

O tipo de trajetória não afeta o controle visual da freada em ciclistas

CDD. 20.ed. 152.14
796.6

Sérgio Tosi RODRIGUES*
Renato SCHIAVON*
Juliane MACEGOZA*

*Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista - Bauru.

Resumo

O controle visual da freada foi estudado em ciclistas recreacionais através da manipulação da velocidade no início da freada (baixa, média e alta) e da trajetória de aproximação (retilínea e curvilínea) da bicicleta em relação a um obstáculo estacionário. A hipótese foi que o tipo de trajetória da bicicleta, de modo exclusivo ou em interação com a velocidade inicial, afetaria a informação visual de tempo para colisão ("tau" margem) e sua primeira derivada no tempo ("tau-dot"), respectivamente, no início e durante a freada. Os resultados revelaram que a velocidade afetou significativamente "tau" margem, enquanto "tau-dot" manteve-se inalterado independentemente da condição. O tipo de trajetória claramente não afetou o controle visual da freada em ciclistas.

UNITERMOS: Tempo para colisão; Informação visual; Freada; Ciclismo.

Introdução

A redução de velocidade para parar antes de alcançar um obstáculo no trajeto é uma manobra rotineira durante a locomoção de pedestres, atletas, condutores de veículos e pilotos. A segurança de um ciclista, por exemplo, depende da habilidade de controlar a desaceleração através da aplicação da quantidade apropriada de força no freio no momento certo. Se a desaceleração é iniciada tarde demais ou iniciada muito gradualmente, eventualmente será impossível evitar uma colisão. Por outro lado, iniciar a desaceleração muito cedo ou aumentar a desaceleração muito rapidamente pode aumentar desnecessariamente o tempo de aproximação ou gerar uma parada muito distante do obstáculo. Em qual informação visual as pessoas confiam para evitar colisão com objetos em seu caminho? Como elas usam esta informação para ajustar a desaceleração do instante de início da freada até o ponto de parada?

O padrão do fluxo óptico (GIBSON, 1966, 1979) oriundo da aproximação relativa a um obstáculo contém informação sobre o tempo remanescente até que o obstáculo alcance o plano do olho, a informação visual de tempo para colisão (TC). A taxa de dilatação do ângulo óptico subentendido pelo objeto,

denominada "tau", é inversamente proporcional ao tempo remanescente até que o objeto seja alcançado, se a velocidade de aproximação for mantida (LEE, 1976). Uma formulação mais recente desta teoria indica que quando a aproximação não é de frente para o observador, mas lateral ou em curva, "tau" pode ser obtido similarmente pela taxa de fechamento de uma abertura entre o observador e o obstáculo (LEE, 1998). LEE (1976) demonstrou que a taxa de mudança de "tau" no tempo, denominada "tau-dot", pode ser informativa sobre a possibilidade de colisões. Mais especificamente, manter "tau-dot" no valor crítico de -0,5 distingue situações nas quais a aceleração atual é suficiente para evitar colisão que irá ocorrer ("tau-dot" \geq -0,5) de situações nas quais a colisão não irá ocorrer ("tau-dot" $<$ -0,5) (BARDY & WARREN, 1997). Em suma, LEE (1976) propôs que humanos e outros animais utilizam "tau" e "tau-dot" para, respectivamente, disparar a freada e regular a intensidade de desaceleração.

Sensibilidade às variáveis "tau" e "tau-dot" (e.g., KIM, TURVEY & CARELLO, 1993; SUN & FROST, 1998) e sua utilização no controle de ações têm sido confirmadas em uma variedade de situações, tais como a freada de automóvel (LEE, 1976), a

aterrissagem de pássaros para se alimentarem (LEE, YOUNG, REDDISH & RAND, 1991), aterrissagem de ginastas após salto mortal (LEE, YOUNG & REWT, 1992) e simulação frente a placas de trânsito (YILMAZ & WARREN JUNIOR, 1995). Em situação real de dirigir automóvel, KIEFER, LEBLANC e FLANNAGAN (2005) estudaram motoristas jovens, adultos e idosos e mostraram que todos responderam diretamente à expansão do objeto à frente para detectar possíveis colisões; TREFFNER, BARRETT e PETERSEN (2002) e TREFFNER, BARRETT, PETERSEN e WHITE (2002) observaram que os valores de “tau-dot” foram mantidos próximos a -0,5, de modo independente do nível de experiência dos motoristas. Muitas investigações sobre a locomoção em curvas não consideraram simultaneamente a freada (e.g., FAJEN, 2001; LAND, 1998); as freadas têm sido tradicionalmente estudadas em trajetórias retilíneas.

Limitações desta estratégia têm sido debatidas pelos estudiosos da área (e.g., TRESILIAN, 1994, 1999; WANN, 1996). Outras fontes potenciais de informação visual que complementaríamos ou substituiríamos “tau” e “tau-dot” foram propostas. TRESILIAN (1994) apresentou evidências de que o ângulo instantâneo entre o alvo e o ponto de interceptação e a taxa de mudança da direção do alvo são variáveis utilizadas adicionalmente ao “tau”. ROCK e HARRIS (2006) mostraram que a freada simulada é caracterizada por “tau-dot” ao redor de -0,5, generalizando esta descrição para estímulos bem simples e para situações de freada não contínua; valorizaram ainda o detalhamento temporal da análise: durante a freada, “tau-dot” convergiu consistentemente para -0,5 e foi mantido ao redor deste valor por um período crítico imediatamente antes da parada. Quando dicas de velocidade e distância do alvo não estiveram presentes no estímulo, através da remoção do plano do chão da simulação, a freada continuou possível, apesar de menos consistente. Estas evidências apontam que os dados obtidos são compatíveis com a hipótese “tau-dot”, mas que não explicam completamente o comportamento da freada (ROCK & HARRIS, 2006). Diferentemente, ROCK, HARRIS e YATES (2006) analisaram uma situação real e concluíram que os dados davam pouco suporte para a hipótese “tau-dot”, sugerindo que a freada seria melhor explicada por uma estratégia na qual a desaceleração é utilizada diretamente.

Outro aspecto relevante à percepção de colisão é a direção da aproximação julgada. BOOTSMA e CRAIG (2003) analisaram julgamentos sobre se uma colisão ocorreria, em situação simulada, durante aproximações de frente e lateral, com desacelerações constante e

sinusoidal; os resultados mostraram que os julgamentos foram predominantemente baseados em “tau-dot”. Maior porcentagem de variância total explicada por “tau-dot” na aproximação lateral do que na de frente foi interpretada como causada pelas diferenças de estímulo (ângulos e padrão de contração / expansão) ou pelo grau de envolvimento do observador (sendo expectador ou “alvo” da colisão). No entanto, os autores concluíram que os observadores podem não ser sensíveis ao “tau-dot” continuamente, sugerindo um monitoramento contínuo da variável “tau” e sua evolução ao longo do tempo (“delta-tau”) para acesso à informação que especifica a (in)suficiência da desaceleração atual para evitar colisão. COULL, VIDAL, GOULON, NAZARIAN e CRAIG (2008) compararam as atividades neurais subjacentes aos julgamentos de tempo para colisão durante simulações de aproximações de frente e lateral, confirmando a existência de uma rede neural para predição temporal. Os autores observaram uma ativação funcional, diferente para áreas visuais V1 e V5 nas perspectivas de frente e lateral, respectivamente, que foi interpretada como uma modulação atencional central de características específicas das áreas de processamento visual para o fluxo ótico e movimento lateral. Assim, os julgamentos de colisão estariam associados tanto às representações de predição temporal independentes da tarefa quanto à atividade modulatória no nível local em áreas visuais funcionalmente especializadas. Adicionalmente, os autores demonstraram que a variável “tau-dot” manteve valor preditivo para a realização dos julgamentos de colisão e que o aumento da certeza de colisão modulou a atividade em V1, independentemente da perspectiva, o que pode refletir a importância biológica e a consequente saliência atencional das colisões potenciais (COULL et al., 2008).

Em síntese, estudos anteriores sobre o controle visual da freada priorizaram situações simuladas em laboratório (e.g., ROCK & HARRIS, 2006; YILMAZ & WARREN JUNIOR, 1995) ou analisaram isoladamente a locomoção em trajetórias curvas (e.g., FAJEN, 2001). Em trajetória retilínea, poucos estudos investigaram freadas em situação real com automóvel (e.g., ROCK, HARRIS & YATES, 2006; TREFFNER, BARRETT & PETERSEN, 2002) ou com bicicleta (RODRIGUES, BERTOLONI, DENARDI & FERRACIOLI, 2006). O presente estudo oferece um contexto novo, combinando trajetória curva e o uso de bicicleta, em situação não simulada.

Os estudos revisados acima debatem se as informações contidas no fluxo ótico, como “tau” e “tau-dot”, são apropriadas e suficientes para explicar o controle da desaceleração, ou se fatores adicionais

de mais alta ordem cognitiva poderiam interferir no referido controle. Estudo anterior mostrou que diferenças na velocidade inicial não alteraram o controle visual da freada em linha reta (RODRIGUES et al., 2006). Se comparado à situação retilínea, o controle da bicicleta em curva gera demandas adicionais nos aspectos cognitivos, perceptuais e motores da tarefa, como dificuldades maiores de planejamento, atencionais e mecânicas na ação dos ciclistas. Tais demandas

forçariam os ciclistas a dissociarem o controle da freada das informações do fluxo ótico. Deste modo, o objetivo do presente estudo foi testar os efeitos da trajetória e da velocidade inicial sobre as variáveis óticas “tau” e “tau-dot” numa situação de freada em ciclistas. A hipótese foi que o tipo de trajetória da bicicleta, de modo exclusivo ou em interação com a velocidade inicial, afetaria as magnitudes de “tau”, no início da freada, e de “tau-dot”, durante a freada.

Método

Participantes

Oito adultos do sexo masculino, sendo seis com acuidade visual normal e dois com correção por óculos ou lentes, com experiência em ciclismo recreativo, participaram como voluntários deste estudo. Os critérios de inclusão na amostra foram a de aprendizagem anterior da tarefa de condução de bicicleta, sem experiência competitiva, e o relato de acuidade visual normal ou a utilização de óculos ou lentes. Entre os participantes, a média de idade foi de 22,0 anos (DP = 1,9), da altura 177,6 cm (DP = 4,6) e da massa corporal 76,4 kg (DP = 12,2). Todos os participantes leram e assinaram um formulário de consentimento antes do teste; o protocolo de pesquisa foi aprovado pelo comitê local de ética em pesquisa.

Equipamentos

Um anteparo retangular de madeira (1,8 m x 1,2 m), posicionado verticalmente e perpendicular à trajetória da bicicleta, revestido com cartolinas preta e amarela, formando grandes quadriculados, foi usado como obstáculo. A coleta de dados foi realizada em um ginásio de esportes, de piso regular, com linhas demarcatórias visíveis no solo para as trajetórias retilínea e curvilínea (conforme a FIGURA 1 ilustra), que serviam de guia para a condução da bicicleta; não houve registro do distanciamento lateral em relação a estas linhas, mas todos participantes se mantiveram muito próximos delas, com facilidade, durante todo o experimento. Uma bicicleta Caloi (modelo Aspen de 21 velocidades e freios tipo “V-brake”) com a altura do selim ajustada individualmente para cada participante e sua marcha definida na posição da segunda maior coroa e terceira maior catraca, constante em todas tentativas do experimento, foi equipada com o sistema eletrônico (denominado

PIF) para determinação de posição e intensidade da freada, desenvolvido especificamente para o presente estudo, que registrou duas medidas: a) medida da freada - medida relativa à força aplicada pela mão do participante ao freio traseiro da bicicleta; e b) medida do deslocamento - medida relativa à distância atual percorrida a partir da posição inicial da bicicleta.

A medida da freada foi obtida através de um potenciômetro do tipo deslizante, acoplado ao cabo do freio da bicicleta, permitindo a variação da resistência do potenciômetro conforme a intensidade da força aplicada pelo ciclista ao freio. À medida que o eixo do potenciômetro se movia, aumentava a resistência de saída linearmente (de zero Ohms até o máximo de 3 KOhms). A tensão de saída foi transformada em números binários através do Circuito Integrado (ADC0804lcn). Posteriormente, estes números binários foram enviados ao microcontrolador (marca Atmel, modelo 89S52), que fez o escalonamento destes números, estipulando a escala de “0” (o estado no qual o freio não estava sendo movimentado) a “12” (o estado no qual o freio havia sido movimentado ao máximo de seu curso). Na análise de dados, a escala de intensidade de 0 a 12 foi convertida para 0 a 100%. A medida do deslocamento foi obtida através de um sensor localizado no garfo da bicicleta, sensível à passagem de ímãs presentes na roda dianteira da bicicleta, num total de nove ímãs no aro. A passagem de cada sensor foi identificada pelo sistema eletrônico e convertida em números decimais, que aumentavam à medida que a bicicleta se movia à frente. Após o início do movimento da bicicleta, cada passagem de um ímã pelo sensor equivalia ao acréscimo de 1/9 do perímetro do pneu dianteiro (medido em sua face externa) à distância percorrida.

Os números gerados pelos sistemas de medida da freada e medida do deslocamento foram transmitidos e mostrados em um “display”, acondicionado com uma câmera de vídeo (marca Sony, modelo DCR

DVD 405, 60 Hz) em um pequeno compartimento na parte traseira da bicicleta, de modo a permitir a gravação em vídeo dos números apresentados. As imagens foram gravadas em formato digital (padrão DVD) e, subsequentemente, transferidas a um computador e processadas. Como o plano do olho do participante permaneceu relativamente fixo em relação à bicicleta, o movimento registrado da bicicleta foi assumido como referência para o movimento do plano do olho do observador em direção ao obstáculo, e utilizado no cálculo da variável “tau”. Os “softwares” Matlab (Mathworks Inc., versão 5) e SPSS (SPSS, versão 9) foram utilizados para cálculo das variáveis e análise estatística.

Procedimentos

Os participantes, após chegarem ao local de coleta de dados, foram submetidos a uma sessão de aquecimento, seguida da realização de tentativas de prática para familiarização com a tarefa e com o local. Os participantes realizaram três tentativas da tarefa em cada condição de velocidade do experimento. Foram seis condições experimentais nas velocidades (baixa, média, alta) em trajetória retilínea e curvilínea. A coleta de dados foi realizada, em ambiente tranquilo, minimizando interferências visuais e auditivas. A duração total da coleta de dados de cada participante foi de aproximadamente 40 minutos.

Tarefa

A tarefa dos participantes foi, para cada uma das condições, a partir do repouso, pedalar uma bicicleta em velocidade máxima até atingir uma demarcação, a partir da qual era permitido começar a frear até parar exatamente em frente ao obstáculo, sem colidir (FIGURA 1). A manipulação das distintas velocidades foi implementada através da definição de diferentes distâncias na fase de aproximação (13, 18 e 23 metros do obstáculo). Ao participante foi permitido, a partir da referida demarcação, utilizar qualquer estratégia de frenagem a fim de atingir a meta de parar em frente ao obstáculo, sem colidir. Como o pneu tocou apropriadamente o obstáculo em todas tentativas, sem dificuldades, todas tentativas foram consideradas bem sucedidas; diferenças mínimas de força deste contato não foram consideradas no presente estudo. Nenhuma

instrução relativa ao posicionamento do olhar durante a tarefa foi dada aos participantes; nenhum registro da linha do olhar dos participantes foi realizado.

Análise dos dados

Três tentativas foram gravadas em cada condição experimental, totalizando 18 tentativas analisadas para cada participante. Inicialmente, cada uma das tentativas gravadas em formato digital (padrão DVD) foi transferida para o microcomputador e processada manualmente durante a apresentação do vídeo, para obtenção dos dados numéricos.

Estes dados foram filtrados com filtro Butterworth, tipo passa-baixa, de quarta ordem e frequência de corte de 0,5 Hz e usados para calcular as seguintes variáveis dependentes: velocidade máxima, velocidade no início da freada, distância bicicleta-obstáculo no início da freada, valor de “tau” no início da freada (“tau” margem), valor do “tau-dot” durante a fase de desaceleração, a duração da fase de desaceleração, desaceleração média nesta fase, número de passagens de imãs no sensor e atraso do pico da velocidade para o início da freada (Veja exemplo de tentativa típica na FIGURA 2). A variável “tau” foi calculada, para cada ponto de dado durante o período entre o início da freada e o término da tentativa, através da razão da distância bicicleta-obstáculo pela respectiva velocidade. A curva de “tau” em função do TC e sua reta de regressão linear são mostradas na FIGURA 2, no gráfico acima e à direita. A variável “tau”-margem corresponde ao primeiro valor de “tau” naquela curva (instante de início da freada) e a variável “tau-dot” corresponde à inclinação da reta de regressão linear.

Os dados de cada variável dependente foram submetidos à análise de variância (ANOVA) de Trajetória (2) por Velocidade (3) por Tentativa (3), com medidas repetidas em todos os fatores. Comparações de médias aos pares foram realizadas através do teste de Tukey LSD (Diferença Mínima Significante, em português) quando necessário, aplicando-se o ajuste de probabilidades de Bonferroni. Nas análises nas quais os dados não se enquadraram ao pressuposto de esfericidade, ajustes de Greenhouse-Geisser foram utilizados. O nível de significância adotado foi de 0,05 para todas as análises.

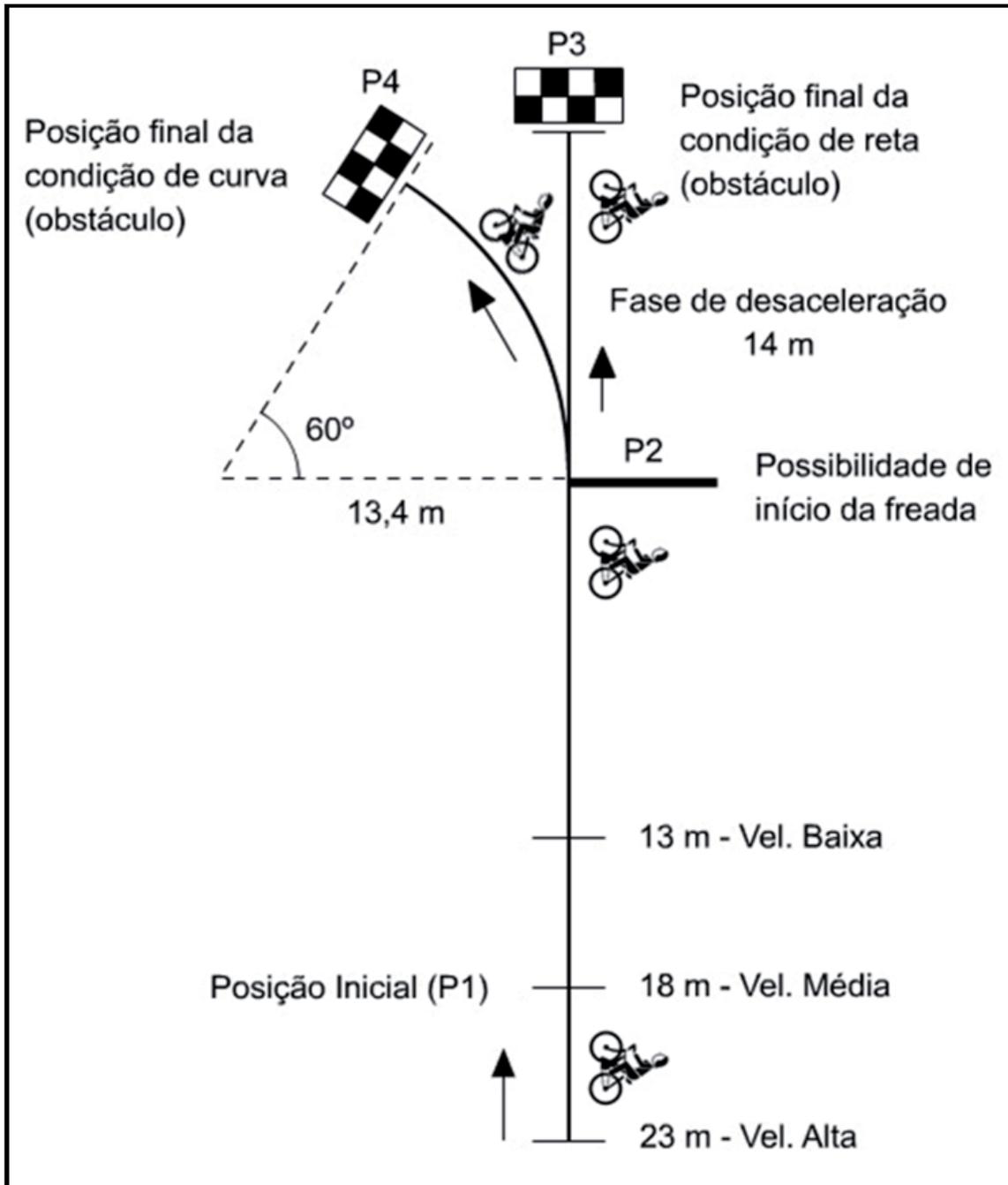


FIGURA 1 - Representação gráfica da tarefa da frenada: as três condições de velocidade (alta, média e baixa) foram proporcionadas por posições iniciais (P1) distintas (respectivamente, 23, 18 e 13 m) até a demarcação (P2), a partir da qual era possível dar início à frenada; a partir deste ponto, o participante teve 14 m (mesma distância nas trajetórias retilínea e curvilínea), para desacelerar até parar a bicicleta em frente ao obstáculo (P3 ou P4), sem bater.

Participante: 2
 Condição: Relat37m-Alta
 Tentativa: 2
 Vel. Máxima: 6,94 m/s
 Vel. Início Freada: 6,8953 m/s
 Dist. Início Freada: 13,5495 m
 "Tau"-margem Início Freada: 1,965 s
 "Tau-dot" médio: -0,5365
 Tempo até parada: 3,65s
 Desaceleração média: -1,8891 m/s/s
 Atraso Vel.Pico-Freada: 0,21667 s.

A parte superior contém a identificação do participante, condição e tentativa, apresentando os valores de todas variáveis dependentes; Os gráficos do lado esquerdo mostram posição (superior) e velocidade (inferior) da bicicleta, com linha vertical tracejada indicando o início da freada, informação obtida no gráfico de intensidade da freada (inferior direito); O gráfico superior direito mostra os valores de "tau" a partir do início da freada ("tau" margem) até o momento no qual a bicicleta para totalmente, com linha tracejada resultante de regressão linear, cuja inclinação representa o valor de "tau-dot"; Todos os gráficos estão em função do tempo para colisão.

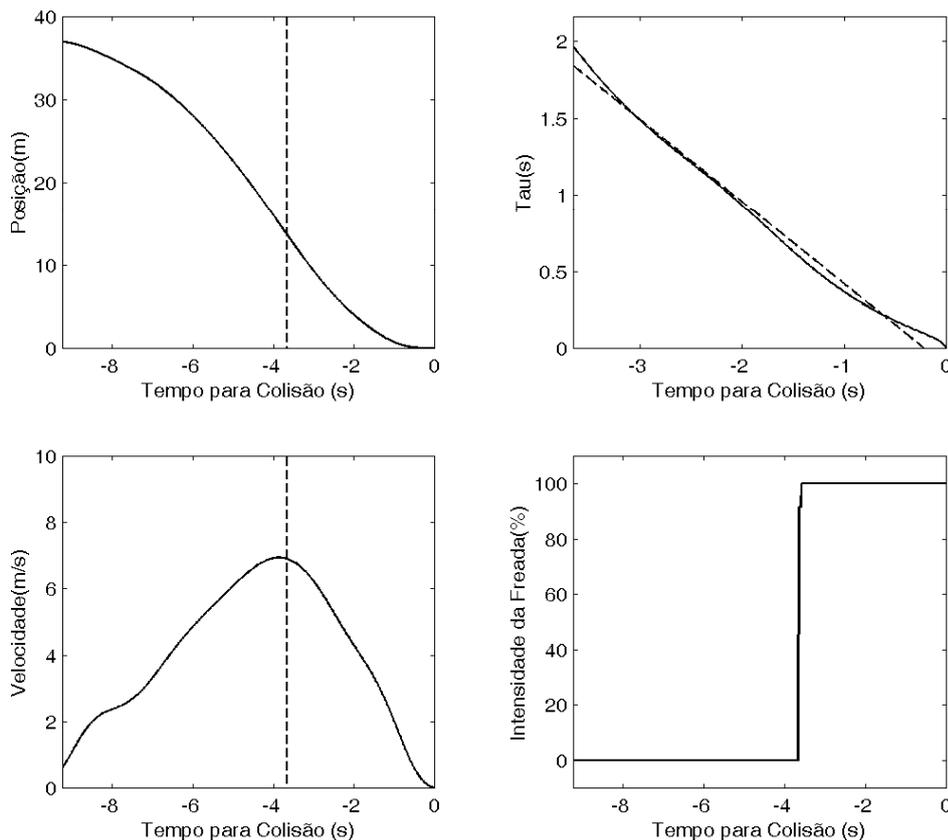


FIGURA 2 - Tentativa típica de um participante na condição de trajetória retilínea e velocidade alta.

Resultados

Os resultados referentes às variáveis velocidade máxima, velocidade no início da freada, distância bicicleta-obstáculo no início da freada, valor de "tau" no início da freada ("tau" margem), valor do "tau-dot" durante a fase de desaceleração, a duração da fase de desaceleração, desaceleração média nesta fase, número de passagens de ímãs no sensor e atraso do pico da velocidade para o início da freada, resumiram as características espaço-temporais das fases de aproximação e desaceleração do movimento retilíneo e curvilíneo da bicicleta em direção ao obstáculo, assim como as variáveis óticas sob investigação. Os dados da TABELA 1 estão organizados apenas em função das velocidades baixa, média e alta porque o tipo de trajetória (retilínea ou curvilínea) não afetou significativamente nenhuma variável dependente.

Diferenças significativas na velocidade máxima entre as condições de velocidade alta, média e baixa foram observadas, $F(2, 28) = 53,17$, $p < 0,001$. Comparações aos pares indicaram diferenças significativas entre as

velocidades baixa e média, $p = 0,002$, velocidades baixa e alta, $p < 0,001$, e velocidades média e alta, $p = 0,002$. Semelhantemente, a variável velocidade no início da freada foi afetada significativamente pela condição de velocidade, $F(2, 28) = 40,87$, $p < 0,001$, com diferenças significativas entre as velocidades baixa e média, baixa e alta, e média e alta, $p = 0,015$, $p = 0,001$ e $p < 0,001$, respectivamente. A variável "passagens pelo sensor", que indica quantas vezes um ímã passou pelo sensor durante cada tentativa, como esperado, foi afetada significativamente pelas condições de velocidade, $F(2, 28) = 68200,03$, $p < 0,001$. As três comparações aos pares indicaram diferenças significativas entre os níveis de velocidades, com $ps < 0,001$. Baixos valores de variabilidade de passagens pelo sensor foram observados, todos ao redor de 1,0.

Efeitos significativos da condição de velocidade foram encontrados nos dados de distância até o obstáculo no início da freada, $F(2, 28) = 42,81$, $p < 0,001$. Comparações aos pares mostraram diferenças

significativas na distância até o obstáculo entre as velocidades baixa e média, $p = 0,002$, velocidades baixa e alta, $p < 0,001$, e velocidades média e alta, $p = 0,028$. A condição de velocidade afetou adicionalmente, de forma significativa, a duração da freada, $F(1,5, 19,1) = 6,63$, $p = 0,018$; no entanto, comparações aos pares revelaram diferenças não significativas na duração da freada entre as velocidades baixa e média, $p = 0,280$, velocidades baixa e alta, $p = 0,064$, e velocidades média e alta, $p = 0,146$. A variável desaceleração média não foi afetada significativamente pelos fatores principais e interações da análise. Foi observado um atraso entre o pico da velocidade da bicicleta e o início da desaceleração caracterizado pela força sobre o freio; este atraso não foi significativamente afetado por nenhum fator principal ou interação da análise.

Os resultados referentes às variáveis “tau”-margem e “tau-dot” descrevem as informações visuais que

especificam o tempo para colisão entre a bicicleta e o obstáculo no momento do início da freada (o valor da variável óptica tau no instante do acionamento do freio) e durante toda a fase de desaceleração (o valor da inclinação da reta de regressão linear dos valores da variável óptica “tau” em função do tempo) (veja TABELA 1). Os valores de “tau”-margem foram significativamente afetados pela velocidade, $F(2, 28) = 4,801$, $p = 0,032$. No entanto, comparações aos pares não demonstraram diferenças significativas nos valores de “tau”-margem entre as condições de velocidade baixa e média, $p = 0,235$, velocidades baixa e alta, $p = 0,097$, e velocidades média e alta, $p = 0,917$. Os valores de “tau-dot” não foram afetados significativamente pelas condições de velocidade, $F(2, 14) = 2,242$, $p = 0,148$. Todos os efeitos principais e interações relativas às variáveis dependentes utilizadas, que não foram reportados acima, não alcançaram o nível de significância adotado.

TABELA 1 - Média (M) e erro padrão (EP) das variáveis do estudo nas condições de velocidade alta (37 m), média (32 m) e baixa (27 m).

Condição de Velocidade	Baixa		Média		Alta	
	M	EP	M	EP	M	EP
Velocidade máxima (m/s)*	5,822	0,100	6,302	0,135	6,730	0,138
Velocidade início da freada (m/s)*	5,674	0,121	6,192	0,142	6,604	0,162
Distância início da freada (m)*	9,593	0,457	11,430	0,244	12,611	0,304
“Tau” margem (s)**	1,693	0,093	1,848	0,062	1,914	0,028
“Tau dot”	-0,577	0,011	-0,600	0,016	-0,598	0,010
Duração da freada (s)**	2,921	0,161	3,091	0,097	3,251	0,092
Desaceleração média (m/s/s)	-2,026	0,124	-2,034	0,099	-2,053	0,078
Passagens pelo sensor (unidades)*	119,979	0,107	142,125	0,088	164,083	0,083
Atraso pico vel. - início da freada (s)	0,385	0,074	0,245	0,064	0,357	0,062

* Efeito significativo da condição de velocidade ($p < 0,05$), com diferenças significativas nas três comparações aos pares.

** Efeito significativo da condição de velocidade ($p < 0,05$), sem diferenças significativas nas três comparações aos pares.

Discussão

O objetivo do presente trabalho foi testar a hipótese de que demandas adicionais nos aspectos cognitivos, perceptuais e motores, característicos da condução da bicicleta em curvas, dissociaria o controle visual da freada das informações contidas no fluxo ótico. Esperava-se que o tipo de trajetória, de modo exclusivo ou em interação com a velocidade inicial, afetaria as magnitudes de “tau”, no início da freada, e de “tau-dot”, durante a freada.

Diferentemente do esperado, o efeito principal da trajetória não alcançou significância em nenhuma

das variáveis dependentes. Similarmente, nenhuma interação entre trajetória e velocidade foi significativa. A condução da bicicleta em trajetórias curvas, mesmo realizada em velocidades mais elevadas, não gerou alterações observáveis no comportamento dos ciclistas deste estudo. Uma explicação simples para este achado em acordo com LEE (1976) seria que, como os ciclistas utilizam continuamente as variáveis de TC contidas no fluxo ótico, e estas informações estiveram continuamente disponíveis durante a realização da tarefa, as circunstâncias distintas resultantes dos tipos

de trajetória e de velocidade inicial não afetaram o uso destas informações no controle da freada. FAJEN (2001) mostrou que o controle da locomoção em trajetórias curvilíneas pode basear-se em variáveis ópticas relativas, como a expansão da imagem na retina; particularmente, seus dados indicam o uso da expansão óptica local em curvas, mas não o da informação de distância e de posição do alvo, assim como sustentam uma estratégia de equalização entre a diminuição do ângulo entre alvo e direção da locomoção e o tempo para passagem do observador pelo alvo. Para este tipo de interpretação, os dados do presente estudo corroboram os achados de FAJEN (2001), no sentido que estabelecem que informação contida no fluxo óptico possibilita igualmente o controle da locomoção em trajetórias retilíneas e curvilíneas.

Uma interpretação alternativa seria que as manipulações experimentais de trajetória e velocidade inicial não tenham sido suficientes para perturbar o sistema perceptivo-motor e causar a referida dissociação do controle da freada das informações de “tau” e “tau-dot”. Não é difícil imaginar uma situação na qual maior esforço perceptual e atencional do ciclista pudesse gerar o mesmo resultado comportamental; talvez a proposição de situações de freada ainda mais complexas e difíceis pudesse causar uma ruptura nos modos de operação do sistema de percepção e ação. Adicionalmente, a premissa de uso contínuo de informação do fluxo óptico poderia ser questionada; a intermitência do uso destas informações poderia modular o controle da freada distintamente em diferentes trajetórias e velocidades, mas garantindo a suficiência da informação para gerar uma freada segura, como as observadas no presente experimento. Esta noção de intermitência do processamento visual é compatível com dados de movimentos do olhar na condução de automóveis em situações de curva, nas quais os motoristas davam preferência para a localização da tangente da curva, mas alternando a localização das fixações conforme outras demandas surgiam no ambiente (LAND & LEE, 1994). Investigações futuras sobre freadas em curvas poderiam se beneficiar de dados da linha do olhar dos participantes.

A velocidade inicial afetou significativamente a informação visual de TC no instante de início da freada. Os valores médios de “tau” margem aumentaram significativamente conforme a velocidade inicial aumentou ao longo das condições. Diferentemente do efeito de trajetória, a condição de velocidade parece ter sido capaz de gerar demandas diferentes para os ciclistas darem início às freadas. Independentemente de frearem em trajetória reta ou curva, a velocidade

gerou alterações no início da freada. Por outro lado, a condição de velocidade não afetou significativamente os valores de “tau-dot” referentes ao período de freada. Estes resultados podem ser explicados apenas parcialmente pela proposta de LEE (1976, 1998), segundo a qual a manipulação de velocidade não deveria afetar o “tau” margem.

As referidas discrepâncias nos resultados de “tau” e “tau-dot” obtidos no presente estudo são discutidas a seguir. Outras fontes de informação para regular a freada têm sido investigadas. ANDERSEN, CISNEROS, ATCHLEY e SAIDPOUR (1999) analisaram uma alternativa à variável óptica “tau-dot”, baseada na velocidade e no tamanho percebido do objeto. Os observadores foram apresentados a um “display” que simulou um ambiente tridimensional com obstáculos no trajeto do movimento do observador. Durante o experimento, o movimento do observador foi reduzido a uma taxa constante e foi seguido por um escurecimento (“blackout”) antes do fim do movimento. Os observadores tiveram que detectar quais tentativas resultariam em colisão e quais resultariam em uma freada segura. Nas condições em que a velocidade inicial era maior, os observadores julgaram maior número de colisões do que quando essa velocidade inicial era baixa. Quando o “blackout” foi aumentado, a probabilidade de detecção de colisão diminuiu. Nas tentativas nas quais a escala da textura do plano foi aumentada, houve maior número de julgamentos de colisão. Estes resultados mostram que a detecção da colisão variou em função do tamanho do obstáculo, da velocidade do observador, e da escala da textura do plano. Particularmente, os dados do presente estudo concordam com a indicação que a velocidade pode afetar a percepção de colisão, uma vez que houve efeito principal significativo da velocidade inicial sobre o tempo remanescente até parar (a duração da freada) assim como sobre a percepção deste tempo (“tau” margem). Interessantemente, as médias destas duas variáveis aumentaram conforme aumentou a velocidade inicial; para velocidade mais alta, mais tempo foi requerido até a bicicleta parar porque a desaceleração média foi similar entre estas condições. Parece que as demandas de percepção e atenção aumentadas nas velocidades maiores levaram os ciclistas a não confiarem (parcial ou totalmente) nas informações contidas no fluxo óptico; talvez o maior risco envolvido ajude a explicar este efeito, o que carece futura investigação específica.

No presente estudo, os valores de “tau-dot” encontrados ficaram próximos a -0,592, independentemente das condições iniciais de velocidade

e do tipo de trajetória final. Esta estratégia, chamada de “tau-dot” constante, tem sido criticada por características de seu método. BARDY e WARREN JUNIOR (1997) apontam que o uso da inclinação assume “a priori” que o “tau-dot” é constante durante o intervalo em questão, quando é apenas uma estimativa de “tau-dot” médio durante aquele período. Os autores entendem que uma desaceleração constante pode ser obtida por aplicar uma força constante ou manter o freio em uma posição constante, o que dificulta decidir se um valor de “tau-dot” constante é a causa de um movimento controlado ou a consequência passiva dele. Contudo, os dados referentes à utilização do freio no presente estudo indicam que os ciclistas ajustam a força aplicada ao manete no início da freada, não ocorrendo grandes variações durante a desaceleração; de modo geral, os valores subiram de 0% e atingiram valores máximos (cerca de 90 a 100%) de modo muito brusco e intenso, deixando claro uma estratégia de “tudo ou nada” na modulação desta intensidade.

FAJEN e DEVANEY (2006) estudaram uma freada de emergência, na qual os participantes esperaram até o último momento possível para apertar o freio. Tamanho do obstáculo e velocidade inicial foram manipulados ao longo de vários estágios de prática. Os resultados mostraram os efeitos de tamanho e velocidade que estavam presentes inicialmente, diminuíram ou foram eliminados enquanto os participantes aprenderam a iniciar a freada em uma taxa de expansão óptica que variou com o ângulo óptico. Muito embora o presente estudo não tenha aferido diretamente a aceleração instantânea, o indicativo de FAJEN e DEVANEY (2006) é que se os ciclistas do presente estudo tivessem sido submetidos a uma maior quantidade de prática, possivelmente os efeitos observados da condição de velocidade seriam ainda mais reduzidos ou até eliminados. Neste sentido, o argumento que a prática tende a reduzir as demandas cognitivas, atencionais e motoras parece compatível com a lógica adotada na hipótese do presente estudo.

A magnitude de “tau-dot” também tem sido debatida. BARDY e WARREN JUNIOR (1997) ponderaram que o valor de -0,5 não deveria ser interpretado como o único valor que sustenta uma freada segura. Diversos estudos mostram que os valores de “tau-dot” são dependentes da tarefa. Valores acima de -0,5 foram encontrados quando a velocidade requerida no contato era zero, como situações de freada (LEE, 1976; YILMAZ & WARREN JUNIOR, 1995), a fase final de uma tarefa de beijar um quadro e a fase de transporte de uma tarefa de correr e agarrar (WANN, EDGARD & BLAIR, 1993). Por outro lado, valores menores que -0,5 foram encontrados quando a velocidade não-zero era exigida no contato, como nos estudos da aterrissagem de um salto mortal (LEE, YOUNG & REWT, 1992) e da tarefa de agarrar (ZAAL & BOOTSMA, 1995). Os dados sugerem que diferentes valores margem de “tau-dot” podem ser adotados para diferentes tarefas, dependendo do tipo de contato desejado. O valor médio de “tau-dot” de -0,592 no presente estudo é compatível com estas indicações de conformidade com a tarefa, uma vez que a velocidade final requerida neste estudo foi zero.

Em suma, o protocolo deste experimento buscou aumentar as demandas perceptuais, cognitivas e motoras da tarefa, incluindo trajetória curvilínea e aumento de velocidade inicial, para testar a dissociação do controle visual da freada das informações contidas no fluxo óptico. Apesar da variedade de críticas (e.g., TRESILIAN, 1999) à proposta original de LEE (1976) e de avanços em alguns aspectos, as explicações sobre a freada não são conclusivas, particularmente em situações naturais como a investigada. Os resultados revelaram que a velocidade afetou significativamente “tau” margem, enquanto “tau-dot” manteve-se inalterado independentemente da condição. O indicativo claro deste estudo foi que o tipo de trajetória não afetou o controle visual da freada em ciclistas.

Abstract

Type of trajectory does not affect the visual control of braking in cyclists

Braking visual control was studied in recreational cyclists through the manipulation of bicycle's velocity at braking initiation (low, medium, and high) and approaching trajectory (straight and curved) with respect to a stationary obstacle. The hypothesis was that the type of trajectory, exclusively or interacting with initial velocity, would affect time to collision visual information (tau margin) and its first derivative in time (tau-dot), respectively, in the onset and during braking. The results revealed that velocity affected

significantly tau margin while tau-dot remained unaltered independently of condition. The type of trajectory clearly did not affect the visual control of braking in cyclists.

UNITERMS: Time to collision; Visual information; Braking; Cyclism.

Resumen

El tipo de trayectoria no afecta el control visual de frenada en ciclistas

El control visual de la frenada fue estudiado en ciclistas recreativos mediante la manipulación de la velocidad (baja, media y alta) al principio de la frenada y la trayectoria de aproximación de la bicicleta (rectilínea y curvilínea) en relación con un obstáculo fijo. La hipótesis era que el tipo de trayectoria de la bicicleta, de modo exclusivo o en interacción con la velocidad inicial, afectaría la información visual del momento de la colisión (margen "tau") y su primera derivada en el tiempo ("tau-dot"), respectivamente, al principio y durante la frenada. Los resultados revelaron que la velocidad afectó significativamente el margen "tau", mientras que el "tau-dot" permaneció inalterado independientemente de su condición. El tipo de trayectoria claramente no afectó el control visual de frenado en los ciclistas.

PALABRAS CLAVE: Tiempo de colisión; Información visual; Frenado; Ciclismo.

Referências

- ANDERSEN, G.J.; CISNEROS, J.; ATCHLEY, P.; SAIDPOUR, A. Speed, size, and edge-rate information for the detection of collision events. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, Washington, v.25, p.256-69, 1999.
- BARDY, B.G.; WARREN JUNIOR, W.H. Visual control of braking in goal-directed action and sport. **Journal of Sports Sciences**, London, v.15, p.607-20, 1997.
- BOOTSMA, R.J.; CRAIG, C.M. Information used in detecting upcoming collision. **Perception**, London, v.32, p.525-44, 2003.
- COULL, J.T.; VIDAL, F.; GOULON, C.; NAZARIAN, B; CRAIG, C. Using time-to-contact information to assess potential collision modulates both visual and temporal prediction networks. **Frontiers in Human Neuroscience**, Lausanne, v.2, p.1-12, 2008.
- FAJEN, B.R. Steering towards a goal by equalizing taus. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, Washington, v. 27, p.953-68, 2001.
- FAJEN, B.R.; DEVANEY, M.C. Learning to control collisions: the role of perceptual attunement and action boundaries. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, Washington, v.32, p.300-13, 2006.
- GIBSON, J.J. **The ecological approach to visual perception**. Boston: Houghton Mifflin, 1979.
- _____. **The senses considered as perceptual systems**. Boston: Houghton Mifflin, 1966.
- KIEFER, R.J.; LEBLANC, D.J.; FLANNAGAN, C.A. Developing an inverse time-to-collision crash alert timing approach based on drivers' last-second braking and steering judgments. **Accident Analysis and Prevention**, Amsterdam, v.37, p.295-303, 2005.
- KIM, N.G.; TURVEY, M.T.; CARELLO, C. Optical information about severity of upcoming contacts. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, Washington, v.19, p.179-93, 1993.
- LAND, M.F. The visual control of steering. In: HARRIS, L.R.; JENKIN, M. Vision and action. Cambridge: Cambridge University Press, 1998. p.163-80.
- LAND, M.F.; LEE, D.N. Where we look when we steer. **Nature**, London, v.369, p.742-4, 1994.
- LEE, D. Guiding movement by coupling taus. **Ecological Psychology**, Hillsdale, v.10, p.221-50, 1998.
- LEE, D.N. A theory of visual braking based on information about time-to-collision. **Perception**, London, v.5, p.437- 459, 1976.

- LEE, D.N.; YOUNG, D.S.; REDDISH, P.E.; RAND, D.T. Aerial docking by hummingbirds. **Naturwissenschaften**, New York, v.78, p.526-7, 1991.
- LEE, D.N.; YOUNG, D.S.; REWT, D. How do somersaulters land on their feet? **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, Washington, v.18, p.1195-202, 1992.
- ROCK, P.; HARRIS, M. Tau-dot as a potential control variable for visually guided braking. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, Washington, v.32, p.251-67, 2006.
- ROCK P.B.; HARRIS M.G.; YATES, T.A test of the tau-dot hypothesis of braking control in the real world. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, Washington, v.32, p.1479-84, 2006.
- RODRIGUES, S.T.; BERTOLONI, G.C.; DENARDI, R.A.; FERRACIOLI, M.C. Controle visual do início e da intensidade da freada em ciclistas: a velocidade não afeta o uso da informação de tempo para colisão. **Brazilian Journal of Motor Behavior**, Rio Claro, v.1, n.1, p.64-72, 2006.
- SUN, H.J.; FROST, B.J. Computation of different optical variables of looming objects in pigeon nucleus rotundus neurons. **Nature Neuroscience**, New York, v.1, p.296-303, 1998.
- TREFFNER, P.; BARRET, R.; PETERSEN, A. Stability and driving. **Human Movement Science**, Amsterdam, v.21, p.749-84, 2002.
- TREFFNER, P.; BARRET, R.; PETERSEN, A.; WHITE, R. Active stabilisation and perceptual sensitivity in safe driving. In: DEVELOPING safer drivers and riders (Proceedings of Travelsafe- Australian College of Road Safety Conference). Mawson: ACRS, 2002. p.91-104.
- TRESILIAN, J.R. Approximate information sources and perceptual variables in interceptive timing. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, Washington, v.20, p.154-73, 1994.
- _____. Visually timed action: time-out for 'tau'? **Trends in Cognitive Sciences**, Cambridge, v.3, p.301-10, 1999.
- WANN, J.P. Anticipating arrival: is the tau-margin a specious theory? **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, Washington, v.22, p.1031-48, 1996.
- WANN, J.P.; EDGAR, P.; BLAIR, D. Time-to-contact judgement in the locomotion of adults and preschool children. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, Washington, v.19, p.1053-65, 1993.
- YILMAZ, E.H.; WARREN JUNIOR, W.H. Visual control of braking: a test of the tau hypothesis. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, Washington, v.21, p.996-1014, 1995.
- ZAAL, F.T.J.M.; BOOTSMA, R.J. The topology of limb deceleration in prehension tasks. **Journal of Motor Behavior**, Washington, v.27, n.2, p.197-207, 1995.

ENDEREÇO

Sérgio Tosi Rodrigues
 Laboratório de Informação, Visão e Ação (LIVIA)
 Departamento de Educação Física
 Universidade Estadual Paulista
 Av. Eng. Luis Edmundo Carrijo Coube, 14-01
 17036-060 - Bauru - SP - BRASIL
 e-mail: srodrigu@fc.unesp.br

Recebido para publicação: 28/10/2011
 Revisado: 22/05/2012
 Aceito: 22/05/2012