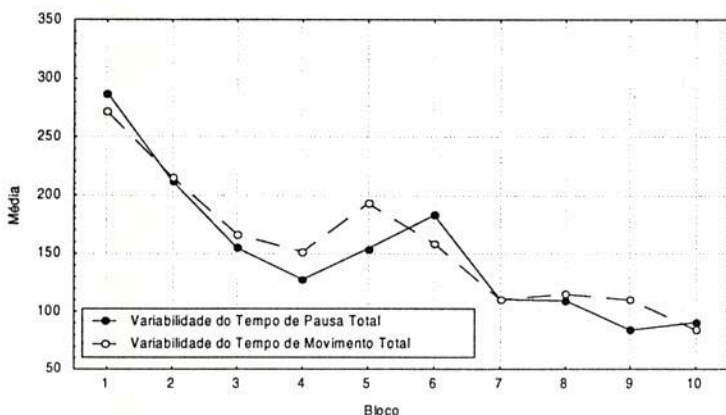


### Medidas de micro-estrutura

A variabilidade da micro-estrutura mostrou um declínio acentuado nos primeiros dois dias. Outro declínio ocorreu do terceiro dia para os últimos dois dias de prática. Esse padrão foi similar para o tempo total de movimento (Figura 4). A condução de ANOVA *one way* indicou que a diminuição da variabilidade foi significativa para o tempo total de pausa ( $F[9,60]=5,534, p < .05$ ) e para o tempo total de movimento ( $F[9,60]=7,595, p < .05$ ). A análise *post hoc* usando o teste de *Tuckey* para o tempo total de pausa mostrou que diferenças significativas ocorreram entre bloco 1 e blocos 4, 5, 7, 8, 9 e 10 ( $p < .05$ ), entre blocos 2 e 9 ( $p < .05$ ). No tempo total de movimento, a análise *post hoc* com o teste de *Tuckey* detectou diferenças significativas entre o bloco 1 e todos os blocos com exceção do segun-

do e quinto blocos ( $p < .05$ ), entre o bloco 2 e os blocos 7, 8, 9 e 10 ( $p < .05$ ), entre os blocos 5 e 10 ( $p < .05$ ).

FIGURA 4 - Variabilidade média do tempo total de movimento e tempo total de pausa por blocos de 70 tentativas (Micro-estrutura).



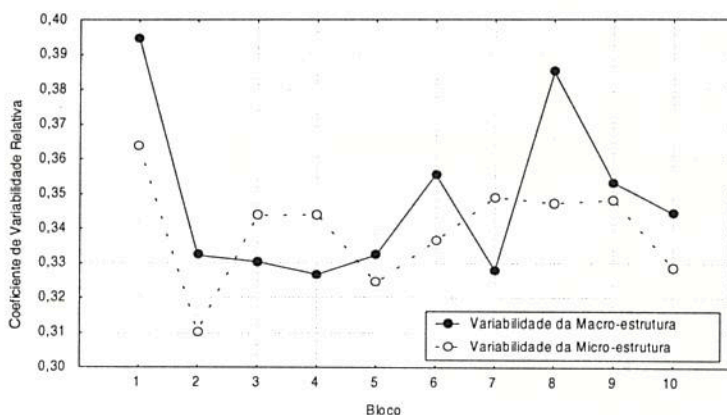
### ***Relação entre macro e micro-estruturas***

A dinâmica da formação de padrão na aquisição de habilidades motoras pode ser apreciada pelo acompanhamento da evolução da macro e micro-estruturas do programa de ação. Espera-se que a estabilidade esteja associada a uma maior consistência da macro-estrutura enquanto a micro-estrutura seria mais variável. Na figura 5, podemos ver que o coeficiente de variabilidade relativa diminui drasticamente em ambas as estruturas durante o primeiro dia de prática (blocos 1 e 2). No segundo dia, a micro-estrutura mostra maior variabilidade do que a macro-estrutura, como seria esperado.

Entretanto, enquanto a variabilidade da micro-estrutura mostrou um padrão equilibrado até o final da prática, a macro-estrutura do programa flutuou tornando-se mais variável do que a micro-estrutura em alguns momentos da prática. Os resultados dos primeiros dois dias estão em acordo com as previsões feitas anteriormente e com os estudos prévios (TANI; CONNOLLY; MANOEL, 2000). O resultado inesperado refere-se ao comportamento da macro-estrutura. É interessante notar que o desempenho global apresenta um plateau nos momentos de flutuação da macro-estrutura, indicando que essa variabilidade não prejudicou a habilidade. Manoel e Connolly (1995) propuseram que as relações macro-micro podem

ser vistas entre a intenção e os objetivos (macro-estrutura) e os meios para operacionalizar essa intenção (micro-estrutura). No presente estudo, a variação da estrutura temporal da ação (característica macroscópica do programa) pode ser interpretada como uma forma de “brincadeira” em que o indivíduo se engaja posto que a essa altura ele atingiu um estado com grande redundância. Nesse sentido, o indivíduo estaria mostrando diferentes formas de organizar temporalmente sua ação, i.e. com diferentes meios para alcançar o mesmo fim. É importante ressaltar que esse garoto tinha alguma experiência com a tarefa. Isso é expresso no fato de que o sequenciamento da ação, i.e. a ordem em que os traços eram efetuados, permaneceu inalterada durante toda a prática. Portanto, para esse indivíduo, a aprendizagem consistiu em achar um estrutura temporal particular para a ação (até o 2º. dia). Uma vez que essa estrutura foi estabelecida, ele experimentou variações na mesma. Esse foi um tipo de variabilidade que esteve longe de ser um ruído para o sistema. O fato do desempenho global permanecer estável dá suporte para a idéia de que a variabilidade macro demonstrada seja de cunho funcional. Haveria, então, dois passos na aquisição de habilidades. Primeiro, a variabilidade diminui tanto na macro como na micro-estrutura, o que é seguido por aumento ou manutenção da variabilidade na micro-estrutura. Em ambos os casos, haveria uma associação com a melhoria acentuada do desempenho global. Segundo, com o grande acúmulo de prática na tarefa haveria uma estabilidade que se sustenta com aumentos de variabilidade na própria macro-estrutura.

FIGURA 5 - Coeficiente de variabilidade relativa na macro-estrutura e micro-estrutura por blocos de 70 tentativas.



Evidentemente essa interpretação deve ser ponderada e tomada com muito cuidado visto estarmos tratando dos dados de um estudo de caso. Entretanto, os resultados da primeira parte do experimento estão de acordo com os encontrados em outro estudo conduzido recentemente. Nesse estudo, os sujeitos tiveram 280 tentativas na mesma tarefa (FREUDENHEIM; MANOEL, 2000). Os participantes tiveram que lidar com perturbações em alguns blocos por meio da inclusão de ruídos na tarefa. Os resultados ofereceram evidências de que estabilidade do desempenho dependeu da estabilidade da macro-estrutura. Seria interessante se nós tivéssemos perturbado o nosso indivíduo no quarto e quinto dia de prática. Será que a macro-estrutura seria restringida, mostrando menos variabilidade de forma a lidar com o desafio imposto? Essa é uma questão que permanece para ser respondida. Como é conhecido a regularidade das variáveis temporais está ligada ao comportamento habilidoso nas habilidades gráficas (CF. VAN GALEN, 1991; VIVIANI; TERZUOLO, 1980; VIVIANI, 1986; WANN, 1986; WANN; JONES, 1986). Recentemente, Longstaff & Heath (1997) mostraram que a fluência e precisão dos traços apresentados por adultos está associada com a consistência temporal. Wright (1990) e Lindermann & Wright (1998) encontraram que a invariância do *timing* relativo é característica definidora na representação mental de habilidades gráficas. Considerando que o nosso indivíduo tinha alguma experiência com a tarefa, ele pode ter se sentido confiante para explorar o que para ele eram programas bem conhecidos. Assim, temos fortes razões para achar que essa variabilidade não foi devida a descuidos de atenção resultantes da grande quantidade de prática. Ao contrário, essa variabilidade pode ser fonte essencial para o aumento de complexidade nas ações habilidosas. Quando a variabilidade está presente no desempenho ela é indicadora de instabilidade no sistema (cf. ZANONE; KELSO; JEKKA, 1993), no entanto, ela reflete também os graus de liberdade que podem ser explorados na busca de soluções (BERNSTEIN, 1967; KOESTLER, 1969; MANOEL, 1993; MANOEL; CONNOLLY, 1995, 1997; NEWELL; CORCOS, 1993; SPORNS; EDELMAN, 1993).

## Conclusão

Variabilidade é um ponto de grande controvérsia no comportamento motor. Ela pode resultar de diferentes fontes e sua mensuração não é tarefa trivial (NEWELL; SLIFKIN, 1998). Manoel e Connolly (1995) propuseram uma taxionomia na qual dois tipos de variabilidade são definidos: variabilidade de erro e variabilidade funcional. A variabilidade de erro é inerente ao sistema e não pode ser dominada. Já a variabilidade funcional resulta da redundância do sistema obtida pelos processos de aprendizagem e desenvolvimento. Ela está atrelada à formação de programas de ação

flexíveis, organizados em macro e micro-estruturas. Pode ser que as duas formas de variabilidade estejam associadas. Vale ressaltar que a distinção entre macro e micro-estruturas é relativa, ela depende do foco de análise. Nós colocamos o foco no nível abstrato da habilidade, aquele em que intenção e objetivo, meios e fins, são relacionados (cf. CONNOLLY, 1975; JEANNEROD, 1994, 1996; REQUIN, 1992). Nesse sentido, a variabilidade da micro-estrutura está inserida na variabilidade inerente do sistema, levando uma inevitável dependência entre variabilidade de erro e funcional.

Para um sistema estável se adaptar às situações torna-se crucial que ele apresente variabilidade. Isso não significa só a necessidade de aumentos quantitativos de variabilidade, mas uma maior capacidade do sistema explorar essa redundância (MANOEL, 1993; MANOEL; CONNOLLY, 1995). Ultimamente, diferentes autores tem chegado a conclusões similares na aprendizagem motora (e.g. VEREIJKEN et al., 1992; ZANONE, KELSO; JEKKA, 1993) e no desenvolvimento motor (e.g. ADOLPH, 1998; THELEN, et al., 1993). Durante muito tempo, a variabilidade foi vista como a vilã do comportamento habilidoso, mas isso já passou. A concepção de um programa de ação apresentada neste trabalho tenta contemplar uma representação onde consistência e variabilidade são reconciliadas.

Dentro dos limites de um estudo de caso, nós gostaríamos de defender que os resultados aqui descritos indicam a necessidade de novos estudos usando o mesmo referencial teórico e com delineamento experimental similar. Seria interessante verificar como os indivíduos com extensa prática na tarefa iriam reagir a perturbações selecionadas, paramétricas e estruturais. Isso poderia fornecer novos subsídios para a idéia de que com a experiência motora abstraímos relações representadas num programa de ação hierarquicamente organizado.

## **Agradecimentos**

A Kevin Connolly pelas inúmeras discussões que ajudaram a iluminar as idéias expressas aqui, a Peter Furness pela sua competência em desenvolver o software e o hardware necessários para a condução do experimento e finalmente para José de Oliveira Siqueira pelo seu sólido suporte nas questões estatísticas. Ressaltamos, no entanto, que todas as imprecisões e os erros aqui presentes são de nossa inteira responsabilidade.

## **Referências**

ADAMS, J. A. A closed-loop theory of motor learning. *Journal of Motor Behavior*, v.3, p. 111-50, 1971.

- ADOLPH, P. E. Learning in the development of infant locomotion. *Monograph of the Society for Research in Child Development*, v. 257, n. 62, p. 3, 1998.
- BERNSTEIN, N. *The co-ordination and regulation of movements*. Oxford: Oxford University Press, 1967.
- CHOSHI, K.; TANI, G. Stable systems and adaptive systems in motor learning. In: JAPANESE ASSOCIATION OF BIOMECHANICS. *The science of movement V*. Tokio: Kyorin, 1983, p. 346-351.
- COLLEY, A. M. Cognitive motor skills. In: HOLDING, D.H. (Ed.). *Human skills*. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 1989, p. 229-248.
- CONNOLLY, K. J. Factors influencing the learning of manual skills by young children. In: R. HINDE, R.; STEVENSON- HINDE, J. (Ed.). *Constraints on learning*. London: Academic Press, 1973, p. 337-363.
- \_\_\_\_\_. Movement, action and skill. In: HOLT, K. S. (Ed.), *Movement and child development*. London: Heinemann, 1975, p. 102-110.
- CONNOLLY, K. J.; DALGLEISH, M. The emergence of a tool using skill in infancy. *Developmental Psychology*, n. 25, p. 894-912, 1989.
- EISENHAUER, J. G. A measure of relative dispersion. *Teaching Statistics*, v. 14, n. 2, p. 37-39, 1993.
- FITTS, P. M.; POSNER, M. I. *Human performance*. Belmont: Brooks & Cole Pbs, 1967.
- FREUDENHEIM, A. M.; MANOEL, E. J. *Stability and pattern formation in motor skill acquisition*, 2000. (Paper submitted to publication).
- JEANNEROD, M. The representing brain: neural correlates of motor intention and imaginary. *Behavioral and Brain Sciences*, n. 17, p. 187-245, 1994.
- \_\_\_\_\_. *Cognitive neuroscience of action*. Cambridge: The MIT Press, 1996.
- KEELE, S. W. Behavioral analysis of movement. In: BROOKS, V. B. (Ed.) *Handbook of physiology: the nervous system*. Baltimore: American Physiological Society, p. 1391-1414, 1981. (v. 2 Motor Control).
- KEELE, S. W.; COHEN, A.; IVRY, R. Motor programs: concepts and issues. In: JEANNEROD, M. (Ed.) *Attention and performance VIII*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum, 1990, p. 77-110.
- KELSO, J. A. S. *Dynamic patterns*. Cambridge, MA: The MIT Press, 1995.
- KOESTLER, A. Beyond atomism and holism: the concept of holon. In: KOESTLER, A.; SMYTHIES, J. R. (Ed.) *Beyond reductionism*. London: Hutchinson, 1969 p.192-232.
- LEE, D; LISHMAN, J. R.; THOMSON, T. A. Regulation of gait in long jumping. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, n. 8, p. 448-459, 1984.
- LINDERMANN, P. G.; WRIGHT, C. E. Skill acquisition and plans for actions: Learning to write with your other hand. In: SCARBOROUGH, D.; STERNBERG, S. (Ed.). *Methods: models, and conceptual issues: an invitation to cognitive science*. Cambridge, MA: The MIT Press. v.4., p. 346-351, 1998.



- LONGSTAFF, M. G.; HEATH, R. A. Space-time invariance in adult handwriting. *Acta Psychologica*, n. 97, p. 201-214, 1997.
- MACKAY, D. G. The problems of flexibility, fluency, and speed-accuracy trade-off in skilled behavior. *Psychological Review*, v. 89, n. 5, p. 483-506, 1982.
- MANOEL, E. J. *Adaptive control and variability in the development of skilled actions*. Doctoral Thesis. Sheffield: University of Sheffield, 1993.
- MANOEL, E. J.; CONNOLLY, K. J. Macro-structure and micro-structure in the development of skilled actions. *Proceedings of the British Psychological Society*, v. 2, n. 1, p. 48, 1994.
- \_\_\_\_\_. Variability and the development of skilled actions. *International Journal of Psychophysiology*, n. 19, p. 129-147, 1995.
- \_\_\_\_\_. Variability and stability in the development of skilled actions. In: CONNOLLY, K.J.; FORSSBERG, H., (Ed.) *Neurophysiology & neuropsychology of motor development*. London: Mac Keith Press and Cambridge University Press, 1997, v. 14, p. 286-318.
- \_\_\_\_\_. The development of manual dexterity in young children. In: CONNOLLY, K. J. (Ed.) *The psychobiology of the hand*. London: Mac Keith Press and Cambridge University Press, 1998. p. 177-198.
- NEWELL, K. M.; SLIFKIN, A.B. The nature of movement variability. In: PIEK, J. P. (Ed.), *Motor behavior and human skill: a multidisciplinary perspective*. Champaign: Human Kinetics, 1998. p. 143-160.
- NEWELL, K.M.; CORCOS, D. (Ed.) *Variability and motor control*. Champaign: Human Kinetics, 1993.
- PEW, R.W. A distributed processing view of human motor control. In: PRINZ, W.; SANDERS, A.F. (Eds.) *Cognition and motor processes*. Berlin: Springer-Verlag, 1984, p. 19-27.
- REQUIN, J. From action representation to movement control. In: STELMACH, G.E.; REQUIN, J. (Ed.) *Tutorials in motor behavior II*. Amsterdam: North Holland, 1992. p. 333-345.
- ROSENBAUM, D. A.; KENNY, S.; DERR, M. A. Hierarchical control of rapid movement sequences. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, n. 9, p. 86-102, 1983.
- SCHMIDT, R. A. A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review*, v. 4, v. 82, p. 225-60, 1975.
- SCHÖNNER, G. Dynamic theory of action perception patterns: the time before contact paradigm. *Human Movement Science*, n. 13, p. 415-440, 1994.
- SPORNS, O.; EDELMAN, G. Solving Bernstein's problem: a proposal for the development of coordinated movement by selection. *Child Development*, n. 64, p. 960-981, 1993.
- TANI, G. *Adaptive process in perceptual-motor learning*. 1982. Thesis (Doctoral) - Hiroshima University, Hiroshima.
- \_\_\_\_\_. *Hierarchical organization of an action programme in the acquisition of a graphic skill*. Sheffield: Department of Psychology, University of Sheffield, 1995. (Technical Report).

TANI, G.; CONNOLLY, K. J.; MANOEL, E. J. Sistema antecipatório e o processo adaptativo na aquisição de uma habilidade motora seriada de rastreamento.= Anticipatory system and adaptive process in the acquisition of a serial tracking motor skill. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CIÊNCIAS DO ESPORTE, 20, 1996, São Caetano do Sul. *Anais...* São Paulo: Centro de Estudos do Laboratório de Aptidão Física de São Caetano do Sul, 1996. p. 91.

\_\_\_\_\_. *Hierarchical organisation of an action programme: pattern formation in the acquisition of a graphic skill*, 2000. (Submitted to Publication).

THELEN, E., et. al. The transition to reaching: mapping intention and intrinsic dynamics. *Child Development*, n. 64, p. 1058-1098, 1993.

THELEN, E.; SMITH, L. *A dynamic systems approach to the development of cognition and action*. Cambridge, MA: The MIT Press, 1994.

TINBERGEN, N. *The study of instinct*. Oxford: Oxford University Press, 1951.

TURVEY, M. I. Coordination. *American Psychologist*, n. 45, p. 938-953, 1990.

VAN DER MASS, H. L. D.; HOPKINS, B. Developmental transitions: So what's new? *British Journal of Developmental Psychology*, n. 16, p. 1-13, 1998.

VAN GALEN, G. P. Handwriting: Issues for a psychomotor theory. *Human Movement Science*, n. 10, p. 165-191, 1991.

VEREIJKEN, B. et al. Free(z)ing degrees of freedom in skill acquisition. *Journal of Motor Behavior*, v. 24, p. 133-142, 1992.

VIVIANI, P. Do units of motor action really exist? In: HEUER, H.; FROMM, C. (Ed.) *Generation and modulation of action patterns*. Berlin: Springer Verlag, 1986, p. 201-216.

VIVIANI, P.; TERZUOLO, C. Space-time invariance in learned motor behavior. In: STELMACH, G.; REQUIN, J. (Ed.) *Tutorials of motor behavior*. Amsterdam: North Holland, 1980, p. 525-533.

WANN, J. Handwriting disturbances: developmental trends. In: WRITING, H. T. A.; WADE, M.G. (Ed.). *Themes in motor development*. Dordrecht: Martinus Nijhoff, 1986. p. 207-223.

WANN, J. P.; JONES, J. G. Space-time invariance in handwriting: contrasts between primary school children displaying advanced or retarded handwriting acquisition. *Human Movement Science*, n. 5, p. 275-296, 1986.

WEISS, P. A. Self-differentiation of basic patterns of co-ordination. *Comparative Psychological Society*, n. 2, p. 1-48, 1941.

\_\_\_\_\_. Living systems: determinism stratified. In: KOESTLER, A.; SMYTHIES, J.R. (Ed.) *Beyond reductionism*. London: Hutchinson, 1969 p. 3-55.

WRIGHT, C. A. Generalized motor programme: Reexamining claims of affection independence in writing. In: M. JEANNEROD, M. (Ed.) *Attention and performance XIII*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum, 1990. p. 294-316.

ZANONE, P. G.; KELSO, J. A. S. Learning and transfer as dynamical paradigms for behavioral changes. In: STELMACH, G. E.; REQUIN, J. (Ed.) *Tutorials in motor behaviour II*. Amsterdam: North Holland, 1992. p. 563-582.

ZANONE, P. G.; KELSO, J. A. S. Coordination dynamics of learning and transfer: collective and component levels. *Journal of Experimental Psychology: human perception and performance*, v. 23, n. 5, 1997, p. 1454-1480.

ZANONE, P.; KELSO, J. A. S.; JEKKA, J. Concepts and methods for a dynamical approach to behavioral coordination and change. In: SAVELSBERGH, G. J. P. (Ed.) *The development of coordination in infancy*. Amsterdam: North Holland, 1993. p. 89-135.