

Variabilidade e programação motora

Go Tani

INTRODUÇÃO

Desde a publicação dos dois artigos seminais de LASHLEY (1917, 1951), a idéia de o movimento ser controlado por algum mecanismo central tem sido objeto de muitas elaborações teóricas e também de investigações empíricas, tanto em nível neurofisiológico como comportamental.

Na área de Comportamento Motor, especificamente, que engloba estudos de aprendizagem, controle e desenvolvimento motor, essa idéia começou a ter maior impacto a partir da proposição do conceito de programa motor feita por KEELE no seu artigo clássico publicado em 1968. Nesse artigo, Keele define o programa motor como um conjunto de comandos motores que é estruturado antes do início da seqüência de movimentos e que possibilita toda a seqüência a ser executada sem a influência do *feedback* periférico.

Essa definição provocou uma grande controvérsia teórica e influenciou profundamente o desenvolvimento subsequente das teorias na área. A controvérsia surgiu em razão das diferentes interpretações, particularmente em relação à expressão “sem influência do *feedback* periférico”, que a definição permitiu. Houve, fundamentalmente, duas linhas de interpretação. A primeira, de que o movimento pode ser executado sem a informação aferente, visto que o programa motor já possui todas as informações necessárias para a execução do movimento, tornando o *feedback* sensorial irrelevante. A segunda, de que a existência do programa motor pode ser inferida a partir do exame da capacidade de executar movimentos de sujeitos privados do *feedback* sensorial por ferimentos, como no estudo de LASHLEY (1917), ou por outros procedimentos experimentais como a diferenciação, o bloqueio nervoso e a anestesia.

Além disso, havia outro argumento favorável à possível existência de algum mecanismo central responsável pelo controle de movimentos, qual seja, o tempo de processamento de *feedback* sensorial. Esse tempo de processamento inviabiliza a sua utilização no controle de movimentos rápidos, os chamados balísticos, nos quais o tempo de movimento é menor que um tempo de reação cinestésico (evidências mais recentes mostram que esse tempo de reação é bem menor do que se supunha naquela época). Nesse caso, embora o *feedback* sensorial esteja presente, não há possibilidade de utilizá-lo no controle de movimento, pois quando se percebe qualquer discrepância na execução o movimento já está terminado. Isso implica que as informações necessárias para o controle de movimentos necessitam estar disponíveis antes do seu início, ou seja, os movimentos precisam ser pré-programados.

Compreensivelmente, o conceito de programa motor proposto por KEELE (1968) foi interpretado diferentemente por vários pesquisadores, provocando uma grande disputa teórica. É importante ressaltar que quando da sua proposição, a área de Comportamento Motor começava a sofrer os impactos da abordagem de processamento de informações que veio a desafiar décadas de domínio da concepção behaviorista no estudo do comportamento humano. O momento era de turbulência teórica e, portanto, muito receptivo e suscetível a debates e controvérsias.

O interessante, entretanto, é que as diferenças na interpretação levaram a um desenvolvimento subsequente muito distinto desse conceito. Por exemplo, a sua interpretação como uma entidade central capaz de especificar todos os detalhes do movimento foi fortemente criticada pelos proponentes e simpatizantes da teoria da ação (veja, por exemplo, REED, 1982), sendo usada como um importante ponto de partida para a polarização entre essa teoria e a teoria motora fundamentada na abordagem de processamento de informações (veja, por exemplo, MEIJER & ROTH, 1988). Como nós sabemos, a existência do programa motor e a sua utilidade prática são negadas pela teoria da ação (KUGLER *et al.*, 1980; 1982).

Por outro lado, a interpretação do programa motor como uma alternativa teórica à explicação do controle de movimentos via *feedback* sensorial, especialmente em razão da sua limitação em termos de tempo de processamento, possibilitou uma melhor elaboração desse conceito com incorporação de novas idéias e evidências empíricas. Como consequência, o

conceito de programa motor continua a desempenhar um papel fundamental na área de Comportamento Motor, especialmente no estudo da natureza de representações cognitivas da seqüência de movimentos executados para atingir ações direcionadas à meta (KEELE *et al.*, 1990; REQUIN, 1992; WRIGHT, 1990). A especificidade da tarefa constitui-se num aspecto fundamental que parece definir, em grande escala, o poder de explanação de diferentes posições teóricas. Em razão disso, naquelas habilidades com um grande envolvimento cognitivo, a idéia de representação e, por conseguinte, o conceito de programa motor, tem desempenhado um papel muito importante (COLLEY, 1989; MARTENIUK *et al.*, 1988; VAN WIERINGEN, 1988).

Na realidade, os estudos sobre a pré-programação da resposta têm se constituído na linha de pesquisa mais explorada à procura de evidências para a existência de programa motor. A idéia básica por trás dessa abordagem é de que se o padrão de movimento é programado centralmente e não dirigido por *feedback* sensorial, é concebível que o programa seja estruturado antes do início do movimento e que o tempo necessário para programá-lo depende do seu nível de complexidade. Quanto mais complexo o movimento, mais tempo se necessita para programá-lo; isso pode ser verificado pela análise do tempo de reação (HENRY & ROGERS, 1960).

Um número substancial de estudos tem sido reportado na literatura (veja KEELE, 1981, para uma revisão) mostrando tanto um aumento no tempo de reação em função da complexidade da resposta como também que o tempo de programação é sensível a fatores como número de movimentos a serem coordenados, o tempo total da ação motora e a complexidade das exigências de *timing* para os componentes do movimento. Além disso, evidências mostrando que os movimentos podem ser estruturados antes do seu início têm sido apresentadas por uma ampla extensão de fenômenos antecipatórios (veja REQUIN *et al.*, 1991, para uma revisão), como, por exemplo, as mudanças posturais antecipatórias anteriores ao movimento dos membros (por exemplo, BELEN'KII *et al.*, 1967).

Essas evidências sobre a pré-programação de resposta têm levado a uma mudança de ênfase na conceituação de programa motor. Se, inicialmente, o programa motor era concebido como um conjunto de comandos musculares específicos, agora é mais visto como uma representação central que possibilita de alguma forma a organização da seqüência de movimentos anteriormente à sua execução (KEELE, 1981; ROSENBAUM,

1985). Seria uma representação do processo dinâmico através da qual interações apropriadas entre os componentes da ação são estabelecidas, e não uma representação do padrão motor em si (ABBS *et al.*, 1984). Segundo essa visão, o programa motor não especifica precisamente os movimentos nem os parâmetros da contração muscular ou o *timing* dos movimentos, mas sim as metas finais do processo de movimento (BERKINBLIT *et al.*, 1986). Os parâmetros de um movimento não são pré-especificados em forma de um rígido conjunto de comandos, mas sim representam a especificação de um dado objetivo no meio ambiente ou um conjunto de metas funcionais (REQUIN *et al.*, 1984).

Todavia, apesar de todo o desdobramento teórico pelo qual passou o conceito de programa motor, persistem importantes problemas de organização e controle de movimentos que ele é incapaz de solucionar. Um dos principais desafios tem sido a questão da variabilidade presente nas ações habilidosas.

VARIABILIDADE

BARTLETT (1932) cunhou uma das frases que melhor expressam uma característica singular de ações habilidosas, que é demonstrar, ao mesmo tempo, consistência e variabilidade. Referindo-se ao movimento de rebatida em tênis, ele afirmou: “quando executo a rebatida, na realidade, eu não produzo algo absolutamente novo, nem repito meramente algo velho”. De fato, quando se observam movimentos de pessoas habilidosas, seja no esporte, na arte, na dança ou no trabalho, tem-se a impressão de que elas executam repetidamente, com muita precisão e consistência, movimentos idênticos. Contudo, uma observação mais detalhada desses movimentos — por exemplo, via análise cinematográfica ou com a utilização de tecnologias mais modernas, como a análise tridimensional de imagens via computador — revela que elas não executam dois movimentos iguais. Há, de um lado, uma variabilidade inerente ao sistema motor que resulta numa variação sutil de tentativa a tentativa na microestrutura do movimento; de outro, há também um padrão próprio na macroestrutura que permite identificar até estilos individuais. É o que acontece com a nossa assinatura. Nunca conseguimos fazer duas assinaturas iguais, mas pode-se perfeitamente identificar a sua autoria.

Na realidade, o ser humano é incapaz de executar dois movimentos idênticos. Há várias razões para isso. Em primeiro lugar, existe o problema de controle dos inúmeros graus de liberdade que estão presentes na execução do movimento (BERNSTEIN, 1967). O problema dos graus de liberdade pode ser visto de várias formas, como, por exemplo, o número de graus de liberdade nas diferentes articulações que participam do movimento, o número de músculos que agem sobre elas, e até mesmo o número de unidades motoras que devem ser ativadas para produzir um determinado movimento. Quanto mais microscópico o nível de análise, maior o número de graus de liberdade. Em segundo lugar, há o problema da imprevisibilidade das variações ambientais que exigem adaptações do padrão de movimento às circunstâncias particulares daquele momento. E existe também o problema da característica não-linear dos próprios músculos, que implica um mesmo comando motor produzindo diferentes efeitos, dependendo de suas condições iniciais (BERNSTEIN, 1967; TURVEY *et al.*, 1982).

A consistência do movimento é alcançada através da redução de variabilidade ou do controle dos graus de liberdade. Sem a redução de variabilidade é difícil obter *performances* bem-sucedidas. Entretanto, quando um excesso de ênfase é dado na redução de variabilidade, duas consequências podem ser esperadas. Em primeiro lugar, a produção de padrões de movimentos rígidos e estereotipados, isto é, de baixa adaptabilidade (TANI, 1982). Em segundo lugar, a inviabilização do próprio movimento, em função da tentativa de eliminar a variabilidade inerente ao sistema motor, o que acarreta a perda do grau mínimo de liberdade necessário à produção do movimento (CHOSHI, 1980).

Se consistência e variabilidade são reconhecidas como a “marca registrada” de ações habilidosas (CONNOLLY, 1977; GLENCROSS, 1980; TURVEY, 1977), um programa motor deve refletir, na sua estrutura, essas duas características tão importantes. Como essas características aparentemente contraditórias podem ser conciliadas dentro de uma mesma estrutura e como essa estrutura é adquirida com a prática, constituem-se importantes problemas de investigação. Além disso, esses problemas desafiadores necessitam ser abordados levando-se em consideração os três problemas básicos frequentemente atribuídos a todas as teorias de controle motor: armazenagem, novidade e complexidade.

Está claro que a conceituação inicial de programa motor, que enfatizava a execução de movimentos na ausência de *feedback* e implicava

a existência de programas separados para diferentes movimentos, é muito restrita para responder adequadamente aos problemas básicos de controle motor. Uma tentativa para solucionar esses problemas tem sido a idéia de programa motor generalizado proposta no contexto da teoria de esquema (SCHMIDT, 1975). Basicamente, o programa motor generalizado é uma representação abstrata de uma classe de movimentos que requer um padrão comum de movimento. As variações, dentro da classe de movimentos, são produzidas pela aplicação de certos parâmetros ao programa motor generalizado, antes da sua execução. Esses parâmetros são fornecidos por uma estrutura de memória chamada memória de lembrança, que é uma regra desenvolvida pelas experiências passadas na aplicação dos programas (veja SHAPIRO & SCHMIDT, 1982, para maiores detalhes).

De acordo com a visão de programa motor generalizado, a consistência do movimento é possível devido a alguns aspectos invariantes que são representados no programa. O *timing* relativo, o seqüenciamento e a força relativa têm sido identificados como aspectos que permanecem invariantes ao longo das tentativas. Por outro lado, o tempo de movimento, a força total e a seleção de músculos têm sido propostos como parâmetros que são adicionados ao programa motor generalizado para atender às demandas específicas da tarefa, dando uma configuração única a cada padrão de movimento. Os parâmetros não são representados no programa e são responsáveis pela variabilidade de ações motoras (SCHMIDT, 1980, 1985).

A característica generalizada do programa motor é entendida como uma solução para os problemas de armazenamento e novidade no controle motor. Muitos estudos dando sustentação às predições da idéia de programa motor generalizado têm sido relatados na literatura (CARTER & SHAPIRO, 1984; JEANNEROD, 1981; LACQUANITI *et al.*, 1983; SHAFFER, 1980; SHAPIRO, 1977; SHAPIRO *et al.*, 1981; STELMACH *et al.*, 1984; SUMMERS, 1977; TERZUOLO & VIVIANI, 1979, 1980; VIVIANI & TERZUOLO, 1980), mas existem também indicações de alguns problemas e limitações. Por exemplo, existem evidências sugerindo que os aspectos invariantes do movimento podem variar de acordo com o tipo de tarefa a ser executada (por exemplo, unidirecional ou multidirecional), com as demandas específicas da tarefa (por exemplo, movimentos rítmicos ou de apontar) e com a fase de aprendizagem (SUMMERS, 1989). Outras evidências têm sido apresentadas questionando até mesmo a existência de invariância, especifica-

mente em relação ao *timing* relativo (GENTNER, 1982, 1987). Além disso, a ambigüidade relativa à definição dos limites para identificar uma classe de movimentos (SUMMERS, 1989) e a incapacidade para explicar a gênese dos programas motores generalizados (BRINKER *et al.*, 1985), têm sido identificadas como potenciais limitações. Finalmente, assumindo que os valores dos parâmetros são adicionados *a posteriori* para completar o programa selecionado, surge o problema relacionado à maneira como os parâmetros são decididos, e deixa aberta a questão sobre a necessidade ou não de um outro tipo de programa para realizar essas decisões. Naturalmente, isso provoca uma regressão infinita.

Uma outra tentativa para solucionar os problemas anteriormente mencionados tem sido a idéia de controle multiníveis, em que descrições abstratas de uma ação em níveis elevados são transformadas em padrões específicos de movimento em níveis inferiores (GREENE, 1972; TURVEY, 1977). O "executivo" de alto nível especifica as metas fundamentais, ou seja, o *ball-park* da resposta, na linguagem de GREENE (1972), enquanto as decisões sobre os detalhes do movimento são deixadas para estruturas subordinadas, denominadas estruturas coordenativas e sinergias musculares. Essas estruturas têm relativa autonomia de decisão e essa autonomia previne a sobrecarga computacional nos níveis elevados, possibilitando, também, a variabilidade nos padrões de movimento. Enquanto isso, as representações abstratas relativamente estáveis das classes gerais de ações, em níveis elevados, que são independentes das unidades de ação nos níveis inferiores, são responsáveis pela consistência do movimento. Em outras palavras, o "executivo" controla o modo de interação dos centros inferiores e não os centros inferiores em si. O modo de interação, dentro desse contexto, é concebido como um repertório de operações que modifica e relaciona as estruturas coordenativas para produzir todo e qualquer ato (TURVEY, 1977).

Entende-se que esse modo de controle é capaz de resolver o problema dos graus de liberdade e também de reduzir as exigências para a especificação de detalhes num programa motor. Entretanto, algumas dificuldades têm também sido atribuídas à idéia de controle multiníveis de ações motoras. A principal delas parece ser o quão geral (ou específico) pode ser o *ball-park* (GLENCROSS, 1980). Além disso, se os detalhes do movimento são definidos pelos centros inferiores, tais como estruturas coordenativas e sinergias musculares, quão flexíveis seriam essas estrutu-

ras? Como se sabe, quanto mais se desce na estrutura do sistema nervoso, as restrições se tornam mais fortes e os graus de liberdade menores. Por conseguinte, a natureza do sistema nervoso pode dificultar a suposição implícita de flexibilidade nas estruturas inferiores.

Além das limitações inerentes tanto à idéia de programa motor generalizado como de controle de multiníveis, uma importante questão que ainda permanece é quão detalhadas são as especificações num programa motor, mesmo porque a especificação dos detalhes microscópicos do movimento pode reduzir a variabilidade, mas, de modo inverso, pode provocar uma sobrecarga computacional adicional e também uma perda de adaptabilidade. De acordo com BERNSTEIN (1967), os comandos motores não podem ser funcionalmente unívocos em relação aos movimentos a serem produzidos por eles. A relação não-unívocal entre os comandos motores e os padrões de movimento pode ser testemunhada pela variabilidade presente nos finos detalhes de movimentos executados para atingir a mesma meta. Basicamente, essa não-univocalidade é interpretada como uma consequência de dois fatores: a imprevisibilidade das variações ambientais e as características não-lineares dos músculos, implicando diferentes efeitos produzidos pelos comandos motores dependendo de suas condições iniciais (TURVEY *et al.*, 1982). Portanto, a relação não-unívocal é vista como algo incompatível com a noção de um programa motor como representação dos comandos motores responsáveis pelos finos detalhes de movimentos.

Entretanto, essas críticas feitas por seguidores da teoria da ação, particularmente por REED (1982), têm sido consideradas excessivas e simplistas (REQUIN *et al.*, 1984), pois falharam em considerar a evolução do conceito de programa motor, centrando suas críticas na conceituação original apresentada por KEELE (1968). É amplamente reconhecido que o programa motor não especifica a contração de cada músculo (ABBS *et al.*, 1984; REQUIN *et al.*, 1984; TURVEY, 1977). Como se sabe, as versões atuais do conceito assumem que é a ordem das ações e não a ordem das contrações e relaxamentos musculares que é representada (SCHMIDT, 1988). Essa ênfase à característica abstrata do programa nos leva a entender que o conceito de programa de ação é mais apropriado do que o de programa motor, levando-nos a adotá-lo nas nossas elaborações teóricas (TANI, 1995).

Em suma, tanto a idéia de programa motor generalizado como de controle de multiníveis têm sérias limitações para explicar um mecanismo

de controle capaz de lidar com a variabilidade, levando em consideração os três desafios de qualquer proposta teórica, isto é, o armazenamento, a novidade e a complexidade. Há, portanto, a necessidade de propostas alternativas para tentar solucionar esse difícil dilema.

PROGRAMA DE AÇÃO HIERARQUICAMENTE ORGANIZADO

Considerando que o problema central é como conciliar consistência e variabilidade numa mesma estrutura, a questão básica parece ser como lidar com o problema da variabilidade na organização de ações motoras. Como se sabe, no passado, a variabilidade foi considerada um aspecto do padrão de movimentos que necessitava ser reduzido ou até mesmo eliminado para que a consistência pudesse ser alcançada. Todavia, as abordagens recentes têm enfatizado o papel construtivo da variabilidade na organização de ações motoras (veja, por exemplo, NEWELL & CORCOS, 1993; MANOEL & CONNOLLY, 1995), e essa tendência é, na realidade, o reflexo de uma tendência mais geral – na ciência como um todo – em reconsiderar o papel dos fatores relacionados à desordem, como variabilidade, instabilidade e flutuações em sistemas dinâmicos (veja, por exemplo, CONRAD, 1983; HAKEN, 1977; JANTSCH, 1980; KAUFFMAN, 1992; PRIGOGINE & STENGERS, 1984; YATES, 1987).

Inspirados nas idéias de organização hierárquica em sistemas abertos (por exemplo, BERTALANFFY, 1968; KOESTLER, 1967; PATTEE, 1973) e de sistemas adaptativos complexos (por exemplo, HOLLAND, 1995; KAUFFMAN, 1992; LEWIN, 1993; WALDROP, 1992), em que a coexistência de ordem e desordem numa mesma estrutura é assumida como um conceito explanatório fundamental, temos proposto a idéia de uma organização hierárquica para um programa de ação estruturado em dois níveis: macro e micro (MANOEL & CONNOLLY, 1995, 1997; TANI, 1995). A macroestrutura de um programa de ação refere-se ao padrão que emerge a partir da interação dos componentes, e a microestrutura corresponde aos próprios componentes. A macroestrutura, nessa proposta, é entendida como sendo orientada à ordem e seria responsável pela consistência de ações habilidosas.

A microestrutura, por sua vez, seria orientada à desordem, dando origem à variabilidade. Isso significa que, quando um programa de ação é

elaborado, um número de alternativas está disponível em relação a cada componente que irá constituir a sua estrutura. Vista dessa forma, a microdesordem poderia ser entendida como um tipo de redundância do sistema garantindo a flexibilidade do programa de ação que, por sua vez, resultaria na variabilidade presente nos padrões de movimento. Cada componente, numa estrutura hierárquica de um programa de ação, não significaria, portanto, a representação de uma unidade rígida e estereotipada de ação, mas sim algo que permite uma extensão de variação. Na realidade, essas variações de cada componente podem ser vistas como estruturas em si mesmas que foram desenvolvidas pela experiência passada, como resultado de mudanças na alocação de parâmetros como tempo, força e deslocamento à estrutura básica.

Uma questão fundamental é como a macroestrutura é inicialmente formada e então refinada com a prática (TANI, 1995). Nas fases iniciais da aprendizagem, a macroestrutura deverá ser inconsistente. Ela deverá ser mal definida em termos de organização espacial e temporal, o que implica um excesso de graus de liberdade no comportamento de cada componente e também uma alta variabilidade na interação entre eles. Isso caracterizaria um estado em que tanto a macro quanto a microestrutura estariam desordenadas. Na verdade, a variabilidade na microestrutura, nessa fase de aprendizagem, significaria inconsistência e deveria ser adequadamente controlada pela macroestrutura, para que a consistência possa ser alcançada. A macroestrutura deve ser formada e desenvolvida, e a sua consistência seria aumentada à medida que o padrão de interação entre os componentes se tornasse bem estabelecido. Portanto, é importante reconhecer que a macroestrutura não seria uma entidade pré-organizada, rígida e bem definida que surge de algum lugar e determina como os componentes devem interagir. Ela pode ser mais bem entendida como uma ordem global emergente que resulta do inter-relacionamento dinâmico dos elementos constituintes que, por sua vez, retroalimenta e influencia o comportamento dos componentes (TANI, 1995).

É possível compreender que as informações fornecidas por fontes externas como instruções e demonstrações, e mesmo as observações de um padrão-critério, poderiam contribuir para o início da formação da macroestrutura, mas ela se desenvolveria, fundamentalmente, como resultado da prática e *feedback* em que a interação macro-micro poderia

acontecer tanto de cima para baixo (*top-down*) como de baixo para cima (*bottom-up*). A macroestrutura seria, ao mesmo tempo, causa e efeito da padronização na microestrutura (TANI, 1995).

De acordo com essa visão, a macroestrutura estabeleceria restrições sobre a microestrutura, de modo que o aumento de consistência na primeira provocaria redução de graus de liberdade na segunda. Entretanto, é importante enfatizar que o princípio da redução de graus de liberdade, quando aplicado à microestrutura, deve ser visto como algo relativo, mesmo porque uma excessiva redução dos graus de liberdade na microestrutura pode causar uma perda de flexibilidade no programa de ação, reduzindo a sua capacidade de adaptar-se às demandas ambientais (CHOSHI, 1980, 1984). Portanto, quando a macroestrutura se torna bem estruturada, como resultado da prática, isso não significa que a variabilidade é eliminada. Ao contrário, isso significa que os graus de liberdade da microestrutura foram reduzidos até certo ponto mas ainda mantêm um nível ótimo de variabilidade.

Uma série de estudos, realizada no Laboratório de Comportamento Motor da Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo, tem utilizado uma tarefa motora de reprodução de padrões gráficos com o propósito de investigar a organização de um programa de ação que contemple ao mesmo tempo essas duas características aparentemente contraditórias. Nesses estudos, é assumido que os aspectos invariantes de ações habilidosas expressam a macroestrutura de um programa de ação e, nesse sentido, o seqüenciamento, a dimensão relativa, o *timing* relativo e o tempo relativo de pausa têm sido selecionados como suas medidas representativas. A microestrutura, por outro lado, é entendida como sendo relacionada a aspectos variantes, de modo que a dimensão total, o tempo total de movimento e o tempo total de pausa têm sido considerados como suas medidas.

Embora as interpretações de aspectos variantes e invariantes mudem de acordo com a posição teórica adotada (veja, por exemplo, as diferentes interpretações de *timing* relativo feitas por SCHMIDT, 1985 e por ZANONE & KELSO, 1991), a existência desses aspectos na organização de ações habilidosas tem sido fortemente sustentada por evidências empíricas (KELSO *et al.*, 1979; SCHMIDT, 1980, 1985). Nesses estudos, *timing* relativo, força relativa e seqüenciamento têm sido identificados como aspectos que permanecem relativamente inalterados ao longo das tentativas. Por outro lado, tempo de movimento, força total e seleção de músculos têm

sido considerados aspectos que mudam de tentativa para tentativa.

Vale lembrar que GENTNER (1982) foi crítico quanto à invariância do *timing* relativo reportada em estudos clássicos como o de VIVIANI & TERZUOLO (1980). Entretanto, seguindo os argumentos de HEUER (1988, 1991), os estudos conduzidos em nosso laboratório têm adotado uma concepção de invariância no sentido probabilístico (relativo). Nesse sentido, é importante enfatizar que não tem havido interesse em descobrir se há aspectos variantes e invariantes na organização de ações motoras, mas sim em saber como esses aspectos mudam como consequência da prática. Os resultados têm sido, de forma geral, favoráveis às predições e têm dado sustentação à proposição de um programa de ação organizado hierarquicamente (TANI, 1995, 1998).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBS, J.H.; GRACCO, V.L.; COLE, K.J. Control of multimovement coordination: Sensorimotor mechanisms in speech motor programming. *Journal of Motor Behavior*, v.16, p.195-231, 1984.
- BARTLETT, F.C. *Remembering*. Cambridge, Cambridge University Press, 1932.
- BELEN'KII, V.Y.; GURFINKEL, V.S.; PAL'TSEV, Y.I. Elements of control of voluntary movements. *Biophysics*, v.12, p.154-61, 1967.
- BERKINBLIT, M.B.; FELDMAN, A.G.; FUKSON, O.I. Adaptability of innate motor patterns and motor control mechanisms. *The Behavioral and Brain Sciences*, v.9, p.585-638, 1986.
- BERNSTEIN, N. *The co-ordination and regulation of movements*. Oxford, Pergamon Press, 1967.
- BERTALANFFY, L.VON *General systems theory*. Nova Iorque, George Braziller, 1968.
- BRINKER, B.P.L.M. DEN; STABLER, J.R.L.W.; WHITING, H.T.A.; WIERINGEN, P.C.W.V. A multidimensional analysis of some persistent problems in motor learning. In: GOODMAN, D; WILBERG, R.B.; FRANKS, I.M., eds. *Differing perspectives in motor learning, memory, and control*. Amsterdã, North-Holland, 1985.
- CARTER, M.C.; SHAPIRO, D.C. Control of sequential movements: Evidence for generalised motor programs. *Journal of Neurophysiology*, v.52, p.787-96, 1984.
- CHOSHI, K. Freedom and constraints of children's movements. *Memoirs of the Child Education Research*, v.55, p.29-37. (em japonês), 1980.
- CHOSHI, K. *Thinking of health movement education*. Tóquio, Meiji Tosho (em japonês), 1984.
- COLLEY, A.M. Cognitive motor skills. In: HOLDING, D.H., ed. *Human skills*. 2.ed. Chichester, Wiley, 1989.
- CONNOLLY, K.J. The nature of motor skill development. *Journal of Human Movement Studies*, v.3, p.128-43, 1977.
- CONRAD, M. *Adaptability: the significance of variability from molecule to ecosystem*. Nova Iorque, Plenum Press, 1983.

- GENTNER, D.R. Evidence against a central control model of timing in typing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, v.8, p.793-810, 1982.
- GENTNER, D.R. Timing of skilled motor performance: Tests of the proportional duration model. *Psychological Review*, v.94, p.255-76, 1987.
- GLENCROSS, D.J. Levels and strategies of response organisation. In: STELMACH, G.E.; REQUIN, J., eds. *Tutorials in motor behavior*. Amsterdã, North-Holland, 1980.
- GREENE, P.H. Problems of organization of motor systems. In: ROSEN, R.; SNELL, F.M., eds. *Progress in theoretical biology*. Nopva Iorque, Academic Press, 1972. v.2.
- HAKEN, H. *Synergetics*. Heidelberg, Springer-Verlag, 1977.
- HENRY, F.M.; ROGERS, D.E. Increased response latency for complicated movements and a "memory drum" theory of neuromotor reaction. *Research Quarterly*, v.31, p.448-58, 1960.
- HEUER, H. Testing the invariance of relative timing: Comment on Gentner (1987). *Psychological Review*, v.95, p.552-7, 1988.
- HEUER, H. Invariant relative timing in motor program theory. In: FAGARD, J.; WOLFF, P.H., eds. *The development of timing control and temporal organization in coordinated action*. Amsterdã, North-Holland, 1991.
- HOLLAND, J.H. *Hidden order: How adaptation builds complexity*. Nova Iorque, Addison-Wesley Publishing, 1995.
- JANTSCH, E. *The self-organising universe: Scientific and human implications of an emerging paradigm of evolution*. Oxford, Pergamon Press, 1980.
- JEANNEROD, M. Intersegmental coordination during reaching at natural visual objects. In: LONG, J.; BADDELEY, A., eds. *Attention and performance*. Hillsdale, Nova Jérsei, Lawrence Erlbaum, 1981.
- KAUFFMAN, S. *The origins of order: self-organization and selection in evolution*. Oxford, Oxford University Press, 1992.
- KEELE, S.W. Movement control in skilled performance. *Psychological Bulletin*, v.70, p.387-403, 1968.
- KEELE, S.W. Behavioral analysis of movement control. In: BROOKS, V., ed. *Handbook of physiology: Section 1 - The nervous system, Volume II, Motor control*. Bethesda, American Physiological Society, 1981.
- KEELE, S.W.; COHEN, A.; IVRY, R. Motor programs: Concepts and issues. In: JEANNEROD, M., ed. *Attention and performance XIII*. Hillsdale, Nova Jérsei, Lawrence Erlbaum, 1990.
- KELSO, J.A.S.; SOUTHARD, D.L.; GOODMAN, D. On the nature of interlimb coordination. *Science*, v.203, p.1029-31, 1979.
- KOESTLER, A. *The ghost in the machine*. Londres, Hutchinson, 1967.
- KUGLER, P.N.; KELSO, J.A.S.; TURVEY, M.T. On the concept of coordinative structures as dissipative structures: I. Theoretical lines of convergence. In: STELMACH, G.E.; REQUIN, J., eds. *Tutorials in motor behavior*. Amsterdã, North-Holland, 1980.
- KUGLER, P.N.; KELSO, J.A.S.; TURVEY, M.T. On coordination and control in naturally developing systems. In: KELSO, J.A.S.; CLARK, J.E., eds. *The development of movement control and coordination*. Nova Iorque, Wiley, 1982.
- LACQUANITI, F.; TERZUOLO, C.; VIVIANI, P. The law relating the kinematic and figural aspects of drawing movements. *Acta Psychologica*, v.54, p.115-30, 1983.

- LASHLEY, K.S. The accuracy of movement in the absence of excitation from the moving organ. *The American Journal of Physiology*, v.43, p.169-94, 1917.
- LASHLEY, K.S. The problem of serial order in behavior. In: JEFFRESS, L.A., ed. *Cerebral mechanisms in behavior: The Nixon Symposium*. Nova Iorque, Wiley, 1951.
- LEWIN, R. *Complexity: life on the edge of chaos*. Londres, Phoenix, 1993.
- MANOEL, E.J.; CONNOLLY, K.J. Variability and the development of skilled actions. *International Journal of Psychophysiology*, v.19, p.129-47, 1995.
- MANOEL, E.J.; CONNOLLY, K.J. Variability and stability in the development of skilled actions. In: CONNOLLY, K.J.; FORSSBERG, H., eds. *Neurophysiology and neuropsychology of motor development*. London, MacKeith Press, 1997.
- MARTENIUK, R.G.; MACKENZIE, C.L.; LEAVITT, J.L. Representational and physical accounts of motor control and learning: Can they account for the data? In: COLLEY, A.M.; BEECH, J.R., eds. *Cognition and action in skilled behavior*. Amsterdã, North-Holland, 1988.
- MEIJER, O.G.; ROTH, K., eds. *Complex movement behaviour: the motor-action controversy*. Amsterdã, North-Holland, 1988.
- NEWELL, K.M.; CORCOS, D.M., eds. *Variability and motor control*. Champaign, Illinois, Human Kinetics, 1993.
- PATTEE, H.H., ed. *Hierarchy theory: The challenge of complex systems*. Nova Iorque, George Braziller, 1973.
- PRIGOGINE, I.; STENGERS, I. *Order out of chaos: Man's new dialog with nature*. Nova Iorque, Bantam Books, 1984.
- REED, E.S. An outline of a theory of action systems *Journal of Motor Behavior*, v.14, p.98-134, 1982.
- REQUIN, J. From action representation to movement control. In: STELMACH, G.E.; REQUIN, J., eds. *Tutorials in motor behavior II*. Amsterdã, North-Holland, 1992.
- REQUIN, J.; BRENER, J.; RING, C. Preparation for action. In: JENNINGS, J.R.; COLES, M.G.H., eds. *Handbook of cognitive psychophysiology: Central and autonomic nervous system approaches*. Nova Iorque, Wiley, 1991.
- REQUIN, J.; SEMJEN, A.; BONNET, M. Bernstein's purposeful brain. In: WHITING, H.T.A., ed. *Human motor actions: Bernstein reassessed*. Amsterdã, North-Holland, 1984.
- ROSENBAUM, D.A. Motor programming: A review and scheduling theory. In: HEUER, H.; KLEINBECK, U.; SCHMIDT, K.H. eds. *Motor behavior: Programming, control and acquisition*. Berlim, Springer-Verlag, 1985.
- SCHMIDT, R.A. A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review*, v.82, p.225-60, 1975.
- SCHMIDT, R.A. Past and future issues in motor programming. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, v.51, p.122-40, 1980.
- SCHMIDT, R.A. The search of invariance in skilled movement behavior. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, v.56, p.188-200, 1985.
- SCHMIDT, R.A. Motor and action perspectives on motor behaviour. In: MEIJER, O.G.; ROTH, K. eds. *Complex movement behaviour: The motor action controversy*. Amsterdã, North-Holland, 1988.
- SHAFFER, L.H. Analysing piano performance: a study of concert pianists. In: STELMACH, G.E.; REQUIN, J., eds. *Tutorials in motor behavior*. Amsterdã, North-Holland, 1980.
- SHAPIRO, D.C. A preliminary attempt to determine the duration of a motor program. In: LANDERS, D.M.; CHRISTINA, R.W. eds. *Psychology of motor behavior and sport*. Champaign, Illinois, Human Kinetics, 1977.
- SHAPIRO, D.C.; SCHMIDT, R.A. The schema theory: Recent evidence and developmental implications. In: KELSO, J.A.S.; CLARK, J.E., eds. *The development of movement control and coordination*. Nova Iorque, Wiley, 1982.
- SHAPIRO, D.C.; ZERNICKE, R.F.; GREGOR, R.J.; DIESTEL, J.D. Evidence for generalized motor programs using gate pattern analysis. *Journal of Motor Behavior*, v.13, p.33-47, 1981.
- STELMACH, G.E.; MULLINS, P.A.; TEULINGS, H.L. Motor programming and temporal patterns in handwriting. In: GIBBONS, J.; ALLAN, L., eds. *Timing and time perception*. Annals of the New York Academy of Sciences, v.423, p.144-57, 1984.
- SUMMERS, J.J. The relationship between the sequencing and timing components of a skill. *Journal of Motor Behavior*, v.9, p.49-59, 1977.
- SUMMERS, J.J. Motor programs. In: HOLDING, D.H. ed. *Human skills*. 2.ed. Chichester, Wiley, 1989.
- TANI, G. Adaptive process in perceptual-motor skill learning. Hiroshima, 1982. Unpublished Dissertation Doctoral - Faculty of Education, Hiroshima University.
- TANI, G. Hierarchical organization of an action programme and the development of skilled actions. Unpublished Technical Report. Sheffield: University of Sheffield, Department of Psychology, 1995.
- TANI, G. Organização hierárquica de um programa de ação na aquisição de habilidades motoras gráficas em crianças. Relatório Técnico Final / Bolsa de Produtividade em Pesquisa. Brasília: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, 1998.
- TERZUOLO, C.A.; VIVIANI, P. The central representation of learning motor programs. In: TALBOT, R.E.; HUMPHREY, D.R., eds. *Posture and movement*. Nova Iorque, Raven, 1979.
- TERZUOLO, C.A.; VIVIANI, P. Determinants and characteristics of motor patterns used for typing. *Neuroscience*, v.5, p.1085-103, 1980.
- TURVEY, M.T. Preliminaries to theory of action with reference to vision. In: SHAW, R.; BRANDFORD, J., eds. *Perceiving, acting and knowing: toward an ecological psychology*. Hillsdale, Nova Jérsei, Lawrence Erlbaum, 1977.
- TURVEY, M.T.; FITCH, H.L.; TULLER, B. The Bernstein perspective I: The problems of degrees of freedom and context-conditioned variability. In: KELSO, J.A.S., ed. *Human motor behavior: An introduction*. Hillsdale, Nova Jérsei, Lawrence Erlbaum, 1982.
- VAN WIERINGEN, P.C.W. Kinds and levels of explanation: Implications to the motor systems versus action systems controversy. In: MEIJER, O.G.; ROTH, K., eds. *Complex movement behaviour: The motor-action controversy*. Amsterdã, North-Holland, 1988.
- VIVIANI, P.; TERZUOLO, C.A. Space-time invariance in learned motor skills. In: STELMACH, G.E.; REQUIN, J., eds. *Tutorials in motor behavior*. Amsterdã, North-Holland, 1980.
- WALDROP, M.M. *Complexity: The emerging science at the edge of order and chaos*. Londres, Penguin Books, 1992.
- WRIGHT, C.A. Generalized motor programs: Reexamining claims of effector independence in writing. In: JEANNEROD, J., ed. *Attention and performance*. XIII. Hillsdale, Nova Jérsei, Lawrence Erlbaum, 1990.

- YATES, E.F., ed. *Self-organizing systems: The emergence of order*. Nova Iorque, Plenum Press, 1987.
- ZANONE, P.G.; KELSO, J.A.S. Relative timing from the perspective of dynamic pattern theory: Stability and instability. In: FAGARD, J.; WOLFF, P.H., eds. *The development of timing control and temporal organization in coordinated action*. Amsterdã, North-Holland, 1991.