

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO FÍSICA

REINALDO CLAUDEMIR VENÂNCIO

CONTROLE VISUAL DA FREADA EM CICLISTAS:
EFEITOS DA INCERTEZA EM SITUAÇÃO DE CURVA

BAURU
2011

Reinaldo Claudemir Venâncio

**CONTROLE VISUAL DA FREADA EM CICLISTAS:
EFEITOS DA INCERTEZA EM SITUAÇÃO DE CURVA**

**Monografia apresentada ao
Departamento de Educação
Física da Faculdade de
Ciências, UNESP – Campus de
Bauru, como requisito parcial
para a conclusão do Curso de
Licenciatura em Educação
Física pelo aluno REINALDO
CLAUDEMIR VENÂNCIO.
Orientador: Prof. Dr. Sérgio
Tosi Rodrigues**

**BAURU
2011**

Sumário

1 Introdução.....	08
2 Justificativa.....	08
3 Objetivos.....	10
4 Método.....	10
4.1 Participantes.....	10
4.2 Equipamentos.....	10
4.3 Procedimentos.....	13
4.4 Tarefa.....	15
4.5 Análise dos dados.....	15
5 Resultados.....	18
6 Discussão.....	20
7 Conclusões.....	22
8 Referências.....	24

AGRADECIMENTOS

A minha esposa: Natalina Helena Bassetto Venâncio

Não poderia deixar de dedicar à você esta vitória, pois sabe que contribuiu muito para que eu chegasse até aqui, obrigado pelo apoio, “Te amo”.

Aos Meus Filhos: Renato, Rodrigo e Roberta

Obrigado pelo amor, carinho, afeto, incentivo e pela contribuição mas, principalmente, a compreensão pelos momentos que estive ausente com a finalidade de conseguir mais esta conquista.

Vocês sem dúvida foram os melhores presente que Deus me deu.

Amo vocês.

Ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Sérgio Tosi Rodrigues

A você que dedicou todos os seus esforços, guiou-me para o caminho certo, partilhou sua sabedoria, com muita dedicação. Obrigado pela amizade, pela paciência, pelo apoio, pela força e, principalmente, pelo carinho e amor ao próximo. Valeu à pena!

A todos os professores

A todos muito obrigado por ter contribuído na minha formação, Em especial: Prof. Henrique, Sérgio, Mauro, Márcio e Luciene, admiro muito vocês obrigado pela amizade, carinho e consideração.

A todos meus amigos que me apoiaram nessa Jornada:

Anderson, Robson, Alessandro, Antonio e Bruno.

Obrigado por fazerem parte da minha história, agradeço de coração pela presença em minha vida, pela amizade duradoura, carinho, apoio, paciência e incentivo. Sou muito grato.

Em especial ao meu amigo Renato Schiavon:*obrigado pelo seu apoio, pela sua dedicação, por ter me colocado a sua disposição, nos momentos em que precisei de seus préstimos, deixando de lado suas horas de laser, para atender a solicitação de um amigo, que Deus abençoe.*

Resumo

O presente estudo tem como objetivo analisar o controle visual da freada de uma bicicleta, quando um ciclista é surpreendido por um obstáculo em seu caminho. De acordo com Lee (1976), o controle da freada baseado em informação visual de tempo para colisão utiliza as variáveis ópticas *tau*, e sua primeira derivada no tempo, *tau-dot*, respectivamente, para disparar o início da freada e regular sua intensidade. Sete adultos jovens executaram uma tarefa de freada de bicicleta durante a situação de curva, submetidos a distintas condições de velocidade (alta, média e baixa) e de incerteza sobre a presença do obstáculo (certeza e incerteza). Os resultados mostraram, independentemente da condição de velocidade ou incerteza, que os participantes utilizaram as variáveis ópticas *tau* e *tau-dot* para regular o instante de início da freada e a intensidade da freada, evitando colisão com o obstáculo.. Fatores cognitivos, atencionais e psicológicos resultantes de aumento da velocidade e da incerteza na situação experimental proposta não foram capazes de alterar a utilização da informação de tempo para colisão, corroborando a hipótese testada.

Abstract

The purpose of the present study was to analyze the visual control of braking a bicycle when the cyclist is surprised by an obstacle in his way. According to Lee (1976), visually controlled braking based on time to collision information utilizes the optic variables τ and its first derivative in time, $\dot{\tau}$, to initiating the braking action and regulating its intensity. Seven young adults performed a bicycle braking task in curvilinear trajectory under distinct velocity (high, medium, and low) and uncertainty (certainty and uncertainty) conditions. Results showed that, independently of velocity and uncertainty levels, participants utilized τ and $\dot{\tau}$ to initiating and regulating the braking action, avoiding collision with the obstacle. Cognitive, attentional, and other psychological factors resulting from both increased velocity and uncertainty were not capable of altering the use of time to collision information, corroborating the tested hypothesis.

1 INTRODUÇÃO

Durante a condução de veículos, podemos nos deparar com diversas situações inusitadas. Alguns motoristas, por inexperiência ou imprudência, podem fazer de seus veículos um obstáculo à condução dos demais veículos, requerendo dos respectivos motoristas decisões precisas e redução rápida da velocidade para evitar uma colisão. Quanta força você deveria aplicar nos freios e por quanto tempo para parar com segurança antes de bater no obstáculo? Muito embora este tipo de situação seja resolvida com relativa facilidade por alguns motoristas, certamente quando o tempo disponível é suficiente, os mecanismos visuais e motores que possibilitam tal sucesso ainda não foram completamente compreendidos.

Considerando que esta tarefa perceptivo-motora é comum a todos os condutores de veículos, conhecimento sobre como este comportamento se manifesta, qual informação visual é usada e quais fatores visuais afetam sua performance é importante para melhoria da segurança no trânsito. Podemos constatar que os problemas no trânsito trazem prejuízos a todos, demonstrando, portanto, a falta de preparo para alguns condutores de veículos. Neste sentido, cremos que seja pertinente o estudo mais aprofundado das bases comportamentais que possibilitam a direção defensiva dos veículos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O controle visual de freada foi estudado por Lee (1976), tomando como base uma análise matemática do fluxo óptico em mudança no ponto de observação do motorista. Foram identificadas variáveis visuais simples que proporcionariam as informações suficientes para controlar a freada. Uma informação simples e suficiente que pode ser obtida facilmente pelo motorista é a informação de tempo para colisão (TC), o que dispensaria então outras possíveis fontes de informação como distância, velocidade de aceleração e desaceleração.

TC, que é o tempo remanescente até a colisão do motorista com o obstáculo, é especificado de maneira visual pela variável óptica *tau*, que equivale ao inverso da quantidade de dilatação da imagem do obstáculo na retina do indivíduo para uma velocidade de aproximação constante. É importante ressaltar que o valor da variável óptica *tau* na retina é independente de como o olho está se movendo em relação a cabeça (Rodrigues, 2001; Rodrigues, Vickers & Williams, 2002). É uma variável relativa e descreve como o sistema visual parece operar.

Nesta explicação do controle da freada centrada na noção de informação visual de tempo para colisão (TC), as variáveis ópticas *tau*, e sua primeira derivada no tempo, *tau-dot*, seriam as responsáveis, respectivamente, pelo disparar do início da freada e pela regulação de sua intensidade. Sugere-se que estas variáveis, como quantidades relativas relevantes da relação percepção-ação, seriam utilizadas em diferentes circunstâncias, tais como distintas velocidades iniciais e trajetórias de aproximação da bicicleta em relação ao obstáculo, e para distintos níveis de incerteza.

Resultados de estudos anteriores (Rodrigues, Bertoloni, Denardi & Ferracioli, 2006; Rodrigues, 2002) sobre a freada de ciclistas em trajetória retilínea, confirmaram a utilização da informação visual das variáveis *tau* e *tau-dot*, mas o método utilizado limitou-se a obter dados sobre o movimento da bicicleta, sem considerar a ação de apertar o freio; os dados sobre a intensidade da freada foram indiretos. Schiavon (2007) avançou nesta análise, confirmando o uso das referidas variáveis, com demandas ambientais e atencionais realistas, na execução de freadas na situação de curvas; a ação de apertar o freio foi registrada, mostrando uma estratégia de disparo rápido e direto de aplicação da força no freio. Adicionalmente, nestas investigações prévias, a análise da tarefa de conduzir a bicicleta ficou restrita à situação de completa certeza dos participantes sobre a presença do obstáculo à frente, que se encontrava visível. O presente estudo explora a variável da incerteza do ciclista sobre a presença do obstáculo para melhor representar as situações reais de trânsito.

A presente investigação sobre a utilização da informação de tempo para colisão na freada de bicicleta justifica-se, teoricamente, pela busca do aprofundamento da compreensão da natureza das ligações entre percepção visual e controle da ação em humanos e, de modo aplicado, pelas implicações desta teoria para o contexto da segurança no trânsito, desde o desenvolvimento de projetos automobilísticos, passando pela formulação legal do código de trânsito, até o treinamento de condutores de veículo nas auto-escolas.

Esta pesquisa evidencia a necessidade conhecimento sobre as condições reais do trânsito, quando, por exemplo, o motorista em estrada de rodagem com seu veículo, em situação curvilínea, depara-se com outro veículo em sua trajetória de maneira surpreendente, parado com avaria mecânica. Procura-se entender como,

neste momento, o motorista utiliza informação da percepção visual e aciona o sistema de freio na aproximação do veículo, evitando assim uma colisão.

3 OBJETIVOS

Os objetivos do presente estudo foram os seguintes:

- Descrever, conforme proposto por Lee (1976), a informação visual que especifica TC disponível aos ciclistas, particularmente as variáveis *tau* e *tau-dot* durante o movimento da bicicleta em curvas;
- Descrever o comportamento motor dos ciclistas no início da freada e durante sua desaceleração em curvas;
- Determinar o efeito da velocidade inicial e da incerteza a respeito da presença de obstáculo na trajetória da aproximação da bicicleta sobre as variáveis visuais e motoras.

4 MÉTODO

4.1 Participantes

O experimento foi realizado com sete participantes adultos com acuidade visual normal, tendo experiência em andar de bicicleta como forma de lazer, com idade de 25 a 30 anos, massa corporal 78 kg, altura 1,75 m, todos do gênero masculino, oriundos da Academia Staf da cidade de Bauru, onde realizavam o Curso de Formação de Profissionais de Segurança, todos em perfeita condições para realização das tarefas. Os participantes tomaram conhecimento leram e assinaram um formulário de consentimento antes do teste, de acordo as normas do Comitê de Ética da Faculdade de Ciências da Unesp – Campus de Bauru.

4.2-Equipamentos

Uma bicicleta Caloi (modelo Aspen de 21 velocidades, equipada com freios tipo “V-brake”) foi utilizada para a coleta de dados. A altura do selim foi ajustada individualmente. A marcha da bicicleta, que determina a força necessária para pedalar, foi definida na posição da segunda maior coroa e terceira maior catraca e mantida constante em todas tentativas para todos participantes.

A bicicleta foi equipada com um sistema eletrônico, desenvolvido e implementado especificamente para este tipo de estudo (Figuras 1, 2, 3 e 4), que registrou duas medidas: a) *medida da freada* - medida relativa à força aplicada pela mão do participante ao freio 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 acoplado ao cabo do freio da bicicleta, permitindo a variação da resistência do potenciômetro conforme a intensidade da força aplicada pelo ciclista ao freio. Um circuito eletrônico transformou os dados da resistência do potenciômetro em números decimais, sendo “0” o estado no qual o freio não está sendo utilizado, e “100” o estado no qual o freio estiver sendo utilizado em seu curso máximo. A medida do deslocamento foi obtida através de sensores localizados nos raios da roda dianteira da bicicleta. A passagem de cada sensor foi identificada pelo sistema eletrônico e convertida proporcionalmente a um número (com base no perímetro do pneu da bicicleta) relativo ao comprimento percorrido ao longo do percurso. Os números gerados pelos sistemas de medida da freada e medida do deslocamento foram transmitidos e mostrados em um display. Este display e uma câmera de vídeo (marca Sony, modelo DCR DVD 205, 60 Hz) estiveram acondicionados 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, subseqüentemente, transferidas a um computador e processadas para possibilitar análise numérica destes resultados.

O software utilizado para cálculo das variáveis e produção de gráficos foi o Matlab (The Matworks Inc., 1998 – versão 5). O software SPSS (SPSS Inc., 1999 – versão 9) foi utilizado para as análises estatísticas necessárias.



Figura 1. Imagem do display desenvolvido, mostrando os dígitos de identificação do participante, condição e tentativa (superior) e das medidas de tensão de freio e número de voltas.



Figura 2: Um potenciômetro foi acoplado no cabo de freio.



Figura 3. Um sensor acoplado ao garfo, e um conjunto ímãs colocados na roda.

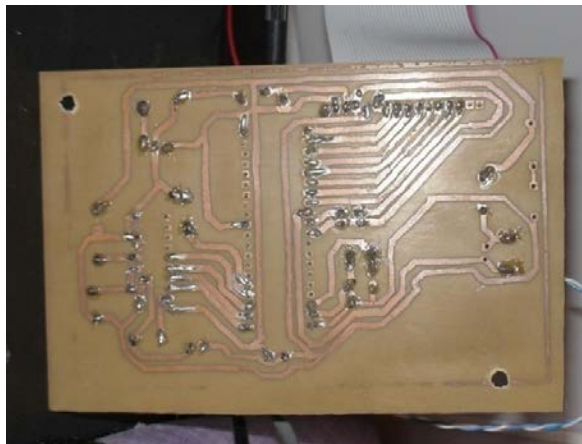


Figura 4. Placa de circuito eletrônico.

Através de uma câmara de vídeo, (marca Sony, modelo DCR DVD 405, 60 Hz), colocada em um compartimento, na parte trazeira da bicicleta, os números gerados quanto a medida de freada, quantidades de voltas número do participante, número de tentativas e nível de velocidade, capitados pela referida câmara e armazenados em formato digital no padrão DVD, e transferida para um computador onde foram processadas. O software utilizado para cálculo das variáveis e produção de gráficos foi o Matlab (The Matworks Inc., 1998 – versão 5).

4.3 Procedimentos

O experimento foi desenvolvido de acordo com o espaço oferecido e adequado para sua realização; os dados foram coletados no Ginásio de Esportes da Praça de Esportes do campus da Unesp - Bauru, que na ocasião tinha boa qualidade de claridade e visibilidade. No espaço foi construído uma pista com 37 metros de comprimento e 2 metros de largura, sendo que na marca dos 23 metros de linha reta, estava localizado o início da curva, com os 14 metros restantes até o obstáculo, com a curvatura em ângulo de 60°.

A pista foi demarcada com três pontos P1, P2 e P3, com sinalização no solo, de acordo com a variação de velocidade, Baixa, Média e Alta, tomando como ponto de referência para o desenvolvimento da velocidade dos pontos P1 ao P2, sendo que no solo havia demarcação para os 23 metros para a velocidade Alta, 18 metros para a velocidade Média e 13 metros para a velocidade Baixa, conforme mostra Figura 5.

A pista em uma de suas laterais (lado esquerdo) tinha uma suposta parede, construída com uma lona plástica de cor preta, do início ao fim do percurso, com dois metros de altura fixado em hastes de madeira sustentado em armação metálica (material utilizado como obstáculo em pista de atletismo). A lona de cor preta utilizada servia para ocultar a visibilidade do participante com relação ao obstáculo no final da curva; nas condições experimentais, os participantes somente tinham a visibilidade do obstáculo aproximadamente no ponto de início da curva.

No início de cada experimento, um experimentador ficava responsável pelo ajuste do painel (que trazia em seu visor o número do sujeito, velocidade, as condições de certeza e incerteza e o número de tentativas, painel que controlava o número de voltas e tensão de freio), a colocação do pneu na posição correta e o comando de partida; outro experimentador se posicionava no final do percurso para

desligar o sistema eletrônico, pausar a câmera que registrava os dados do painel, e colocar o obstáculo nas condições de incerteza.

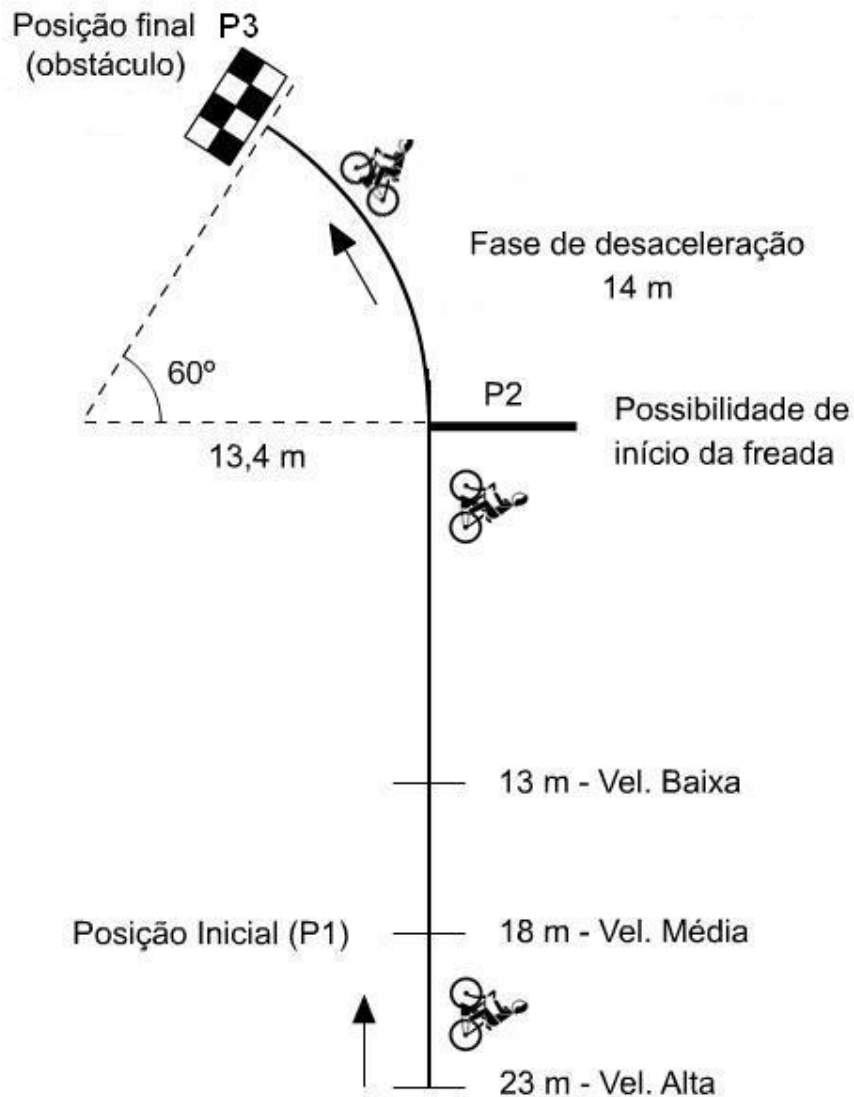


Figura 5. Representação gráfica da tarefa experimental da freada. Foram utilizadas três condições de velocidade (alta, média e baixa), proporcionadas por posições iniciais (P1) distintas (respectivamente, 23, 18 e 13 m) até a demarcação (P2), a partir da qual foi possível dar início à freada; a partir deste ponto, os participantes tiveram 14 m para desacelerarem até pararem a bicicleta em frente ao obstáculo (P3), sem bater. Esta figura mostra a trajetória curvilínea, de curvatura constante, num semicírculo de raio 13,4 m. Veja texto para outros detalhes.

Os participantes, quando chegaram às dependências do Laboratório de Informação, Visão e Ação (LIVIA), na Praça de Esportes da Unesp – Campus de Bauru, leram e assinaram o Termo de Consentimento. Uma reunião antes do início do experimento foi realizada, na qual todos participantes tomaram conhecimento do trabalho realizado, houve a apresentação da bicicleta a todos, sendo que cada participante pôde utilizá-la para breve familiarização, aquecimento, adaptação e ajuste do equipamento; os participantes tomaram conhecimento também quanto às três velocidades a que foram submetidos e os pontos de partida.

Cada participante executou três tentativas da tarefa em cada condição do experimento. Foram seis condições experimentais resultantes da combinação entre a incerteza da presença do obstáculo (certeza, incerteza) e as três velocidades (baixa, média, alta). As condições de incerteza foram, distribuídas aleatoriamente, metade das tentativas com a presença do obstáculo e a outra metade sem a presença do obstáculo, sendo analisadas apenas as tentativas com obstáculo, nas quais os participantes efetivamente frearam a bicicleta. A ordem das condições foi contrabalanceada entre os participantes para prevenir as ocorrências de efeitos de ordem nos dados. A coleta de dados foi realizada individualmente com cada participante, em ambiente tranquilo, minimizando interferências visuais e auditivas. A duração total da coleta de dados foi de aproximadamente 30 minutos.

4.4 Tarefa

A tarefa dos participantes foi, para cada uma das condições, a partir do repouso (P1), pedalar uma bicicleta em velocidade máxima até atingir uma demarcação (P2), quando poderiam começar a frear até parar sem atingir o obstáculo, conforme mostra a Figura 5. A manipulação das distintas velocidades foi implementada através da definição de diferentes distâncias na fase de aproximação. 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.

4.5 Análise dos dados

Cada participante teve, em cada condição, três tentativas que foram gravadas em cada uma das seis condições experimentais, que totalizou em 18 tentativas analisadas. Inicialmente, cada uma das tentativas foi gravada em formato digital (padrão DVD); a seguir, as tentativas foram transferidas para o microcomputador e processada para obter os respectivos dados numéricos. Cada tentativa resultou

numa linha inicial de identificação, seguida por duas colunas de dados referentes às medidas da freada e do deslocamento; cada linha representou um instante no tempo (obtido de cada quadro de vídeo). Rotina escrita em linguagem Matlab gerou uma figura para cada tentativa, para checagem dos dados que seriam submetidos à análise estatística posteriormente (Figura 6).

Os respectivos dados foram utilizados para calcular as seguintes variáveis dependentes: velocidade no início da freada, distância bicicleta-obstáculo no início da freada, valor de *tau* no início da freada, valor do *tau-dot* durante a fase de desaceleração, a duração da fase de desaceleração e a desaceleração média nesta fase. Os dados de todas as variáveis dependentes foram submetidos à análise de variância de Incerteza (certeza, incerteza) por Velocidade (baixa, média, alta), com medidas repetidas em todos os fatores. Comparações aos pares através do teste de Tukey foram realizadas 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 para todos os testes foi 0,05.

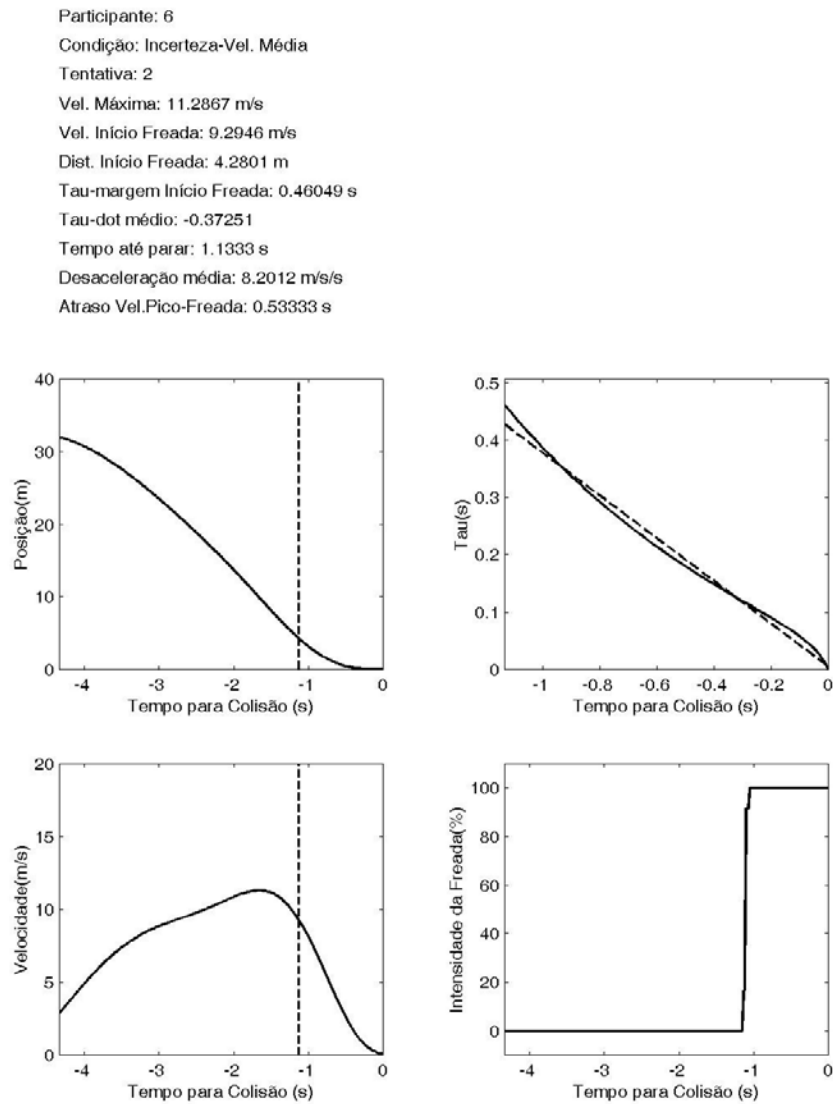


Figura 7. Exemplo de figura gerada pelo software Matlab, contendo as variáveis do estudo na parte superior. O gráfico superior esquerdo mostra a posição da bicicleta ao longo da tentativa; a linha tracejada representa o início da freada, informação obtida pelos dados do gráfico inferior direito, onde é representada a variação da pressão sobre o manete do freio ao longo da tentativa. O gráfico inferior esquerdo mostra a variação da velocidade ao longo da tentativa, no qual a linha tracejada representa o início da freada. O gráfico superior esquerdo representa a variação da variável tau no tempo e a regressão linear cuja inclinação equivale à variável tau-dot.

5 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 imãs no sensor e atraso do pico da velocidade para o início da freada, sumarizam as características espaços-temporais das fases de aproximação e desaceleração do movimento curvilíneo da bicicleta em direção ao obstáculo. Os dados da Tabela 1 estão organizados em função das velocidades baixa, média e alta e das condições de certeza e incerteza sobre a presença do obstáculo.

Tabela 1: Média (erro padrão) das variáveis do estudo nas combinações de condições de velocidades alta, média e baixa com certeza e incerteza sobre a presença de obstáculo.

Condição de Incerteza	Certeza			Incerteza		
Condição de Velocidade	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa
Velocidade máxima (m/s)**	14.231 (0.715)	10.106 (0.712)	8.448 (0.616)	15.114 (0.480)	10.461 (0.474)	8.325 (0.693)
Velocidade início da freada (m/s)*	9.854 (1.207)	7.892 (0.846)	5.787 (0.678)	10.372 (0.946)	8.077 (0.732)	6.194 (0.912)
Distância início da freada (m)	5.801 (1.591)	5.057 (1.590)	2.689 (0.563)	4.934 (1.238)	4.673 (0.962)	3.144 (0.777)
Tau margem (s)	0.516 (0.104)	0.608 (0.172)	0.427 (0.051)	0.423 (0.075)	0.535 (0.083)	0.455 (0.061)
Tau-dot	-0.393 (0.023)	-0.401 (0.032)	-0.368 (0.010)	-0.374 (0.016)	-0.394 (0.020)	-0.375 (0.014)
Duração da freada (s)	1.129 (0.172)	1.254 (0.195)	1.036 (0.099)	1.002 (0.130)	1.198 (0.122)	1.075 (0.106)
Desaceleração média (m/s/s)**	9.131 (0.579)	6.795 (0.658)	5.624 (0.396)	10.388 (0.580)	6.893 (0.460)	5.646 (0.518)
Passagens pelo sensor (unidades)**	128.667 (4.386)	125.619 (4.304)	115.619 (4.903)	121.810 (4.365)	123.952 (3.153)	114.286 (5.313)
Atraso pico vel. – início da freada (s)	0.532 (0.139)	0.758 (0.414)	0.917 (0.183)	0.589 (0.094)	0.671 (0.209)	0.835 (0.187)

Nota. Efeitos significativos da condição de velocidade: ** $p < 0,001$; * $p < 0,05$. Ver detalhes dos testes post-hoc no texto.

A manipulação da velocidade de aproximação foi bem sucedida, conforme indicam as diferenças significativas na velocidade máxima entre as condições de velocidade alta, média e baixa, $F(2, 12) = 44,45$, $p < 0,001$. Comparações aos pares indicaram diferenças significativas entre as velocidades baixa e média, $p = 0,032$, 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, $F(1,3, 7,7) = 8,18$, $p = 0,018$, com diferenças significativas entre as velocidades baixa e média, $p = 0,036$; as comparações entre as velocidades alta e média e as velocidades alta e baixa não alcançaram significância, $p = 0,286$ e $p = 0,055$, respectivamente. O funcionamento apropriado do equipamento foi evidenciado pela variável “passagens pelo sensor”, que indicam quantos imãs passaram pelo sensor durante cada tentativa (cada passagem pelo sensor representou 1/9 do perímetro do pneu), com diferenças significativas entre as condições de velocidade, $F(2, 12) = 25,03$, $p < 0,001$. As comparações entre as velocidades alta e baixa e as velocidades média e baixa indicaram diferenças significativas, $p = 0,007$ e $p = 0,002$, respectivamente; a comparação entre as velocidades alta e média, no entanto, não alcançou significância.

A variável desaceleração média foi afetada significativamente pelas condições de velocidade, $F(2, 12) = 33,83$, $p < 0,001$. Comparações entre as velocidades alta e média e as velocidades alta e baixa foram significativas, $p = 0,006$ e $p = 0,001$, respectivamente; a comparação entre as velocidades média e baixa não alcançou significância. Efeitos significativos da condição de velocidade não foram encontrados nos dados de distância até o obstáculo no início da freada, de duração da freada e do atraso entre o pico da velocidade e o início da freada.

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* e *tau-dot* não foram significativamente afetados pelos fatores incerteza e velocidade, nem pela interação entre eles. Todos os efeitos principais e interações relativas às variáveis

dependentes utilizadas, que não foram reportados acima, não alcançaram o nível de significância adotado.

6 DISCUSSÃO

O objetivo do presente trabalho foi testar a hipótese de controle visual da freada formulada por Lee (1976) e os efeitos de distintas velocidades e distintos níveis de incerteza sobre as variáveis ópticas *tau* e sua primeira derivada no tempo *tau-dot*. Lee (1976) sugere que condutores de veículos utilizam tau-margem para dar início à freada e *tau-dot* para regular a intensidade da freada até parar com segurança, sem que haja colisão com o obstáculo. Estas variáveis são baseadas na expansão da imagem na retina do sujeito, e não deveriam ser influenciadas por circunstâncias como velocidade de aproximação. As condições de incerteza dos participantes com relação a presença ou não do obstáculo na trajetória curva foi manipulada exploratoriamente para aumentar o grau de semelhança às situações naturais; assume-se que, embora este tipo de incerteza possa perturbar a execução da tarefa de freada e requerer atenção aumentada, ele não deve alterar o modo de processamento de informação visual dos participantes. Assim, semelhantemente ao efeito da velocidade, não esperava-se que a incerteza afetasse significativamente o controle visual da freada através das variáveis tau-margem e tau-dot.

O tipo de trajetória utilizado neste experimento foi o curvilíneo. As velocidades de aproximação foram manipuladas através da determinação de diferentes distâncias de início do movimento da bicicleta em relação ao obstáculo; após passarem pela marca dos 14 metros finais, ponto no qual se iniciava a trajetória curva, os ciclistas deveriam parar de pedalar e poderiam dar início à freada (Figura 5). As diferenças observadas na velocidade máxima da bicicleta e velocidade no início da freada entre as três condições demonstraram, de modo geral, o sucesso desta manipulação, confirmando que os participantes estiveram sujeitos a aproximações com velocidades distintas. A utilização de duas variáveis de velocidade deveu-se à diferença metodológica introduzida no presente estudo em relação a estudos anteriores (e.g., RODRIGUES, BERTOLONI, DENARDI & FERRACIOLI, 2006); a velocidade máxima ocorreu aproximadamente no instante no qual o participante produziu sua última pedalada, enquanto a velocidade no início da freada foi obtida no instante de início da pressão da mão sobre o manete do freio da bicicleta, sendo a segunda, referência para o cálculo das variáveis ópticas tau-margem e tau-dot no presente estudo. A diferença temporal entre estes dois

instantes foi mensurada através da variável atraso pico da velocidade – início da freada, que, interessantemente, não foi afetada pelas condições de velocidade, o que revela que este atraso constante, em média de aproximadamente 700ms, não deu grande margem a modulações do momento do início da freada ao longo das condições. Isto indica, não apenas um aspecto meramente metodológico, mas a importância da informação temporal sobre outras potenciais variáveis de controle disponíveis aos participantes. Adicionalmente, a ausência de efeito da incerteza sobre estas variáveis confirma que tanto em situação de certeza quanto em situação de incerteza, os participantes estiveram sob condições experimentais semelhantes, outro aspecto bem sucedido do controle experimental. A relativa consistência dos valores da variável “passagem pelo sensor” mostra também a adequação do método utilizado para a obtenção e análise dos dados.

Assim, os resultados parecem sugerir que a hipótese de Lee (1976) foi corroborada; a manipulação de velocidade não afetou as variáveis *tau* e *tau-dot*. Os valores da variável tau-margem, que equivalem à informação de tempo para contato com o obstáculo no instante de início da freada, estão plenamente em acordo com Lee (1976). Esta teoria prevê que os valores de tau-margem não devem ser afetados pela variação da velocidade, pois estão ligados diretamente a padrões invariantes de luz contidas no fluxo óptico. Não foi observado efeito significativo entre as três condições de velocidade. A estratégia de utilizar a variável óptica *tau* como única fonte de informação do tempo-para-colisão tem sido bastante criticada nos últimos anos. Tresilian (1999) diz que há uma infinidade de dicas espaciais disponíveis no ambiente que indicam o momento de dar início à freada, tais como linhas demarcatórias da quadra, tabela de basquete, entre outros. Outro ponto questionável, segundo Tresilian (1999), é que esta teoria não considera a aceleração, variável importantíssima em situações de freada. Em estudo mais recente, Rock, Harris e Yates (2006) estudaram o comportamento da variável óptica *tau-dot* em uma situação real de freada. Neste estudo, concluíram que a melhor forma de representar a freada é utilizar a estratégia de desaceleração ideal, que consiste em um valor de desaceleração que propicie uma freada segura. Segundo eles, a estratégia do *tau* constante para distintas velocidades funciona, de fato, em simulações de freada, mas não em situações reais tais como frear um carro ou uma bicicleta. Os dados do presente estudo não confirmam os argumentos apresentados por Rock, Harris e Yates (2006), uma vez que a situação de freada utilizada não foi

uma simulação e, sim, uma tarefa em contexto altamente realista, inclusive com possíveis efeitos de incerteza sobre a presença do obstáculo.

A informação sobre a taxa de variação de *tau* no tempo, representada pelos valores de *tau-dot*, deveria ser mantida próxima ao valor -0,5 (LEE, 1976); no estudo atual, os valores de *tau-dot* encontrados ficaram próximos a -0,384, independentemente das condições iniciais de velocidade e de incerteza. Esta estratégia chamada de “estratégia de *tau-dot* constante” (BARDY & WARREN JR, 1997, p.610), que busca manter um valor de *tau-dot* a -0,5, tem atualmente sofrido diversas críticas. Uma destas críticas diz respeito ao método utilizado, que é baseado na inclinação da reta de regressão, pois representa apenas um *tau-dot* médio e, de fato, os valores de *tau-dot* estão frequentemente se alterando ao longo do tempo. Bardy e Warren Jr. (1997) sugerem que aproximações de *tau-dot* constante poderiam resultar de estratégias alternativas ou de não controle visual, ou ainda de mecanismos passivos do movimento, e indicam a necessidade de mais estudos sobre as características de *tau-dot*.

O papel crítico da variável óptica *tau-dot* no controle da desaceleração é reconhecido por Bardy e Warren Jr. (1997), mas os autores ponderam 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 margem 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 JR., 1995), a fase final de uma tarefa de beijar e a fase de transporte de uma tarefa de correr e agarrar (WANN et al., 1993). Por outro lado, valores menores que -0,5 foram encontrados quando a velocidade não-zero era exigida no contato, como no estudo da aterrissagem de um salto mortal (LEE, YOUNG & REWT, 1992) e a tarefa de agarrar (ZAAL & BOOTSMA, 1995). Para estes autores, diferentes valores de *tau-dot* podem ser adotados para diferentes tarefas, dependendo do tipo de contato desejado. O valor médio de *tau-dot* de -0,384 no presente estudo parece compatível com estas indicações de acordo com a tarefa, uma vez que a velocidade final requerida neste estudo era zero.

O uso do *tau-dot* médio como ferramenta metodológica do presente estudo pode não ter sido apropriado porque a estratégia de freada parece ter utilizado modulações durante a freada na intensidade de força aplicada pelos participantes no manete do freio. Os dados referentes à utilização do freio indicam que os ciclistas

ajustam a força aplicada ao manete no início da freada, mas geram algumas variações durante a desaceleração. Uma análise qualitativa simples dos dados sobre a intensidade da freada revelam variabilidade no modo que os valores subiram de 0% e atingiram valores máximos (cerca de 90 a 100%); algumas vezes isto ocorreu de modo brusco e intenso (caracterizando uma estratégia de “tudo ou nada” na modulação desta intensidade), mas em outras houve alternância entre apertar e soltar o manete, assim como fazer a aplicação de força de modo mais gradativo.

7 CONCLUSÕES

Em suma, os resultados do presente estudo demonstram que não houve claras diferenças na estratégia de frear uma bicicleta em distintas velocidades e em distintos níveis de certeza sobre a presença do obstáculo na curva. De modo geral, o protocolo experimental utilizado atendeu as necessidades e aos objetivos do teste proposto. Os resultados mostraram que, de modo único, os participantes utilizam as variáveis ópticas *tau-margem* e *tau-dot* para regular, respectivamente, o instante de início da freada e a intensidade da freada para que não houvesse colisão com o obstáculo, independentemente da condição de velocidade ou incerteza. Fatores cognitivos, atencionais e psicológicos resultantes de aumento da velocidade e da incerteza na situação experimental proposta não foram capazes de alterar a utilização da informação de tempo-para-colisão, corroborando a hipótese de Lee (1976).

8 REFERÊNCIAS

BARDY, B. G., & WARREN JR., W. H. Visual control of braking in goal-directed action and sport. **Journal of Sports Sciences**, 15, 607-620, 1997.

LEE, D. N. A theory of visual braking based on information about time-to-collision, **Perception**, v. 5, p. 437-459, 1976.

LEE, D. N.; YOUNG, D. S.; REDDISH, P. E.; LOUGH, S., & CLAYTON, T. M. H. Visual Timing in Hitting and Accelerating Ball. **Quarterly Journal of Experimental Psychology**, 35A, 333-346, 1983.

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**, 32 (6), 1479-1484, 2006.

RODRIGUES, S. T. **Como frear veículo com segurança: Um teste a uso de informação visual e tempo para colisão**. Manuscrito não publicado, Universidade Estadual Paulista, 2002.

RODRIGUES, S. T. O Movimento dos Olhos e a Relação Percepção-Ação In: **Avanços em Comportamento Motor**. Rio Claro, SP: Movimento, 2001, p. 122-146.

RODRIGUES, S. T., BERTOLONI, G. C., FERRACIOLI, M. C., DENARDI, R. A. 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**. , v.1, p.64 - 72, 2006.

RODRIGUES, S. T., VICKERS, J. N., WILLIAMS, A. M. Head, Eye and Arm Coordination in Table Tennis. **Journal of Sports Sciences**. v. 20, p.187 - 200, 2002.
SCHIAVON, R. Controle visual do início e da intensidade da freada em ciclistas: Efeitos da velocidade e do tipo de trajetória. **Relatório de Pesquisa / Fapesp**, 2007.

TRESILIAN, J. R. Visually timed actino: time-out for 'tau'? **Trends in Cognitive Sciences**, 3, 301-310, 1999.

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**, 19 (5), 1053-1065, 1993.

YILMAZ, E. H, WARREN, JR. Visual Control of Braking: A teste of the tau Hypothesis. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, 21, 996-1014, 1995.

ZAAL, F. T. J. M. & BOOTSMA, R. J. The topology of limb deceleration in prehension tasks. **Journal of Motor Behavior**, 27 (2), 197-207, 1995.

Bauru, 05 de dezembro 2011.

Reinaldo Claudemir Venâncio
Aluno

Prof. Dr. Sérgio Tosi Rodrigues
Orientador