

## RELAÇÃO VELOCIDADE-ACURÁCIA EM TAREFA DE CONTORNAR FIGURAS GEOMÉTRICAS E TRAÇAR LINHAS

### SPEED-ACCURACY TRADEOFF IN TASKS OF DRAWING GEOMETRIC FIGURES AND LINES

Victor Hugo Alves Okazaki\*  
Camila Rodrigues Fiuza\*\*  
Rubens Rodrigues da Silva\*\*\*  
Juliana Bayeux Dascal\*\*\*\*  
Iverson Ladewig

#### RESUMO

O paradigma da relação inversa velocidade-accurácia foi analisado em dois experimentos, através da lei de Fitts, em tarefas simuladas em computador. O experimento I analisou a tarefa de contornar figuras geométricas (triângulo, quadrado e círculo), manipulando o perímetro da figura e a espessura da linha e fornecendo índices de dificuldade (ID) entre 1,25 e 2,15 bits. O experimento II analisou a tarefa de traçar linhas, manipulando o comprimento, a espessura e o ângulo de inclinação da linha (0°, 45°, 90°, 135° e 180°), fornecendo IDs entre 3,5 e 7,5 bits. Uma regressão linear analisou a relação entre tempo de movimento (TM) e os IDs. Foram verificados coeficientes de determinação superiores a 0,9 ( $R^2 > 0,9$ ) para a relação TM x ID no experimento I e II. Tais resultados forneceram suporte para a lei de Fitts no desempenho das tarefas simuladas em computador de contornar figuras geométricas e de traçar linhas.

**Palavras-chave:** Lei de Fitts. Relação velocidade-accurácia. Tarefa de contornar figuras geométricas. Tarefa de traçar linhas. Controle motor.

#### INTRODUÇÃO

Estudos em comportamento motor têm verificado uma relação inversa entre velocidade e acurácia no movimento (SOUKOREFF; MACKENZIE, 2004; ELLIOTT et al., 2001; MOTTE et al., 2001). Esta relação, caracterizada pela interferência negativa da velocidade de um determinado movimento em sua acurácia, pode ser facilmente observada no cotidiano (colocar a linha em uma agulha, por exemplo), ou nos esportes (o saque no tênis ou no voleibol). Este paradigma foi descrito por Fitts (1954), em um experimento que utilizou três tarefas de acurácia (toques alternados, transferência de pinos e de discos), quantificando o tempo do movimento e manipulando variáveis, tais como distância e largura dos alvos. Estas tarefas forneceram elementos para que Fitts, baseado na teoria da

informação, analisasse o desempenho humano em função da capacidade limitada de transmissão de informação.

Por meio da teoria da informação (MILLER, 1953; PIERCE, 1961; SHANNON, 1948; SHANNON; WEAVER, 1949) foi levantada a hipótese de que a capacidade de transmissão da informação fixa do sistema motor possibilita um caminho para analisar a relação entre a distância ( $D$ ), o tamanho do alvo ( $A$ ) e o tempo de movimento ( $TM$ ). Assim, a restrição ou dificuldade de uma tarefa de movimento poderia ser mensurada em bits no qual a informação seria transmitida através de um canal de comunicação estocástico de ruído que modela o comportamento do sistema motor humano (Fitts, 1954). Fitts adaptou o teorema 17 de Shannon (1948), que expressa a capacidade de informação efetiva  $C$  (em bits/segundo) de um

\* Professor Doutor da Universidade Estadual de Londrina (UEL).

\*\* Discente do curso de Especialização em Aprendizagem Motora da Universidade de São Paulo (USP).

\*\*\* Professora Doutora da Universidade Estadual de Londrina (UEL).

\*\*\*\* Professor Doutor da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

canal com comprimento de banda  $B$  (em Hz), como  $C = B \log_2((S + N) / N)$ , em que  $N$  é a potência do ruído e  $S$  é a potência do sinal. Fitts afirmou que, em taxa máxima de transmissão da informação (por exemplo, realizar um movimento com maior velocidade possível), o sistema motor humano se comporta de acordo com uma relação logarítmica por meio da seguinte adaptação no teorema  $1/TM$  com  $B$ ,  $2D$  com  $S + N$ , e  $A$  com  $N$  para obter a relação de troca velocidade-accurácia proposta na equação:  $MT = a + b \log_2(2D/A)$ , no qual  $a$  e  $b$  são constantes empíricas, e o logaritmo de  $2D/A$  foi chamado de índice de dificuldade ( $ID$ ).

Fitts proporcionou suporte para sua hipótese demonstrando que o tempo de movimento aumentou proporcionalmente ao acréscimo no índice de dificuldade ( $ID$ ), através do aumento na distância do movimento ou na diminuição do tamanho do alvo. Assim, quanto maior a demanda de accurácia na tarefa, menor a velocidade no movimento. Diversos estudos deram suporte a esta relação direta entre o  $ID$  e o  $TM$  analisando, por exemplo, movimentos discretos de contato com um alvo (FITTS; PETERSON, 1964; MACKENZIE et al., 1987), movimentos cíclicos (FITTS, 1954), de agarrar (BOOTSMA et al, 1994), movimentos usando mouse em computador (ACCOT; ZHAI, 2003; LAMBERT; BARD, 2005; OKAZAKI et al., 2008), movimentos bimanuais (MOTTET et al., 2001) e de flexão de punho (CROSSMAN; GOODEVE, 1963/1983). Por ser um dos fenômenos mais consistentes em comportamento motor, esta relação passou a ser conhecida como Lei de Fitts; porém a maioria dos estudos que analisaram a lei de Fitts foram limitados a tarefas laboratoriais simples (Mottet et al., 2001) e unidimensionais (RIVAL et al., 2003), além de possuírem pouca validade ecológica. Destarte, análises de tarefas próximas às realizadas no cotidiano, como as de escrever e desenhar utilizando-se o mouse em computador, podem auxiliar na compreensão de fatores ainda não contemplados na formulação de Fitts (1954).

Uma característica do desempenho de habilidades motoras é a mudança de direção que ocorre ao longo dos movimentos. Por exemplo, quando se está escrevendo, os movimentos de um lápis devem contemplar diversas mudanças de direção a fim de resultar na estrutura gráfica que define as letras, as palavras e as frases.

Estas mudanças de direção constituem uma restrição espacial específica à tarefa que não foi analisada na Lei de Fitts (1954). A mudança de direção poderia ser realizada por meio da diminuição na velocidade, para aumentar o *feedback* sensorial e conseguir completar o movimento dentro dos parâmetros necessários de accurácia para realizar a tarefa. Por outro lado, o sistema também poderia ser capaz de pré-programar o movimento (*feedforward*) definindo os parâmetros de controle necessários para desempenhar as tarefas sem sofrer o efeito das restrições impostas por mudanças de direção ao longo do percurso realizado. Infelizmente não se têm feito estudos sobre o paradigma velocidade-accurácia em tarefas de desenhar, escrever ou contornar figuras geométricas que permitiu a análise destes fatores no tocante ao controle do movimento.

Interessante que a tarefa de contornar figuras geométricas permite a manipulação das mesmas variáveis controladas por Fitts, como a distância do movimento através do tamanho no perímetro da figura e o tamanho do alvo por meio da espessura da linha da figura, pois, sendo assim, pela tarefa de contornar figuras geométricas seria possível analisar a robustez da lei de Fitts em tarefas motoras bidimensionais de restrição espacial, bem como fazer a análise de movimentos com mudanças de direção através da manipulação na forma das figuras. Por exemplo, assim como um triângulo equilátero possui em seus vértices ângulos mais agudos do que os ângulos nos vértices de um quadrado, seriam esperadas maiores restrições espaciais em figuras com ângulos que demandem maior mudança de direção, pois necessitam de maior controle da accurácia por meio da regulação das forças de aceleração e desaceleração no movimento (FIUZA; OKAZAKI, 2009). Também um círculo, que não possui mudanças de direção abruptas para seu contorno, forneceria ainda menor restrição ao movimento. Outra particularidade é o fato de que, na tarefa de contornar figuras geométricas, em função do tempo para realizar a tarefa e das restrições espaciais impostas, há maior possibilidade para a utilização do *feedback* durante seu desempenho. Disso se pode inferir que a análise da robustez da lei de Fitts em tarefa de contornar figuras geométricas em computador tem potencial para o entendimento de classes de habilidades antes não investigadas no paradigma.

Neste sentido, o presente estudo analisou a lei de Fitts, expressa através da relação  $TM \times ID$ , em tarefa de restrição espacial simulada por computador. Para tanto foram realizados dois experimentos, a saber: (I) manipulação de diferentes figuras geométricas (círculo, triângulo e quadrado) que foram contornadas; e (II) manipulação de diferentes ângulos de inclinação ( $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $180^\circ$  e  $360^\circ$ ) de linhas que foram traçadas. Ademais, foram manipulados os tamanhos das figuras/linhas (relativos à distância de movimento) e a espessura das linhas (relativa ao tamanho do alvo). Foi levantada a hipótese de que a lei de Fitts será suficientemente robusta para explicar a relação  $TM \times ID$  nos dois experimentos. Em conjunto, os resultados do presente estudo têm potencial para a análise da robustez da lei de Fitts em tarefas com restrição espacial em duas dimensões, além de compreender o efeito de diferentes inclinações sobre o desempenho no movimento.

## MÉTODOS

### Experimento I

Participaram do primeiro experimento nove meninos e onze meninas, com idades entre 12 e 13 anos ( $M = 12,9$ ;  $DP = 0,31$ ), usuários regulares de computador como recurso didático e de lazer por pelo menos seis horas semanais. Seus pais ou responsáveis pelos sujeitos assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido autorizando sua participação no estudo. A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade local (Parecer n.º 272/09, CAAE n.º 0212.0.268.000-09).

A tarefa foi realizada em um computador (Notebook Positivo V43), com um *mouse* óptico (Multilaser 800-USB) através do software *Draw Task v1.5* (OKAZAKI, 2007). Este *software* permitiu manipular a forma da figura (quadrado, triângulo e círculo), a espessura da linha da figura (14, 28 e 56 pixels) e o perímetro da figura (500, 750 e 1000 pixels), como também quantificar o tempo de movimento. A combinação das espessuras de linha e dos perímetros das figuras resultou em 27 condições, com índices de dificuldade (FITTS, 1954) variando entre 1,25 e 2,15 bits. Os sujeitos foram posicionados em frente ao computador de

forma confortável, com o monitor um pouco abaixo da altura dos olhos e o *mouse* colocado ao lado direito do computador (todos eram sujeitos destros).

A tarefa consistiu em percorrer com o *mouse* o perímetro de diferentes figuras geométricas o mais rápida e precisamente possível. A tarefa iniciou com o segurar do clique do *mouse* sobre uma das extremidades da figura (inferior esquerda), contornando a figura no sentido horário, e terminou com o soltar do clique do *mouse* na mesma posição inicial demarcada. Os sujeitos foram instruídos a manter o cursor do *mouse* sobre a linha da figura até realizar uma volta completa em torno dela. Todas as tentativas em que o cursor do *mouse* não se colocou sobre a região delimitada pela espessura da linha foram desconsideradas e, logo após, repetidas, até que a demanda da restrição espacial fosse atendida. As sequências das tentativas com as figuras (forma, espessura de linha e perímetro) foram randomizadas através de um quadrado de Williams adaptado.

Um período de familiarização com o programa permitiu a realização de três tentativas para cada figura, com espessura e tamanho diferentes em cada uma delas. Posteriormente, foram realizadas três tentativas para cada condição experimental, com diferentes figuras, espessuras de linha e perímetros, totalizando 81 tentativas. A média das três tentativas foi utilizada para representar cada condição experimental. Para analisar a relação velocidade-accurácia, o índice de dificuldade ( $ID = \log_2(2D/A)$ ) foi calculado (FITTS, 1954) e associado com o tempo de movimento. Para tal, uma análise de regressão linear foi utilizada com um nível de significância estabelecido em  $p = 0,05$ . A análise estatística foi realizada por meio do *software* SPSS (v.13).

## RESULTADOS DO EXPERIMENTO I

A análise de regressão linear demonstrou uma associação  $TM \times ID$  com  $R^2 = 0,956$  para o círculo ( $F_{1,7} = 151,57$ ;  $p < 0,001$ );  $R^2 = 0,905$  para o triângulo ( $F_{1,7} = 66,32$ ;  $p < 0,001$ ); e,  $R^2 = 0,912$  para o quadrado ( $F_{1,7} = 72,25$ ;  $p < 0,001$ ). Esta associação forte e significativa entre o  $TM$  e o  $ID$  e nas figuras analisadas (Figura 1 e Tabela 1) demonstrou que  $TM$  pode ser predito pelo  $ID$

também na tarefa de contornar figuras geométricas.

Uma análise descritiva e qualitativa dos resultados do TM em função do ID sugere que as formas geométricas das figuras não tiveram efeito sobre a magnitude do tempo de movimento, pois os valores de TM se aproximaram muito, independentemente das

características geométricas das figuras (número e ângulos nos vértices). Estes resultados sugerem que a restrição espacial do tamanho do alvo (espessura da linha) e da distância do movimento (perímetro da figura) impôs maior restrição ao movimento do que outros parâmetros do movimento como, por exemplo, a mudança de direção.

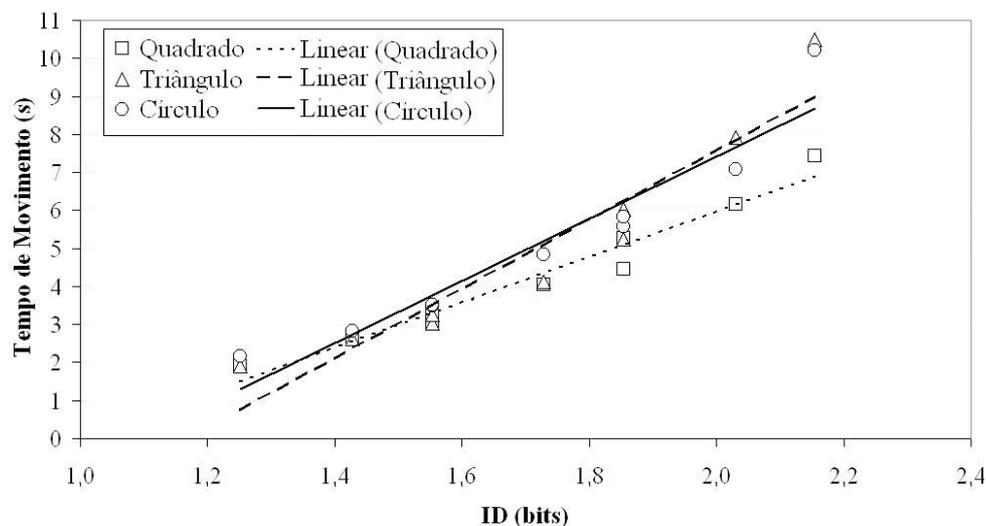


Figura 1 - Relação TM x ID para as figuras quadrado, triângulo e círculo.

Tabela 1 - Associação TM x ID na tarefa de contornar desenhos geométricos.

Figura	ID (bits)	Espessura da linha (pixels)	Perímetro da figura (pixels)	TM (seg.)	Desvio Padrão	Análise de Regressão Linear
Círculo	1.25	56	500	2.18	0.83	<b>TM x ID</b>
	1.43	56	750	2.82	0.98	$r = 0,978$
	1.55	28	500	3.50	1.42	$R^2 = 0,956$
	1.55	56	1000	3.51	1.20	
	1.73	28	750	4.84	1.95	$F_{1,7} = 151,57$
	1.85	14	500	5.57	2.05	$p < 0,001$
	1.85	28	1000	5.84	1.89	
	2.03	14	750	7.07	3.03	$y = 5,9662x - 5,9687$
	2.15	14	1000	10.22	4.79	
	Triângulo	1.25	56	500	1.92	0.85
1.43		56	750	2.63	1.36	$r = 0,951$
1.55		28	500	3.03	1.20	$R^2 = 0,905$
1.55		56	1000	3.27	1.23	
1.73		28	750	4.13	1.55	$F_{1,7} = 66,32$
1.85		14	500	5.25	1.86	$p < 0,001$
1.85		28	1000	6.05	2.27	
2.03		14	750	7.93	3.28	$y = 9,1172x - 10,643$
2.15		14	1000	10.48	3.85	
Quadrado		1.25	56	500	1.91	0.71
	1.43	56	750	2.69	0.96	$r = 0,955$
	1.55	28	500	3.00	1.11	$R^2 = 0,912$
	1.55	56	1000	3.25	1.42	
	1.73	28	750	4.06	1.46	$F_{1,7} = 72,25$
	1.85	14	500	4.44	1.49	$p < 0,001$
	1.85	28	1000	5.27	2.10	
	2.03	14	750	6.16	2.31	$y = 8,1721x - 8,9299$
	2.15	14	1000	7.43	2.32	

## Experimento II

Participaram do segundo experimento quinze adultos jovens com idades entre 18 e 25 anos ( $M=20$  anos e  $DP=2,83$ ), usuários regulares de computador em aproximadamente 4h/dia ( $M=4,75$  horas/dia;  $DP=1,24$ ). Após serem informados dos procedimentos, os sujeitos assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido de participação.

Os sujeitos ficaram sentados em uma cadeira em frente à mesa, estando a tela (14,4 polegadas) de um computador (notebook ACER Aspire 3050) posicionada à altura de seus olhos. O braço direito ficou apoiado sobre a mesa, segurando o *mouse* óptico (Multilaser 800-USB) no lado direito (todos os sujeitos eram destros) do computador, para realizar a tarefa. O *software Trace Task v.1.0* (Okazaki, 2008) permitiu a manipulação de variáveis como o tamanho (79,4 pxl, 119,1 pxl e 158,8 pxl), a espessura (2,45 pxl, 4,9 pxl e 9,8 pxl) e a inclinação das linhas (ângulos), além de fornecer o tempo de movimento na tarefa. A combinação das espessuras e do tamanho das linhas forneceu índices de dificuldade (FITTS, 1954) variando entre 4 e 7 bits. A tarefa consistiu em contornar as linhas com o cursor do *mouse* com a maior rapidez e acurácia possíveis. Foram utilizados ângulos de  $0^\circ$  (linha reta sem inclinação),  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ , e  $180^\circ$  (ir até a metade do percurso e voltar). As mudanças apresentadas na direção do movimento foram dispostas na porção medial da trajetória definida pelo *software*. As diferentes condições experimentais foram randomizadas e foram feitas três tentativas para representar uma média de cada condição.

A tarefa iniciava quando o cursor do *mouse* estava sobre a linha e terminava quando o *mouse* saía das delimitações da linha. Foram realizadas três tentativas em três condições aleatórias como adaptação. As seguintes instruções e informações foram fornecidas aos sujeitos: (a) realizar o movimento mais rápido e preciso possível; (b) se o cursor sair da área delimitada a tentativa será desconsiderada e repetida; (c) quando o cursor passa à outra extremidade o

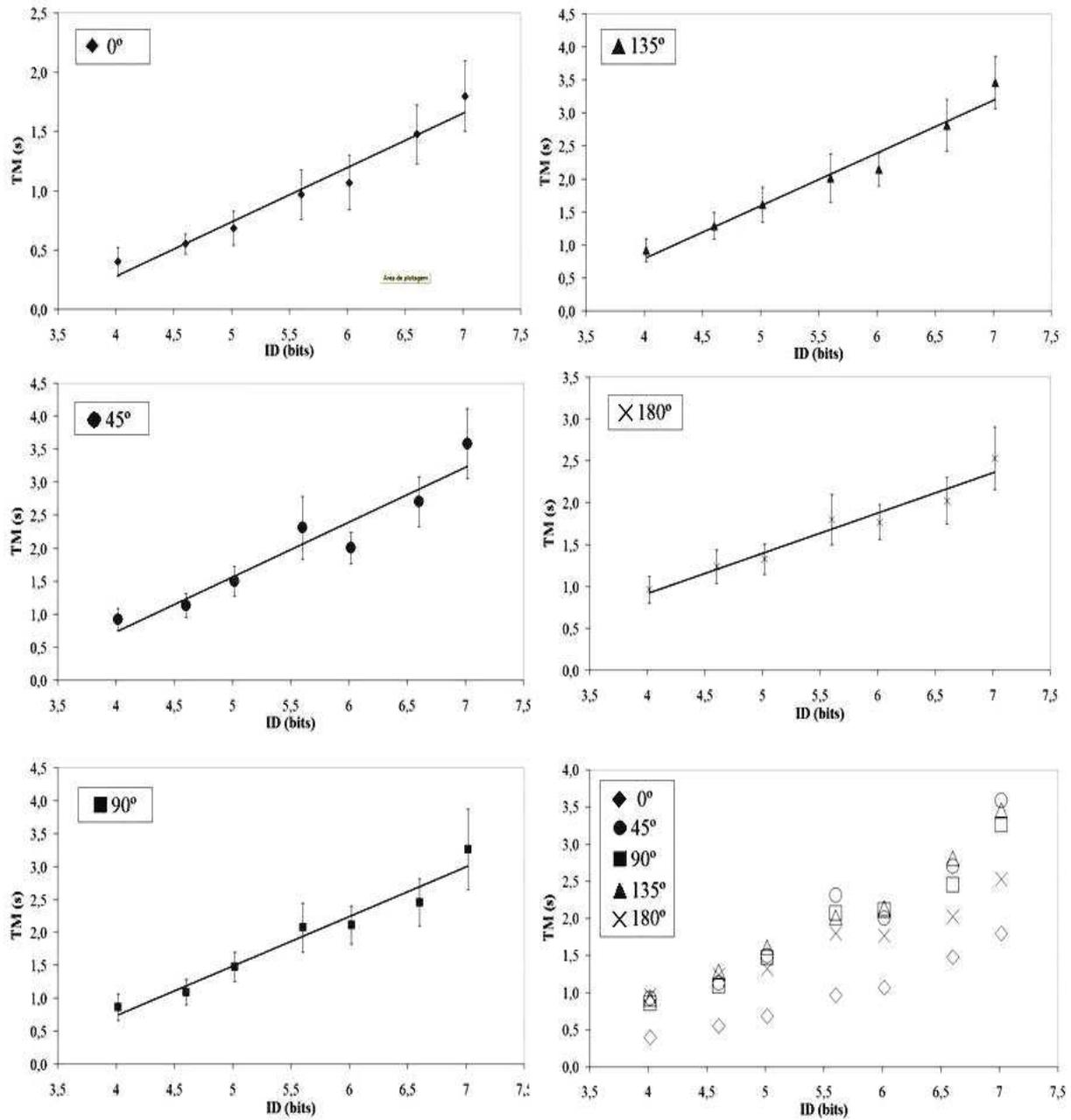
cronômetro para automaticamente; (d) realizar três tentativas em cada condição experimental.

Para analisar a relação velocidade-accurácia, o índice de dificuldade (ID) foi calculado (FITTS, 1954) e associado com o tempo de movimento. Para isso foi utilizada uma análise de regressão linear. A comparação dos tempos de movimento entre as diferentes condições de mudança de direção (inclinação) foi realizada por meio de uma análise de variância com medidas repetidas. As médias do TM das diferentes condições de ID agrupadas foram utilizadas para a comparação. O teste de Tukey foi utilizado para mostrar onde ocorreram as diferenças. A análise estatística foi realizada por meio do *software* Statistica (v.6) com nível de significância estabelecido em  $p=0,05$ .

## RESULTADOS DO EXPERIMENTO II

A análise de regressão linear  $TM \times ID$  apresentou um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) maior que 0,9 para todos os ângulos analisados (Tabela 2). Assim, foi verificada uma relação linear direta entre as variáveis de TM e ID, em todas as condições experimentais (Figura 2), de forma que a restrição espacial determinada através do tamanho e da espessura da linha pôde ser utilizada para prever o tempo de movimento na tarefa de traçar linhas em computador.

A comparação entre os TMs que, em função dos diferentes ângulos de inclinação, proporcionaram diferentes mudanças de direção no movimento, demonstrou diferenças entre as condições analisadas ( $F=17,07$ ;  $p<0,0001$ ). O TM realizado durante as tentativas em que não havia mudança de direção ( $0^\circ$ ) foi menor que nas demais condições nas quais havia uma mudança de direção no percurso ( $p<0,05$ ). Desta forma, mesmo que a Lei de Fitts seja capaz de prever o TM, em função do ID, a mudança de direção no movimento pode ser uma fonte de restrição capaz de modificar a magnitude do TM.



**Figura 2** - Relação TM x ID, em função das diferentes condições de mudança de direção na tarefa de traçar linhas em computador.

**Tabela 2** - Análise de regressão linear para cada condição de ID.

Ang.	ID (bits)	Espessura da linha (pxl)	Distância da Linha (pxl)	TM (s)	Desvio Padrão	Análise de Regressão Linear
0°	4,0	9,8	79,4	0,40	0,12	<b>TM x ID</b>
	4,6	9,8	119,1	0,55	0,09	
	5,0	9,8	158,8	0,69	0,15	$r = 0,982$
	5,0	4,9	79,4			$R^2 = 0,964$
	5,6	4,9	119,1	0,97	0,21	$F_{1,5} = 133,46$ $p < 0,001$
	6,0	4,9	158,8	1,07	0,23	
	6,0	2,45	79,4	1,48	0,25	
	6,6	2,45	119,1	1,80	0,30	$y = 0,4586x - 1,5554$
	7,0	2,45	158,8	1,80	0,30	
45°	4,0	9,8	79,4	0,92	0,17	<b>TM x ID</b>
	4,6	9,8	119,1	1,13	0,18	
	5,0	9,8	158,8	1,50	0,22	$r = 0,958$
	5,0	4,9	79,4			$R^2 = 0,918$
	5,6	4,9	119,1	2,31	0,48	$F_{1,5} = 56,19$ $p < 0,001$
	6,0	4,9	158,8	2,00	0,24	
	6,0	2,45	79,4	2,70	0,38	
	6,6	2,45	119,1	3,58	0,53	$y = 0,8303x - 2,5905$
	7,0	2,45	158,8	3,58	0,53	
90°	4,0	9,8	79,4	0,86	0,20	<b>TM x ID</b>
	4,6	9,8	119,1	1,09	0,19	
	5,0	9,8	158,8	1,47	0,22	$r = 0,977$
	5,0	4,9	79,4			$R^2 = 0,9557$
	5,6	4,9	119,1	2,07	0,37	$F_{1,5} = 104,75$ $P < 0,001$
	6,0	4,9	158,8	2,11	0,29	
	6,0	2,45	79,4	2,45	0,36	
	6,6	2,45	119,1	3,26	0,61	$y = 0,7523x - 2,2776$
	7,0	2,45	158,8	3,26	0,61	
135°	4,0	9,8	79,4	0,92	0,17	<b>TM x ID</b>
	4,6	9,8	119,1	1,28	0,20	
	5,0	9,8	158,8	1,61	0,27	$r = 0,983$
	5,0	4,9	79,4			$R^2 = 0,967$
	5,6	4,9	119,1	2,01	0,37	$F_{1,5} = 140,37$ $p < 0,001$
	6,0	4,9	158,8	2,14	0,25	
	6,0	2,45	79,4	2,81	0,39	
	6,6	2,45	119,1	3,46	0,39	$y = 0,7986x - 2,4032$
	7,0	2,45	158,8	3,46	0,39	
180°	4,0	9,8	79,4	0,96	0,16	<b>TM x ID</b>
	4,6	9,8	119,1	1,24	0,20	
	5,0	9,8	158,8	1,32	0,18	$r = 0,976$
	5,0	4,9	79,4			$R^2 = 0,952$
	5,6	4,9	119,1	1,80	0,30	$F_{1,5} = 99,74$ $p < 0,001$
	6,0	4,9	158,8	1,77	0,21	
	6,0	2,45	79,4	2,03	0,28	
	6,6	2,45	119,1	2,53	0,38	$y = 0,4803x - 1,005$
	7,0	2,45	158,8	2,53	0,38	

### DISCUSSÃO GERAL

A lei de Fitts (1954) estabeleceu uma relação inversa entre o tempo de movimento e um índice de dificuldade proposto através de restrições espaciais como a distância e o tamanho do alvo. Na tentativa de confirmar, parcial ou totalmente, a validade desta

relação, vários estudos foram conduzidos, com tarefas discretas de contato com um alvo (FITTS; PETERSON, 1964; MACKENZIE et al., 1987), tarefas cíclicas (FITTS, 1954), tarefa de apontar para um alvo (ENGEL; SOECHTING, 2000) usando mouse em computador (LAMBERT; BARD, 2005; OKAZAKI et al., 2008; PEREIRA;

OKAZAKI, 2008), tarefa de agarrar (BOOTSMA et al., 1994), tarefas bimanuais (MOTTET et al., 2001), de flexão de punho (CROSSMAN; GOODEVE, 1963/1983; MEYER et al., 1988), de flexão de cotovelo (CORCOS; GOTTLIEB; AGARWAL, 1988), de fala (JAFARI; KONDRASKE, 1988), entre outras (PLAMONDON; ALIMI, 1997). Em consequência da grande corroboração às predições de Fitts, o paradigma da relação inversa velocidade-accurácia foi conhecido, posteriormente, como lei de Fitts.

Como no paradigma de Fitts foram manipuladas restrições espaciais de tamanho e distância entre os alvos (FITTS, 1954; FITTS; PETERSEN, 1964), também foi esperada uma predição do tempo de movimento, em função do ID, nas tarefas analisadas nos experimentos I e II. A tarefa do experimento I (contornar figuras geométricas) permitiu a manipulação do tamanho do alvo (relativa à espessura da linha) e da distância de movimento (relativa ao perímetro da figura), enquanto a tarefa do experimento II (traçar linhas retas) permitiu a manipulação do tamanho da linha (referente à distância de movimento) e o tamanho da linha (referente ao tamanho do alvo). Ambos os experimentos demonstraram que o ID calculado a partir das restrições espaciais manipuladas apresentou uma relação direta ( $R^2 > 0,90$ ) com o TM na tarefa de contornar figura geométrica e na de traçar linhas. Assim, foi obtido suporte para a lei de Fitts em tarefas de restrição espacial de contornar figura geométrica e de traçar linhas, simuladas em computador. Tais resultados também corroboram a extensão da lei de Fitts para movimentos bidimensionais, como ficou demonstrado em tarefas de apontar para um alvo (ENGEL; SOECHTING, 2000; JAGACINSKI; MONK, 1985) e de realizar movimentos mais complexos, como a escrita (ALIMI; PLAMONDON, 1993; PLAMONDON; ALIMI, 1997).

A manipulação da mudança de direção durante o percurso do movimento também foi realizada para analisar o paradigma da relação inversa velocidade-accurácia, pois mudanças de direção no movimento poderiam demandar maior accurácia no movimento. Para analisar o efeito desta restrição da direção num

movimento em duas dimensões, foi manipulada no experimento I a forma das figuras geométricas (triângulo, quadrado e círculo), e no experimento II, o ângulo de inclinação. No experimento I, em função das particularidades geométricas das figuras - como o número e os ângulos dos vértices -, eram esperados padrões TM x ID diferentes para as figuras triângulo, quadrado e círculo; entretanto, apesar de o triângulo equilátero ter ângulos mais agudos, proporcionando, no movimento, mudanças de direção mais abruptas, este também possui menor número de vértices ( $v = 3$ ). Por outro lado, o quadrado possui mudanças de direção com ângulos mais obtusos em comparação aos do triângulo equilátero, mas possui mais vértices ( $v = 4$ ), ao passo que o círculo não possui mudança de direção no movimento nem vértices, mas depende de um movimento único curvilíneo. Apesar de não terem sido realizadas análises estatísticas comparativas neste primeiro experimento, uma análise descritiva e qualitativa dos resultados sugere que estas características geométricas das figuras foram compensadas entre si, pois os valores de TM se aproximaram muito, independentemente das características geométricas das figuras. Na tentativa de firmar tais suposições, foi realizado o experimento II.

Os diferentes ângulos de inclinação também não demonstraram modificar a relação TM x ID no experimento II. Ademais, não foi verificada diferença, no segundo experimento, entre as condições em que a mudança de direção foi realizada no movimento ( $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$  e  $180^\circ$ ). Apenas a condição em que não houve mudança de direção ( $0^\circ$ ) mostrou menor magnitude de TM, isto sem violar a lei de Fitts, em comparação às demais condições do experimento II. Isso sugeriu que a restrição espacial do tamanho do alvo (espessura da linha) e da distância do movimento (perímetro da figura e/ou comprimento da linha) impõe maior restrição ao movimento, em comparação com outros parâmetros de controle (por exemplo, diferentes inclinações na mudança de direção da trajetória do movimento). Somente em condições extremas (como aquela em que não houve ângulo de inclinação, se comparada às

demais condições) é que restrições espaciais como, por exemplo, a mudança de direção no movimento, poderiam atuar como maior fonte de restrição sobre a resposta do movimento.

Duas hipóteses foram levantadas para explicar as estratégias de controle utilizadas na regulação velocidade-accurácia, em função da mudança de direção no movimento. A primeira possibilidade foi que a mudança de direção seria realizada mediante a diminuição da velocidade para aumentar o *feedback* sensorial e conseguir desempenhar o movimento com maior accurácia. Esta explicação pareceu plausível no experimento I e nas condições com mudança de direção (manipulada pelos ângulos de inclinação 45°, 90°, 135° e 180°) no experimento II, pois a tarefa de contornar figuras geométricas, em função do tempo para realizar a tarefa e das restrições espaciais impostas, pode ter permitido maior possibilidade para a utilização do *feedback*. Esta característica da tarefa utilizada diferencia-se grandemente das demais tarefas analisadas no paradigma da relação inversa velocidade-accurácia, pois a maior parte das habilidades motoras utilizadas para analisar este paradigma contemplou apenas habilidades motoras realizadas num curto espaço de tempo, no qual o controle era realizado predominantemente via *feedforward* (FITTS, 1954; MEYER et al., 1988; PLAMONDON; ALIMI, 1997). O maior TM verificado nas condições com ângulo de inclinação na trajetória do movimento, no experimento II, também foi explicado pela maior utilização de *feedback* para atender às restrições impostas ao movimento, possivelmente, em função da necessidade de desacelerar o movimento em uma direção para acelerá-lo em outra, ou pelo fato de haver uma restrição temporal para definir um instante adequado para a mudança de direção. Não obstante, os resultados sugerem que estas correções não teriam efeito gradativo à medida que aumente o ângulo de inclinação da mudança de direção; mas o *feedback* teria um papel essencial no desempenho da tarefa de contornar figuras geométricas e na tarefa de traçar linhas retas (pelo menos nas condições com mudança de direção). Dessa

forma, a lei de Fitts foi robusta mesmo em algumas tarefas realizadas com maior tempo de movimento, ou seja, permitiu a maior possibilidade de utilizar *feedback* para a regulação do movimento.

Outra possibilidade para a regulação do movimento, nas tarefas analisadas, seria a especificação dos parâmetros de controle do movimento previamente ao seu desempenho (pré-programação ou *feedforward*). Esta segunda explicação foi a forma de controle utilizada para justificar o menor TM na condição sem mudanças de direção na trajetória do movimento na tarefa de traçar linhas, pois, como não houve a restrição da mudança de direção no movimento, este pôde ser programado inteiramente sem a necessidade de maiores correções por meio do controle por *feedback*. Poderia ser questionado se esta estratégia via *feedforward* também não poderia ter sido utilizada nos dois experimentos, sem a necessidade de controle por *feedback*; porém, se esta estratégia fosse utilizada em todas as condições, o TM deveria apresentar magnitudes próximas no experimento II (como verificado no experimento I), pois a mudança de direção apresentaria a mesma restrição à programação do movimento, independente do ângulo de inclinação. Por isso o movimento com menor velocidade nas condições com a restrição da inclinação da linha sugeriu a utilização do *feedback* nestas condições.

Em conjunto, os resultados do presente estudo demonstraram que a lei de Fitts foi suficientemente robusta para predizer o tempo de movimento por meio das restrições espaciais (da figura e da linha) que determinam o ID, no desempenho da tarefa de contornar figuras geométricas e de traçar linhas. O aumento no ângulo da mudança de direção não pareceu influenciar a relação TM x ID, corroborando esta característica consistente do paradigma da relação inversa velocidade-accurácia. São sugeridos mais estudos que analisem o paradigma da relação inversa velocidade-accurácia, em função de outras variáveis espaciais e temporais que atuam sobre o movimento.

---

**SPEED-ACCURACY TRADEOFF IN TASKS OF DRAWING GEOMETRIC FIGURES AND LINES**
**ABSTRACT**

Speed-accuracy trade-off was analyzed in two experiments, through Fitts' law, in tasks simulated by computer. Experiment I analyzed the task of drawing geometric figures (triangle, square, and circle), in which its figure perimeter and line thickness were manipulated, providing index of difficulties (ID) between 1,25 and 2,15 bits. Experiment II analyzed the task of trace lines, in which its line size, line thickness, and line inclination angle (0°, 45°, 90°, 135°, and 180°) were manipulated, providing IDs between 3,5 and 7,5 bits. A linear regression analysis was used to evaluate the relationship between movement time (MT) and task's ID. Determination coefficients higher than 0,9 ( $R^2 > 0,9$ ) for the association  $TM \times ID$  in experiments I and II were verified. Such results provided support for Fitts' law on the performance of the computer simulated tasks of drawing geometric figures and trace lines.

**Keywords:** Fitts' Law. Speed-accuracy trade-off. Task of drawing geometric figures. Task of trace lines. Motor control.

---

**REFERÊNCIAS**

- ACCOT, J.; ZHAI, S. Refining Fitts' Law Models for Bivariate Pointing. **Letters Computer-Human Interaction**, Georgia, v. 5, no. 1, p. 193-200, 2003.
- ALIMI, M. A.; PLAMONDON, R. Performance analysis of handwritten stroke generation models. In: **PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL WORKSHOP ON FRONTIERS IN HANDWRITING RECOGNITION**, 3., 1993. **Abstract...** BUFFALO. New York: [s. n.], 1993. p. 272-283.
- ANDRES, R. O.; HARTUNG, K. J. Prediction of head movement time using Fitts' law. **Human Factors**, New York, v. 31, no. 6, p. 703-713, 1989.
- BOOTSMA, R. J. et al. The speed-accuracy trade-off in manual prehension: effects of movement amplitude, object size and object width on kinematic characteristics. **Experimental Brain Research**, Berlin, v. 98, p. 535-541, 1994.
- CORCOS, D. M.; GOTTLIEB, G. L.; AGARWAL, G. C. Accuracy constraints upon rapid elbow movements. **Journal of Motor Behavior**, Washington, D.C., v. 20, p. 255-272, 1988.
- CROSSMAN, E. R. F. W.; GOODEVE, P. J. Feedback control of hand-movement and Fitts' law. **The Quarterly Journal of Experimental Psychology**, London, v. 35A, no. 2, p. 251-78, 1983.
- ELLIOTT, D.; HELSEN, W. F.; CHUA, R. A century later: Woodworth's (1899) two-component model of goal-directed aiming. **Psychological Bulletin**, Washington, D. C, v. 3, p. 342-357, 2001.
- ENGEL, K. C.; SOECHTING, J. F. Manual tracking in two dimensions. **Journal of Neurophysiology**, Bethesda, v. 83, p. 3483-3496, 2000.
- FITTS, P. M. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. **Journal of Experimental Psychology: General**, Washington, D. C, v. 3, p. 262-269, 1954.
- FITTS, P. M.; PETERSON, J. R. Information capacity of discrete motor responses. **Journal of Experimental Psychology**, Washington, D. C, v. 67, p. 103-112, 1964.
- FIUZA, C. R.; OKAZAKI, V. H. A. Efeito da mudança de direção sobre a lei de Fitts na tarefa de traçar linhas retas. In: TEIXEIRA, L. A. et al. (Org.). **Especialização em aprendizagem motora**. 1. ed. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2009. v. 2, p. 29-37.
- JAFARI, M.; KONDRASKE, G. V. An acoustic investigation of the interactive dynamics of speech motor performance. Institute of Electrical and Electronics Engineers Engineering in Medicine and Biology Society, 10., 1988, New Orleans. **Annual Conference...** New Orleans, v. 4, p.1529-1530, 1988.
- JAGACINSKI, R. J.; MONK, D. L. Fitts' law in two dimensions with hand and head movements. **Journal of Motor Behavior**, Washington, D.C., v. 17, p. 77-95, 1985.
- JAX, S. A.; ROSENBAUM, D. A.; VAUGHAN, J. Extending Fitts' law to manual obstacle avoidance. **Experimental Brain Research**, Berlin, v. 180, p. 775-779, 2007.
- LAMBERT, J.; BARD, C. Acquisition of visuomanual skills and improvement of information processing capacities in 6 to 10 year old children performing 2D pointing task. **Neuroscience Letters**, Limerick, v. 377, p. 1-6, 2005.
- MACKENZIE, C. L. et al. Three-dimensional movement trajectories in Fitts' task: Implications for control. **Quarterly Journal of Experimental Psychology**, London, v. 39A, p. 629-647, 1987.
- MCGUFFIN, M.; BLAKRISHNAN, R. Acquisition of Expanding Targets. **Letters Computer-Human Interaction**, Georgia, v. 4, no. 1, p. 57-64, 2002.
- MEYER, D. E.; ABRAMS, R. A. Optimality in human motor performance ideal control of rapid aimed movements. **Psychology Review**, Washington, D.C., v. 95, n. 3, p. 340-370, 1988.
- MILLER, G. A. What is information measurement? **American Psychologist**, [S. l.], v. 8, p. 3-11, 1953.
- MOTTET, D. et al. Two-handed performance of a rhythmical Fitts task by individuals and dyads. **Journal of Experimental Psychology: human perception and performance**, Washington, D.C., v. 6, p. 1275-1286, 2001.
- OKAZAKI, V. H. A. **Draw Task (v.1.5)**. Software que analisa a tarefa de contornar figuras geométricas em computador. 2007. Disponível em: <<http://okazaki.webs.com>>. Acesso em: 10 mar. 2010.
- OKAZAKI, V. H. A. et al. A. Modelo estocástico de sub-movimentos otimizados em Movimentos com restrição espacial simulados em Computador. **Revista Brasileira de Biomecânica**, São Paulo, v. 9, n.16, 2008a.

- OKAZAKI, V. H. A. **Trace Task (v.1.0)**. Software de análise da tarefa de traçar linhas em função de delimitações em suas dimensões, espessuras e inclinações. 2008. Disponível em: <<http://okazaki.webs.com>>. Acesso em: 4 set. 2009.
- OKAZAKI, V. H. A.; SILVA, R. R.; TEIXEIRA, L. A. Relação Velocidade-Precisão em Tarefas de Desenhos Geométricos. **Brazilian Journal of Motor Behavior**, Bauru, v. 3, p. 57, 2008b.
- PEREIRA, C. F.; OKAZAKI, V. H. A. Efeito da aprendizagem no controle de movimentos rápidos e precisos. In: Teixeira, L. A. et al. **Especialização em aprendizagem motora**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2008. v. 1, p. 130-143.
- PIERCE, J. R. **Symbols, signals and noise: the nature and process of communication**. London: Hutchinson, 1962.
- PLAMONDON, R.; ALIM, A. M. Speed/accuracy trade-offs in target-directed movements. **Behavior and Brain Sciences**, Cambridge, v. 20, p. 279-249, 1997.
- RIVAL, C., OLIVIER, I., CEYTE, H. Effects of temporal and/or spatial instructions on the speed-accuracy trade-off of pointing movements in children. **Neuroscience Letters**, Limerick, v. 336, p. 65-69, 2003.
- SCHMIDT, R. A.; ZELAZNIK, H.; HAWKINS, B.; FRANK, J. S.; QUINN, J. T. Motor-Output Variability: A Theory for the Accuracy of Rapid Motor Acts. **Psychological Review**, Washington, D.C., v. 86, n. 5, p. 415-451, 1979.
- SHANNON, C. E. A mathematical theory of communication. **Bell System Technical Journal**, New York, v. 38, p. 615-631, 1948.
- SHANNON, C. E. A mathematical theory of communication. **Bell System Technical Journal**, New York, v. 38, p. 615-631, 1948.
- SOUKOREFF R. W.; MACKENZIE I. S. Towards a standard for pointing device evaluation, perspectives on 27 years of Fitts' law research in HCI. **International Journal of Human-Computer Studies**, London, v. 61, p. 751-789, 2004.
- TEIXEIRA, L. A. Sobre a Generalidade de Estratégias de Controle Sensorio Motor. **Revista Paulista de Educação Física**, São Paulo, v. 3, p. 89-96, 2000.
- WOODWORTH, R. S. The accuracy of voluntary movement. **Psychological Review**, Washington, D. C., v. 3, p. 1-119, 1899. Supplement.

Recebido em 14/04/2010  
Revisado em 25/08/2010  
Aceito em 05/09/2010

---

**Endereço para correspondência:** Victor Hugo Alves Okazaki. Universidade Estadual de Londrina - Departamento de Educação Física. Campus Universitário, Rodovia Celso Garcia Cid, Km 380, CEP 86051-990, Caixa Postal 6001, Londrina-Pr. E-mail: vhaokazaki@gmail.com