

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS DA SAÚDE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA SAÚDE**

**PERCEPÇÃO DA ILUSÃO DE MÜLLER-LYER EM  
MACACO-PREGO (*Cebus* spp.)**

**ELISA SUGANUMA**

**Brasília - DF**

**2006**

**PERCEPÇÃO DA ILUSÃO DE MÜLLER-LYER EM  
MACACO-PREGO (*Cebus* spp.)**

**Orientanda: ELISA SUGANUMA**

**Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. MARIA CLOTILDE HENRIQUES TAVARES**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre junto ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde.

**Brasília - DF**

**2006**

*Dedico este trabalho à minha família e ao Floriano.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde da Universidade de Brasília pela oportunidade de realização do mestrado.

À Professora Dra. Maria Clotilde Henriques Tavares, minha orientadora, pela confiança em mim depositada, pelas críticas e sugestões na elaboração e desenvolvimento do projeto e na confecção da dissertação. Agradeço também pela amizade durante esse tempo de convivência.

Aos Professores Drs. Valdir Filgueiras Pessoa e Bráulio Magalhães Castro, pela atuação como co-orientadores e participação ativa durante toda a elaboração do trabalho, partilhando do vasto conhecimento sobre visão. Suas críticas construtivas foram fundamentais para o desenvolvimento do projeto. Agradeço ainda pelo carinho e pela solicitude.

Aos demais professores do laboratório de Neurociências e Comportamento, principalmente ao Professor Dr. Carlos Tomaz, pelo incentivo ao trabalho e preocupação com o meu futuro profissional.

Ao veterinário Dr. Raimundo Oliveira da Silva e ao Geinaldo Vieira da Silva pelo tratamento dos animais, manutenção do Centro de Primatologia da Universidade de Brasília e pelo auxílio nas mais diversas tarefas necessárias para o desenvolvimento do projeto.

À Victória Monge Fuentes, minha grande companheira de FAL (listo, mani, galleta), pela especial participação na coleta de dados, na elaboração de relatórios e pela sincera amizade.

À Carlos Enrique Uribe Valencio, pelo auxílio na análise estatística dos dados. Agradeço pelo tempo despendido e por sua amizade.

À Ricardo Sussumu Chiba pela elaboração do programa computacional que viabilizou a realização da pesquisa.

À Cláudia Yrlanda Simon pelo auxílio inicial e parceria nos testes com humanos, e à Paola Rabello Vieira pelo apoio incondicional e auxílio técnico (filmagem). Agradeço ainda pela amizade.

Aos alunos do laboratório de Neurociências e Comportamento, especialmente, Úrsula, Ágata, Carina, Edward, Lia, Carolina e Ronald pela troca de conhecimentos, amizade e momentos de descontração.

À Sra. Maria Marta Mariano, secretária do laboratório de Neurociências e Comportamento, e Sra. Edgrês Alves de Sousa, secretária da Pós-Graduação em Ciências da Saúde, pelo auxílio na parte burocrática.

Aos macacos-prego Rosa, Ronaldinha, Salomé, Mila, Drica, Romeu, Pingo, Guga, Reginaldo e Túlio, pela participação e pelas agradáveis tardes na FAL.

Aos meus pais, Mario e Margarida, e aos meus irmãos, Simone e Lucas, por todo amor, dedicação, ensinamentos, conselhos, zelo e carinho durante a minha vida. Agradeço-lhes pelo apoio moral e pela compreensão.

Ao meu amor, companheiro e amigo, Floriano, por sempre estar ao meu lado me apoiando e incentivando, com paciência e bom humor.

Aos amigos, pelo estímulo e sinceros desejos de meu sucesso.

À CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>i</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>v</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS.....</b>	<b>vi</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>viii</b>
<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 PERCEPÇÃO VISUAL.....	2
1.2 ILUSÃO DE MÜLLER-LYER.....	8
1.2.1 Investigações em humanos.....	8
1.2.2 Investigações em animais.....	12
1.2.3 Teorias para a ilusão de Müller-Lyer.....	16
1.3 OUTRAS ILUSÕES EM ANIMAIS.....	21
1.4 RELEVÂNCIA/ JUSTIFICATIVA.....	27
1.4.1 Macaco-prego ( <i>Cebus spp.</i> ).....	28
1.5 OBJETIVOS.....	31
<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>32</b>
2.1 ASPECTOS ÉTICOS.....	33
2.2 LOCAL DE REALIZAÇÃO.....	33
2.3 SUJEITOS.....	33
2.4 EQUIPAMENTOS.....	35
2.5 PROGRAMA COMPUTACIONAL.....	36
2.6 ESTÍMULOS.....	38
2.7 AVALIAÇÃO DO PROTOCOLO.....	39
2.8 EXPERIMENTADORES.....	40
2.9 PROCEDIMENTO.....	40
2.9.1 Modelagem.....	42
2.9.1.1 Fase 1.....	42
2.9.1.2 Fase 2.....	43

2.9.1.3 Fase 3 .....	44
2.9.1.4 Fase 4 .....	45
2.9.2 Teste de ilusão de Müller-Lyer.....	46
2.9.3 Ponto de Igualdade Subjetiva .....	47
2.9.3.1 PIS – sem alhetas.....	47
2.9.3.2 PIS – com alhetas.....	50
2.9.4 Análise dos dados.....	52
2.9.4.1 Modelagem.....	52
2.9.4.2 Teste de ilusão de Müller-Lyer.....	53
2.9.4.3 Ponto de Igualdade Subjetiva.....	53
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>55</b>
3.1 Modelagem.....	56
3.2 Teste de ilusão de Müller-Lyer.....	59
3.3 Ponto de Igualdade Subjetiva.....	61
<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>70</b>
4.1 Modelagem.....	71
4.2 Teste de ilusão de Müller-Lyer.....	73
4.3 Ponto de Igualdade Subjetiva.....	75
<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>80</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>83</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>92</b>
Anexo 1. Parecer da Comissão de Ética no Uso de Animais em Pesquisa 1.	
Anexo 2. Parecer da Comissão de Ética no Uso de Animais em Pesquisa 2.	
Anexo 3. Ficha experimental utilizada para o registro dos dados.	
Anexo 4. Código dos estímulos utilizados nas fases da modelagem e nos testes de Müller-Lyer e PIS sem e com alhetas.	

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ângulo visual. Mudanças na distância do objeto resultam em mudanças no tamanho do ângulo visual, apesar do tamanho do objeto permanecer o mesmo. A imagem do objeto  $S_1$ , perto do olho ( $\alpha_1$ ), é maior que a imagem do objeto  $S_2$ , longe do olho ( $\alpha_2$ ).

Figura 2. (a) Três pessoas cuja imagem na retina diminui conforme parecem mais distantes, aparentam ter o mesmo tamanho devido a constância de tamanho. (b) Quando as imagens das pessoas são do mesmo tamanho, a mais distante parece maior.

Figura 3. Ilusão de Müller-Lyer. (a) O segmento de reta com alhetas para fora (direita) é percebido como maior que o outro com alhetas para dentro (esquerda). (b) Configuração que sugere diferença de profundidade.

Figura 4. Ilusão de Ponzo. (a) As duas retas horizontais são do mesmo tamanho, mas a que está mais próxima ao ápice (superior) aparenta maior. (b) Os trilhos da estrada de ferro resultam na mesma imagem na retina das linhas laterais da ilusão de Ponzo, indicando claramente a distância por perspectiva.

Figura 5. (a) Ilusão de Zöllner: as retas verticais paralelas aparentam inclinadas devido à presença das retas transversais. (b) Ilusão horizontal-vertical: o segmento de reta vertical parece maior que o segmento de reta horizontal.

Figura 6. Quadrado de Kanizsa.

Figura 7. Representação utilizada para a investigação da ilusão de Müller-Lyer e para o cálculo do Ponto de Igualdade Subjetiva (PIS).

Figura 8. Exemplo de estímulos usados no experimento com pombos para investigação da ilusão de Müller-Lyer.

Figura 9. Figura de Müller-Lyer modificada. Os sujeitos com os membros estendidos aparentam maiores que os com os membros contraídos.

Figura 10. Esquema do efeito chamado “inibição lateral”. A estimulação de B inibe a resposta de A.

Figura 11. Versões da ilusão de Müller-Lyer com os segmentos de reta omitida e representada por apenas três pontos para cada alheta.

Figura 12. Ilusão de Ponzo.

Figura 13. Ilusão de contorno subjetivo ou Kanizsa. (a) A posição dos círculos incompletos forma a imagem subjetiva de um quadrado na posição superior, médio e inferior. (b) Conformação no qual não ocorre a formação do contorno ilusório.

Figura 14. As linhas convergentes induzem a percepção de um trapézio quando na realidade é apresentado um quadrado (esquerda).

Figura 15. O estímulo da esquerda apresenta o efeito ilusório da formação do contorno de um quadrado, enquanto que o estímulo da direita tem este efeito reduzido.

Figura 16. Estímulos do teste de ilusão de Zöllner. A primeira figura à esquerda é composta de retas paralelas, mas aparentam inclinadas devido à presença das retas transversais.

Figura 17. Vista externa dos viveiros de *Cebus* spp.

Figura 18. Macaco-prego (*Cebus* spp.)

Figura 19. Aparato experimental. (a) Parte anterior; (b) Parte posterior.

Figura 20. (a) Painel principal do programa ILU. (b) Exemplo de tabela gerada para cada sessão.

Figura 21. Elementos que compõe a figura de ilusão de Müller-Lyer.

Figura 22. Fêmea de macaco-prego (*Cebus* spp.) respondendo a uma tentativa de teste.

Figura 23. Seqüência de realização das fases da modelagem e dos testes.

Figura 24. Exemplo de estímulos utilizados na fase 1. (a) Estímulo localizado na metade superior. (b) Estímulo localizado na metade inferior.

Figura 25. Exemplo de estímulos utilizados da fase 2. (a) Segmento de reta maior na metade inferior. (b) Segmento de reta maior na metade superior.

Figura 26. Exemplo de estímulos utilizados na fase 3. (a) Segmentos de reta com alhetas para fora. (b) Segmentos de reta com alhetas para dentro.

Figura 27. Exemplo de estímulos utilizados na fase 4. (a) Segmento de reta maior com alhetas para fora. (b) Segmento de reta maior com alhetas para dentro.

Figura 28. Exemplo de estímulo do teste de Müller-Lyer.

Figura 29. Exemplo de estímulos com 30% de diferença. (a) Estímulo do teste PIS – sem alhetas. (b) e (c) Estímulos do teste PIS – com alhetas. Na figura b o segmento de reta maior está acompanhado de alhetas para fora e na figura c o segmento de reta maior possui em suas extremidades alhetas para dentro.

Figura 30. Número de tentativas para o grupo de *Cebus* spp. nas quatro fases da modelagem. O número de tentativas é apresentado em medianas e variação entre quartis contendo 50% dos valores. Valores extremos não foram representados na figura. \*  $p \leq 0,03$  nas comparações das fases 1 e 2 com todas as fases.

Figura 31. Número de tentativa para os sujeitos (*Cebus* spp.) experientes e não-experientes atingirem o critério de aprendizagem nas quatro fases da modelagem. O número de tentativas é apresentado em medianas e variação entre quartis contendo 50% dos valores. Valores extremos não foram representados na figura. \*  $p = 0,043$ .

Figura 32. Média da porcentagem de escolha do segmento de reta com alhetas para fora e para dentro no teste de ilusão de Müller-Lyer propriamente dito.

Figura 33. Tempo médio de resposta em milissegundos (ms) de fêmeas e machos no teste de Müller-Lyer (ML). As barras indicam o erro-padrão da média. \*  $t = -4,044$ ;  $p < 0,001$ .

Figura 34. Seqüência do teste e porcentagem de acerto em cada etapa da fêmea 1 nos testes PIS – sem alhetas e PIS – com alhetas.

Figura 35. Seqüência do teste e porcentagem de acerto em cada etapa da fêmea 2 nos testes PIS – sem alhetas e PIS – com alhetas.

Figura 36. Seqüência do teste e porcentagem de acerto em cada etapa da fêmea 3 nos testes PIS – sem alhetas e PIS – com alhetas.

Figura 37. Seqüência do teste e porcentagem de acerto em cada etapa da fêmea 4 nos testes PIS – sem alhetas e PIS – com alhetas.

Figura 38. Seqüência do teste e porcentagem de acerto em cada etapa da fêmea 5 nos testes PIS – sem alhetas e PIS – com alhetas.

Figura 39. Seqüência do teste e porcentagem de acerto em cada etapa do macho 1 nos testes PIS – sem alhetas e PIS – com alhetas.

Figura 40. Seqüência do teste e porcentagem de acerto em cada etapa do macho 2 nos testes PIS – sem alhetas e PIS – com alhetas.

Figura 41. Seqüência do teste e porcentagem de acerto em cada etapa do macho 3 nos testes PIS – sem alhetas e PIS – com alhetas.

Figura 42. Seqüência do teste e porcentagem de acerto em cada etapa do macho 4 nos testes PIS – sem alhetas e PIS – com alhetas.

Figura 43. Média de PIS – sem alhetas e PIS – com alhetas para fêmeas e machos. As barras indicam o erro-padrão da média.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Pares de segmentos de reta utilizadas no teste PIS sem alhetas e com alhetas, e as diferenças em porcentagem em centímetros.

Tabela 2: Z de Wilcoxon e valor de p com ajuste de Bonferroni para o grupo de *Cebus* spp. nas diferenças entre as fases da modelagem.

Tabela 3: Comparação do desempenho de *Cebus* spp. dentro de cada fase de modelagem em função do gênero.

Tabela 4. Valores em porcentagem e em centímetros de PIS – sem alhetas e PIS – com alhetas, e da diferença entre estes valores.

## LISTA DE ABREVIATURAS

cm.....	centímetros
m.....	metros
ms.....	milissegundo
ML.....	Teste de Müller-Lyer
PIO.....	Ponto de Igualdade Objetiva
PIS.....	Ponto de Igualdade Subjetiva
V1.....	córtex visual primário
V2.....	córtex visual secundário

## RESUMO

As ilusões visuais são formadas devido às diferenças entre a percepção de uma figura e suas características físicas reais. Uma das ilusões geométricas mais estudada e conhecida é a ilusão de Müller-Lyer que consiste no julgamento de dois segmentos de retas paralelas, que apesar de possuírem o de mesmo comprimento são percebidas como se tivessem comprimento diferente. Estes segmentos de reta estão acompanhados de alhetas para fora ou para dentro nas suas extremidades, agindo como indutores que fazem com que estes segmentos de reta sejam percebidos como se tivessem comprimentos diferentes. A investigação da percepção visual ilusória em primatas tem utilizado, em sua maioria, macacos do Velho Mundo. O presente trabalho teve como objetivo investigar a percepção visual frente à ilusão de Müller-Lyer em macacos-prego (*Cebus spp.*), um primata do Novo Mundo, para o qual não há relatos formais sobre o assunto. Para isso, foi desenvolvido um programa computacional que permite a manipulação de parâmetros que afetam a percepção e a possibilita a investigação de ilusões visuais. Foram utilizados 10 sujeitos adultos (cinco machos e cinco fêmeas). Anteriormente aos testes, eles foram modelados a escolher o maior entre dois segmentos de retas paralelas, independentemente da orientação das alhetas. Além do teste para verificar a suscetibilidade à ilusão (ML), também foi investigado o Ponto de Igualdade Subjetivo (PIS sem alhetas e PIS com alhetas), com o objetivo de verificar a magnitude da ilusão. O resultado do teste ML mostrou que todos os sujeitos escolheram preferencialmente o estímulo com as alhetas para fora, não apresentando diferença entre os gêneros. Os valores encontrados para o PIS sem alhetas foram menores que o PIS com alhetas. Portanto, pode-se dizer que os macacos-prego mostraram-se susceptíveis à ilusão e que a posição das alhetas influenciou na percepção do tamanho do segmento de reta.

Palavras-chave: ilusão de Müller-Lyer, macaco-prego, percepção visual.

## ABSTRACT

Visual illusions are formed by the differences between the perception of one figure and its real physical characteristics. The Müller-Lyer illusion is the best known and most studied geometric illusion that consists in the subject's judgment between two parallel lines with the same size, both associated with outward-pointing arrowheads or inward-pointing arrowheads, acting as inductors that make the lines to be perceived to have different sizes. Old World primates had been used to investigate illusory visual perception. This study aimed to investigate the Müller-Lyer illusion in capuchin monkeys (*Cebus* spp.), a New World primate not yet investigated for this illusion. A computer program was developed to permit the manipulation of parameters that affect the perception and allow the investigation of visual illusions. Ten adult subjects (5 females and 5 males) were used. Before the tests, they were trained to discriminate between two physically different lines with and without arrowheads. Regarding the Müller-Lyer test (ML) monkeys exhibited a susceptibility to the illusion. In order to determine the degree of the illusion, It was performed the Point of Subjective Equality test (PSE with arrowheads and PSE without arrowheads) which is based on the estimation of the point where the lines were considered equally long for stimuli with and without arrowheads. The results of the ML test have shown that all subjects chose preferentially the line with inward-pointing arrowheads in the Müller-Lyer test, irrespective of gender. The PSE without arrowheads value were inferior than PSE with arrowheads. Thus, it was demonstrated that capuchin monkeys were susceptible to the illusion once the perception of the lines size were influenced by the arrowheads direction.

Key-words: Müller-Lyer illusion, capuchin monkey, visual perception

## INTRODUÇÃO

---

## **1.1 PERCEPÇÃO VISUAL**

A percepção pode ser definida como o processo de aquisição do conhecimento de fatos particulares acerca do mundo físico, por meio de nossos sentidos (Armstrong, 1966). A maioria de nossas impressões sobre o mundo, incluindo nossas memórias, é baseada na visão (Kandel, Schwartz & Jessell, 2000). Estima-se que a visão seja responsável por mais de 80% da nossa percepção do mundo (Gregory & Colman, 1995).

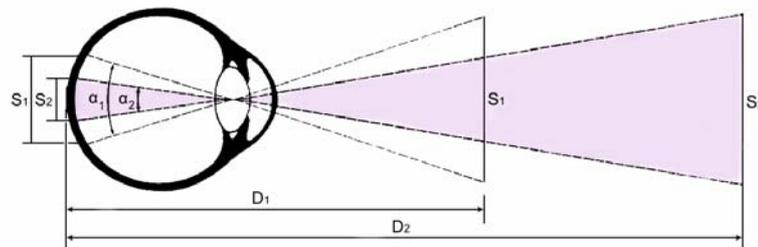
Na retina, as imagens correspondem a padrões de formas claras ou escuras com áreas coloridas, porém não enxergamos padrões e, sim, objetos. As imagens não formam limites claros na retina, mas trazem a presença de objetos separados, distintos. Esta visão final do objeto é realizada pela percepção. Assim, a percepção também poderia ser definida como a interpretação das características não evidentes do objeto a partir de informações sensoriais disponíveis (Ali & Klyne, 1985).

As imagens formadas na retina são essencialmente bidimensionais, porém o mundo é percebido tridimensionalmente (Ali & Klyne, 1985). A retina captura as ondas eletromagnéticas (fótons) dos objetos por meio de seus fotorreceptores, converte esta energia em impulsos elétricos e os transmite para centros específicos do cérebro (Morgan, 1984). As informações recebidas são interpretadas e comparadas com informações armazenadas na memória de experiências anteriores, com o objetivo de atribuir um significado ao que foi captado. Desta forma, a mente percebe e compreende uma realidade física e a converte em realidade visual significativa (Miller, 2000). Todo esse processamento ocorre como uma tentativa da mente em criar uma figura e apresentá-la ao "consciente" (Calvert, 2003).

No entanto, o mundo percebido nem sempre corresponde ao mundo "real", tal como os instrumentos da ciência física o definem e medem. Alguns aspectos são omitidos, outros acrescentados e alguns adulterados (Hochberg, 1982). A percepção pode estar sujeita a erros e quando isso ocorre, são formadas as

ilusões visuais (Shwartz, 1998; Wade, 1998). Este fenômeno visual parece resumir a relação entre imagem projetada na retina e visão (Miller 2000).

As imagens projetadas na retina, de dois objetos de tamanhos idênticos localizados a distâncias distintas do olho, são diferentes. Quanto maior a distância entre o olho e o objeto, menor é a imagem formada na retina (Figura 1). Da mesma forma, um objeto maior, porém mais distante dos olhos, pode projetar uma imagem na retina de tamanho semelhante ao outro menor, localizado mais perto dos olhos (Coren & Ward, 1989).



$\alpha_1$ : ângulo visual de  $S_1$        $D_1$ : distância curta      **S: tamanho do objeto**  
 $\alpha_2$ : ângulo visual de  $S_2$        $D_2$ : distância longa       $(S_1 = S_2)$

Figura 1. Ângulo visual. Mudanças na distância do objeto resultam em mudanças no tamanho do ângulo visual, apesar do tamanho do objeto permanecer o mesmo. A imagem do objeto  $S_1$ , perto do olho ( $\alpha_1$ ), é maior que a imagem do objeto  $S_2$ , longe do olho ( $\alpha_2$ ). (Adaptado de Coren & Ward, 1989).

Para compensar as mudanças da imagem na retina com mudanças na distância visual, o sistema perceptual realiza o fenômeno denominado constância de tamanho (descrito primeiramente por Descartes em 1637). Uma pessoa que está próxima não é vista como sendo maior do que uma outra pessoa que está distante, apesar da diferença do tamanho da imagem projetada na retina (Figura 2a) (Schwartz, 1998). Ao mesmo tempo, três pessoas fisicamente iguais que projetam a mesma imagem na retina não são vistas como de mesmo tamanho quando inseridas em um contexto que provoque diferença no julgamento da

distância. Sendo assim, a pessoa que está mais distante é percebida como maior do que a outra que está mais próxima (Figura 2b).

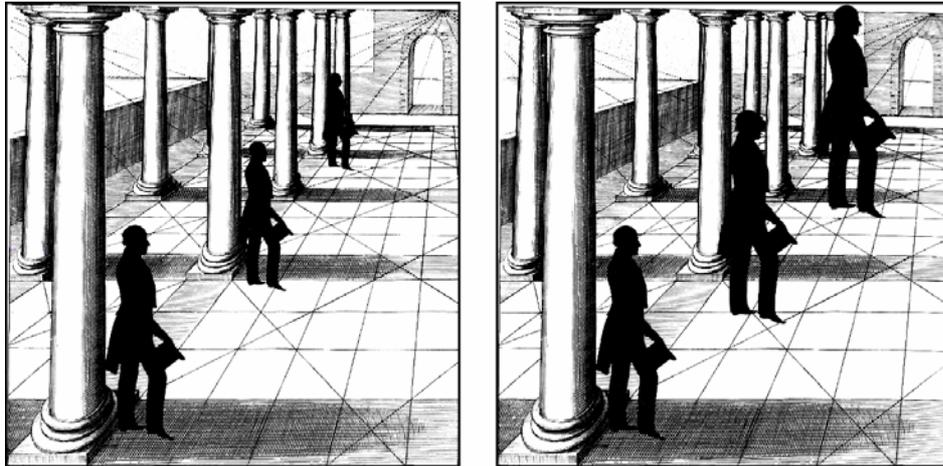


Figura 2. (a) Três pessoas cuja imagem na retina diminui conforme parecem mais distantes, aparentam ter o mesmo tamanho devido a constância de tamanho. (b) Quando as imagens das pessoas são do mesmo tamanho, a mais distante parece maior. (Adaptado de Coren & Ward, 1989).

A configuração ilustrada na figura 2b, em que ocorre o julgamento errôneo do tamanho de estímulos iguais em fundo que sugere profundidade, é considerada como ilusão de corredor (Barbet & Fagot, 2002).

Outras ilusões parecem ser provocadas pelo falso julgamento de distância e, conseqüentemente, pela indução inapropriada da constância de tamanho para compensar a distância aparente. Dentre elas podemos citar as ilusões geométricas de Müller-Lyer e de Ponzo (Gregory, 1966).

A ilusão de Müller-Lyer (Figura 3a) consiste em dois segmentos de reta de mesmo comprimento, porém o segmento que possui as alhetas para fora ( $> <$ ) parece consideravelmente maior em relação àquele que possui alhetas para dentro ( $< >$ ) (Pressey 1967). Na figura 3b, o segmento de reta com as alhetas para dentro (representado em vermelho na janela da bilheteria) pode representar a esquina de uma parede e o segmento de reta com alhetas para fora (representado

em vermelho ao lado da porta) pode representar o canto de uma parede. Devido à operação do mecanismo de constância de tamanho, como os dois segmentos de reta possuem o mesmo comprimento, a esquina da parede que aparenta estar mais perto é percebida como menor, enquanto o canto da parede que aparenta estar mais distante é percebido como maior (Jovanovich, 1989).



Figura 3. Ilusão de Müller-Lyer. (a) O segmento de reta com alhetas para fora (direita) é percebido como maior que o outro com alhetas para dentro (esquerda). (b) Configuração que sugere diferença de profundidade.

Na ilusão de Ponzo (Figura 4a), o segmento de reta mais próximo ao encontro dos segmentos de retas laterais (na figura este segmento de reta corresponde ao superior) aparenta ser maior em relação ao outro (localizado abaixo), apesar dos dois segmentos de reta horizontais serem do mesmo tamanho (Fisher, 1968). Na figura 4b, o trilho de estrada de ferro constitui uma imagem em perspectiva. Colocando dois segmentos de reta paralelos do mesmo tamanho, como na figura linear de Ponzo, o segmento de reta superior é julgado como maior por parecer mais distante que o inferior (Robinson, 1998).

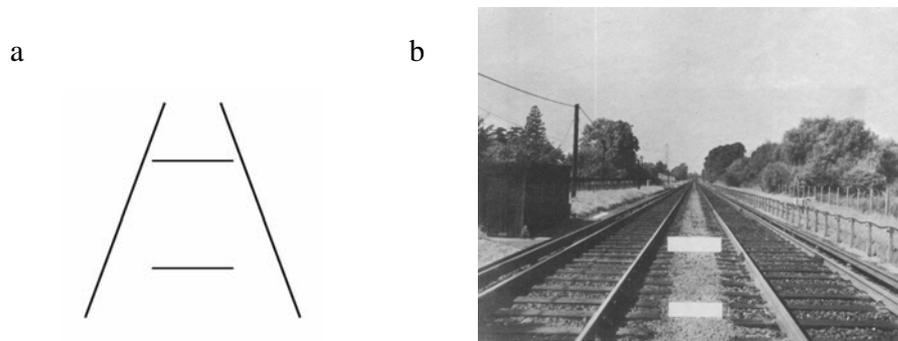


Figura 4. Ilusão de Ponzo. (a) As duas retas horizontais são do mesmo tamanho, mas a que está mais próxima ao ápice (superior) aparenta maior. (b) Os trilhos da estrada de ferro resultam na mesma imagem na retina das linhas laterais da ilusão de Ponzo, indicando claramente a distância por perspectiva. (Adaptado de Gregory, 1966).

Além das duas ilusões comentadas anteriormente, existem outras classificadas como ilusões geométricas. Dentre elas pode-se citar a ilusão de Zöllner e horizontal-vertical. Na ilusão de Zöllner (Figura 5a), os segmentos de retas paralelas não parecem estar paralelas devido às retas oblíquas transversais (Benhar & Samuel, 1982). Na ilusão horizontal-vertical (Figura 5b), apesar dos segmentos de reta serem do mesmo tamanho, o vertical parece ser maior em relação à horizontal (Edwards *et al*, 1993).

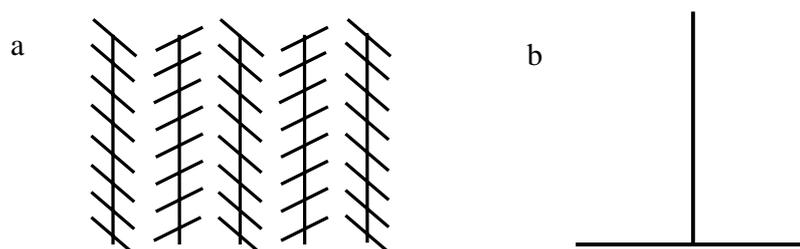


Figura 5. (a) Ilusão de Zöllner: as retas verticais paralelas aparentam inclinadas devido à presença das retas transversais. (b) Ilusão horizontal-vertical: o segmento de reta vertical parece maior que o segmento de reta horizontal.

Uma outra categoria de ilusão é a de contorno ilusório (Figura 6). O “sólido” quadrado no centro da figura parece ter seu contorno bem definido, porém ao percorrer os olhos pelo contorno deste quadrado, observa-se que o mesmo está intercalado por áreas abertas. Dessa forma, sua base física é parcial, sendo complementada pela percepção da continuidade do contorno nas áreas abertas. Se o olhar for fixado no contorno, este desaparece, mas se a figura for olhada por inteiro, o contorno parece ser real (Kanizsa, 1976). Neurônios do córtex visual secundário (V2) parecem estar envolvidos no mecanismo de percepção de contorno (Heydt & Petergans, 1989; Lam & Gilbert, 1989).

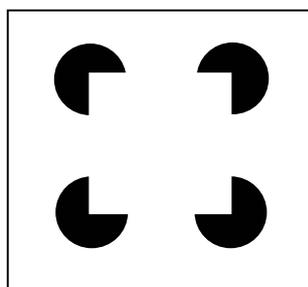


Figura 6. Quadrado de Kanizsa.

Pareceria natural evitarmos as ilusões já que elas contradizem a realidade física, entretanto elas manifestam algumas características biológicas básicas: 1) não se pode ignorar uma ilusão mesmo sabendo que ela não faz sentido fisicamente; 2) a ilusão continua sendo percebida mesmo quando exposta somente a uma fração de segundo. Desta forma, conclui-se que são como reflexos automáticos; 3) as ilusões são percebidas por quase todas as raças e culturas, embora seja verdade que algumas culturas vêem um tipo de ilusão e não outros, ou percebem uma de forma mais exagerada que outras; 4) muitas ilusões continuam sendo percebidas mesmo que a imagem formada na retina seja borrada. Do ponto de vista evolucionário, este aspecto robusto sugere que a ilusão pode ser importante para a sobrevivência; 5) as ilusões são percebidas por várias

faixas etárias, de crianças até idosos. Por nunca desaparecer, deve ser importante para a sobrevivência (Miller, 2000).

## **1.2 ILUSÃO DE MÜLLER-LYER**

Dos estudos realizados sobre ilusão, destaca-se a de Müller-Lyer mencionada anteriormente. Esta ilusão tem sido investigada tanto em seres humanos quanto em animais, verificando-se, entretanto, uma maior quantidade de estudos em humanos.

### **1.2.1 Investigações em humanos**

Uma metodologia adotada para a investigação da ilusão de Müller-Lyer em seres humanos consiste na apresentação de uma única figura de segmento de reta com as alhetas para dentro ou para fora e uma linha de comparação que deve ser ajustada pelo observador de modo que pareça do mesmo comprimento da linha distorcida. Isso fornece uma medida direta da extensão da ilusão (Gregory, 1966).

No entanto, a metodologia mais utilizada consiste na apresentação de um único segmento de reta com as alhetas nas extremidades (uma direcionada para dentro e a outra para fora) e uma no meio, no qual o sujeito deve mover a do meio com o objetivo de colocá-lo exatamente na posição onde julgar corresponder o centro do segmento de reta (Figura 7) (Candland, 1968). A ilusão é definida quando o comprimento real dos segmentos A e B da figura 7 for diferente do comprimento percebido. O centro real do segmento de reta, que o divide em duas partes fisicamente iguais (A e B), é denominado Ponto de Igualdade Objetiva (PIO). Já o ponto percebido como central é denominado Ponto de Igualdade Subjetiva (PIS).

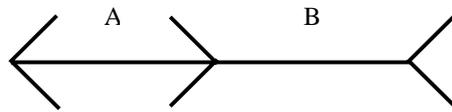


Figura 7. Representação utilizada para a investigação da ilusão de Müller-Lyer e para o cálculo do Ponto de Igualdade Subjetiva (PIS).

O Ponto de Igualdade Subjetiva (PIS) pode ser calculado pelo “Método de Média do Erro”. Na figura 7 os segmentos A e B são inicialmente do mesmo tamanho, mas a alheta do meio é deslocada para a esquerda (sentido descendente) resultando em uma diferença no comprimento dos dois segmentos de reta formada entre as alhetas. Então o sujeito deve deslocar a alheta do meio até o local onde julgar que os dois segmentos de reta possuem o mesmo tamanho. Em seguida, a alheta é deslocada para a direita (sentido ascendente) e o sujeito deve novamente colocá-la na posição que julgar ser o meio. Esta seqüência é repetida outras três vezes. Para obter o valor do PIS calcula-se então a média da média dos valores das tentativas descendentes e ascendentes (Sadza & Weert, 1984).

Apesar do efeito ilusório da configuração de Müller-Lyer ser reconhecido, sua análise não pode ser realizada de forma isolada, visto que ela pode ser influenciada tanto pelos parâmetros gráficos quanto pelas características do sujeito.

A influência da variação dos parâmetros gráficos foi observada em vários estudos: o efeito ilusório diminui com o aumento do contraste entre os segmentos de reta e as alhetas (Dragoi & Lockhead, 1999); quanto maior o ângulo formado entre os dois segmentos de reta que compõe as alhetas, menor o efeito ilusório (Pressey & Martin, 1990); os comprimentos dos segmentos de reta que formam as alhetas correspondentes a 30% do comprimento do segmento de reta principal parece resultar no melhor efeito ilusório percebido (Stuart, Day & Dickinson, 1984).

Além das características físicas dos estímulos, as diferenças no efeito ilusório também podem resultar de variação das características do observador, tais como a idade e o ambiente.

A diferença na susceptibilidade à ilusão de Müller-Lyer entre crianças de diferentes idades foi observada por Rival, Olivier e Ceyte (2003). Segundo os autores, é por volta dos 11 anos de idade que as crianças se tornam mais susceptíveis à ilusão de Müller-Lyer.

Alguns estudos foram realizados com o objetivo de verificar a influência dos fatores ambientais na percepção de ilusão de Müller-Lyer. Na Zâmbia (África), por exemplo, foi observado que estudantes que moravam em casas de construção mais modernas, e supostamente mais retangulares, eram mais suscetíveis à ilusão do que aqueles que moravam em casas tradicionais (Ahluwalia, 1978).

Pedersen e Wheeler (1983) compararam a suscetibilidade da ilusão entre Navajos (índios do Sudoeste dos Estados Unidos) que viveram até os seis anos em casas curvilíneas e retilíneas. Ao final do estudo verificaram que os que cresceram em casas curvilíneas foram significativamente menos susceptíveis à ilusão. O resultado está de acordo com o conceito de que africanos são menos influenciados pela ilusão do que europeus que vivem em uma cultura de construções retangulares.

Hagen (1977) comparou a suscetibilidade para a ilusão entre alunos da zona rural e urbana de Omaha (Nebraska – Estados Unidos) que habitavam moradias semelhantes e verificou que não houve diferença significativa entre os grupos para a ilusão investigada.

Existem evidências de que, além dos processos perceptuais visuais, outros mecanismos estariam envolvidos na percepção da ilusão de Müller-Lyer. Heller e col. (2002) realizaram um estudo em que investigaram a suscetibilidade à ilusão, sobre o ponto de vista tátil, com o objetivo de verificar a influência da experiência visual na percepção da ilusão. Para isso, compararam o desempenho de quatro grupos independentes: um de pessoas com visão normal que utilizavam vendas, um segundo com sujeitos que possuíam baixa acuidade visual, um terceiro de

indivíduos que perderam a visão e um outro de pessoas com cegueira congênitas. Se a experiência visual e a imagem influenciassem na expressão da ilusão, então seria esperado que as pessoas com cegueira congênitas apresentassem resultados diferentes dos outros participantes. Porém, foi observado que todos os sujeitos subestimaram mais o tamanho do estímulo com as alhetas para dentro quando comparado ao estímulo com alhetas para fora. Desta forma, concluiu-se que o efeito da distorção causado pela ilusão tátil deve ser influenciado por outros mecanismos ou fontes de ilusão, além da experiência visual prévia. Os estudos realizados por Suzuki e Arashida (1992) e Gentaz (2004), que também investigaram a percepção da ilusão de Müller-Lyer pelo tato, chegaram ao mesmo resultado.

O estudo de Villard e col. (2005a e 2005b) também sugere que outros mecanismos, além dos processos perceptuais visuais, estejam envolvidos na percepção das ilusões. Eles verificaram que o efeito da ilusão de Müller-Lyer diminui em condições de gravidade zero, o que sugere que o efeito ilusório dependeria de uma integração de outros sinais sensoriais incluindo estímulos gravitacionais e somato-sensoriais.

Alguns estudos sobre a ilusão de Müller-Lyer possuem aplicação prática. Por exemplo, para agradar o consumidor, fabricantes de roupas preocupam-se em confeccionar peças que provoquem a impressão de que a pessoa está mais magra e botas que “tornam” as pernas mais longas. Dentro deste contexto, Morikawa (2003) propôs que o corte alto na lateral da parte de baixo do traje de banho feminino em direção ao quadril, formando a mesma conformação da ilusão de Müller-Lyer com as alhetas para fora, resultava na impressão de que as pernas eram mais longas, já que o limite do seu comprimento passava a ser o quadril. Desta forma, cortes em forma de V na altura do quadril e início das pernas seriam recomendados para as pessoas que pretendem ficar com a aparência de pernas mais longas.

Outros estudos que possuem aplicação prática são os realizados com leitura de mapas. A investigação de Gillam, Schimidt & Hanowski (1999)

demonstrou que as ruas do mapa que possuíam bifurcações para fora pareciam ser mais longas quando comparada com aquelas que possuíam bifurcações para dentro. Em um outro estudo utilizando leitura de mapas através do toque, foi verificado que a ilusão também estava presente em formato tátil, porém marcas ao longo do caminho reduziam o erro na mensuração da distância (Millar & Al-Attar, 2001). Estes estudos são importantes principalmente no sentido de servir como referência para a fabricação de mapas em relevo para pessoas cegas (Heller *et al*, 2002).

Além das aplicações práticas cotidianas, o estudo sobre as ilusões pode contribuir para a maior compreensão da arquitetura neural (Eagleman, 2001).

### **1.2.2 Investigações em animais**

Com base na literatura encontrada, a ilusão de Müller-Lyer foi investigada apenas em moscas e pombos, e nenhum registro foi encontrado para primatas não-humanos.

Geiger e Poggio (1975) investigaram o padrão de movimento dos olhos de moscas quando expostas a figuras de Müller-Lyer e observaram o mesmo padrão encontrado para humanos. A relação entre a resposta motora dos olhos, feita no julgamento de distância, e a avaliação subjetiva do comprimento ainda não está clara. Sendo assim, os autores reconheceram que nenhuma conclusão pode ser tirada quanto à suscetibilidade das moscas para a ilusão de Müller-Lyer.

Dois estudos utilizando protocolos diferentes indicaram o efeito ilusório de figuras com configurações característicos da ilusão de Müller-Lyer em pombos. No estudo realizado por Warden e Baar (1929), dois adultos da espécie *Turtur risorius* foram condicionados a escolher, entre dois compartimentos lado-a-lado, o que continha o segmento de reta menor. Quando respondiam corretamente, recebiam um reforço, mas após respostas incorretas era administrado um choque elétrico de baixa intensidade. Os animais eram privados de alimento por 48 horas, pois caso isso não fosse feito eles não respondiam aos estímulos. Os segmentos de retas

do teste foram apresentados na orientação horizontal e a regra permanecia a mesma para todas as fases, ou seja, a escolha do segmento de reta menor.

Na primeira fase de treinamento, os segmentos de reta possuíam nas suas duas extremidades retas verticais (Figura 8a). Após o aprendizado da regra com estes estímulos, foi acrescentado ao par de segmentos de reta, uma alheta para dentro em uma extremidade e, na outra extremidade uma alheta para fora (Figura 8b). Depois deste treinamento, foi realizado o teste propriamente dito, que consistia em dois segmentos de reta de tamanhos fisicamente iguais, porém um com as duas alhetas para dentro e o outro com as duas alhetas para fora (Figura 8c). Os dois animais escolheram preferencialmente o segmento de reta com as alhetas para dentro devido ao fato de ser percebida como menor, sugerindo o efeito ilusório.

Para verificar se a posição das alhetas estaria influenciando na escolha, os autores fizeram um teste no qual o segmento de reta fisicamente menor possuía as alhetas para fora e o segmento de reta maior para dentro (Figura 8d). O resultado mostrou que os animais continuavam escolhendo o segmento de reta fisicamente menor independentemente da orientação das alhetas.

Para completar o estudo, Warden e Baar (1929) fizeram mais um teste para verificar se os pombos estavam baseando a escolha apenas no tamanho do segmento de reta ou no conjunto do segmento de reta mais as alhetas. Para isso, diminuíram o tamanho do segmento de reta acompanhado de alhetas para fora até o valor no qual as sujeitos julgavam ter o mesmo comprimento da outra com as alhetas para dentro (Figura 8e). Em seguida repetiram o procedimento, porém com os dois segmentos de reta do par acompanhados de uma alheta para dentro em uma extremidade e uma para fora na outra extremidade (Figura 8f). Esta conformação dos estímulos não atribuía características ilusórias ao tamanho do segmento de reta. O valor mínimo do estímulo ilusório (segmento de reta com alhetas para fora) e não ilusório (segmento de reta com uma alheta para dentro e outra para fora) foi comparado e encontrado valores superiores para o último. Desta forma, concluíram que o julgamento não estava baseado simplesmente no

tamanho total do estímulo e sim devido ao efeito ilusório. Entretanto, os autores reconheceram que era necessário verificar o Ponto de Igualdade Subjetiva (PIS) com os segmentos de reta sem alhetas, para que conclusões mais seguras pudessem ser feitas.

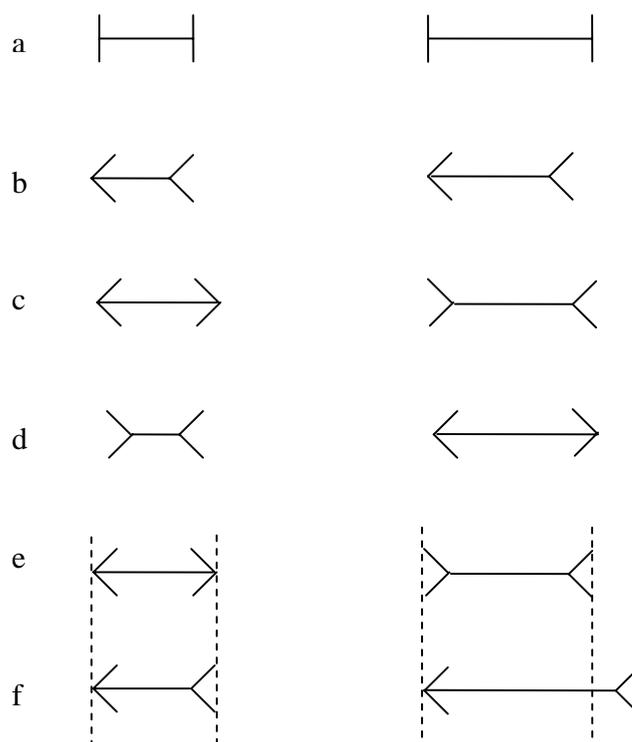


Figura 8. Exemplo de estímulos usados no experimento com pombos para investigação da ilusão de Müller-Lyer. (Adaptado de Warden e Baar, 1929).

O outro estudo que investigou a ilusão de Müller-Lyer em pombo, da espécie *Columbia livia*, não usou o método de comparação entre segmentos de reta de tamanhos diferentes seguida da escolha da menor, mas o condicionamento da escolha de um segmento de reta com comprimento constante. Foram utilizados seis animais mantidos a 70% do peso ideal. Os

estímulos eram transmitidos por um retroprojeter sempre na orientação horizontal. Na fase de treinamento os animais eram reforçados quando respondiam a um segmento de reta de 7 mm com retas verticais nas extremidades e não recebiam reforço quando respondiam a uma imagem apresentada em preto. Após o treino, foram apresentados segmentos de reta com comprimentos maiores e menores que a reta padrão, e os animais só responderam aos segmentos de reta de 7 mm, formando um pico neste valor. Quando apresentado os segmentos de reta com alhetas para fora, o pico de resposta foi similar. Já o padrão de resposta para os segmentos de reta com alhetas para dentro foi diferente. Não houve formação de pico, mas um crescente aumento de resposta até o valor de 13 mm e um suave declínio para os valores acima deste. A conclusão foi de que reta de 13 mm, com as alhetas para dentro, era percebida como sendo do mesmo comprimento do segmento de reta de 7 mm com retas verticais nas extremidades (Malott, Malott & Pokrzywinski, 1967).

A ilusão de Müller-Lyer tem uma possível aplicação no mundo animal, onde a orientação do segmento de reta vertical poderia induzir o medo. Na figura 9 estão representados dois modelos ecológicos sugeridos por Miller (2000) para figuras de ilusão de Müller-Lyer. Em ambas as figuras as retas paralelas possuem o mesmo comprimento, porém a configuração com o contexto para fora seria considerada como um animal grande, fino e amedrontador, enquanto que a configuração com o contexto para dentro, seria considerada possivelmente como um animal pequeno, largo e encolhido. Um inimigo em pé representa um perigo maior que um sentado ou ajoelhado (Figura 9a). Esta observação é reconhecida por todo o reino animal. Ilusões que exageram a forma vertical podem ser consideradas um truque visual que reflexamente exalta um perigo potencial.

Miller (2000) também propôs que a posição das patas de um animal ao correr pode dar pistas ao predador sobre o tempo que a presa levaria para se locomover em um determinado espaço. Para explicar sua teoria utilizou a figura de Müller-Lyer na horizontal modificada (Figura 9b). Suponha um caçador tentando capturar um animal em movimento com uma pedra. Se o animal estiver em

movimento crescente de patas esticadas, seria esperado que chegasse à nova posição mais rapidamente.

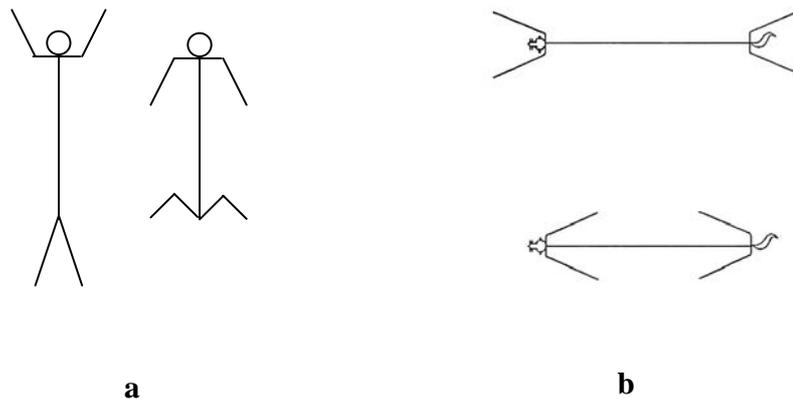


Figura 9. Figura de Müller-Lyer modificada. Os sujeitos com os membros estendidos parecem maiores que os com os membros contraídos (Adaptado de Miller, 2000).

### 1.2.3 Teorias da ilusão de Müller-Lyer

Ao longo dos últimos 150 anos, psicólogos e fisiologistas desenvolveram explicações para a ilusão de Müller-Lyer, resultando na elaboração de teorias sobre o assunto. No entanto, a formulação destas teorias considerou aspectos distintos, que restringe a generalização para diferentes situações.

As teorias desenvolvidas podem ser divididas em duas categorias: teorias “cognitivas” e “fisiológicas”. As teorias cognitivas sugerem que os erros ocorrem quando os conhecimentos ou as estratégias para ver são mal aplicados. Por outro lado, as teorias fisiológicas sugerem que as ilusões ocorrem devido à perturbação nos canais de informação ou nas unidades funcionais que manipulam sinais no sistema visual, e não à impropriedade dos processos pelas quais a informação assinalada está sendo aplicada à situação perceptual.

Entre as teorias cognitivas, a mais conhecida é a de perspectiva de Gregory (1966). Como mencionado anteriormente, a orientação das alhetas provoca um falso julgamento da distância dos segmentos de reta e, com isso, a constância de tamanho é impropriamente induzida para compensar a distância aparente, resultando em erro na percepção do comprimento dos segmentos de reta (Gregory, 1966).

Esta teoria recebeu suporte, em termos neurológicos, com o recente estudo realizado por Weidner e Fink (2006). A partir de neuroimagens obtidas pelo método de ressonância magnética funcional (fMRI), verificaram uma maior atividade no córtex occipital lateral (bilateral) e no córtex parietal posterior, em sujeitos humanos submetidos ao teste de ilusão de Müller-Lyer.

Existem evidências de que o córtex occipital lateral esteja envolvido no reconhecimento e processamento de informações dos objetos (Malach *et al.*, 1995) e que o córtex parietal posterior esteja envolvido no ajuste das representações espaciais (Merriam, Cenovese & Colby, 2003).

De acordo com Weidner e Fink (2006), na ilusão de Müller-Lyer, a ativação do córtex occipital lateral seria o reflexo do processo de integração da figura, como resultando do agrupamento dos segmentos de reta que a compõe. Adicionalmente, esta região estaria envolvida na formação da representação do comprimento dos estímulos. Já a ativação do córtex parietal posterior seria o resultado do processamento da representação espacial desses estímulos. A aplicação da constância de tamanho levaria à alteração posterior da percepção do comprimento dos segmentos de reta. Desta forma, os autores sugerem que esta ilusão seria induzida pela interação destas duas áreas.

No entanto, a perspectiva utilizada por Gregory, em sua teoria, como possível explicação para a ilusão de Müller-Lyer, parece não ser o único mecanismo responsável pelo efeito ilusório, pois existem evidências de que pessoas cegas, pessoas com pouca acuidade visual e pessoas com os olhos vendados são susceptíveis à ilusão de Müller-Lyer em testes com aparato tátil das

figuras ilusórias no qual se presume a ausência aparente de profundidade no estímulo bidimensional apresentado (Schiffman, 2000).

Dentre as teorias fisiológicas podemos citar a de movimento ocular, acuidade limitada e de confusão fisiológica.

A teoria do movimento ocular pressupõe que as características que produzem a ilusão fazem os olhos focalizarem o lugar “errado”. Na ilusão de Müller-Lyer supõe-se que os olhos são atraídos para além dos segmentos de reta pelas alhetas, o que faz os segmentos de reta parecerem de comprimentos errados, ou que os olhos são atraídos para dentro dos segmentos. No entanto, quando as figuras são iluminadas com um *flash* fotográfico nas suas pós-imagens, as distorções ilusórias permanecem inalteradas. Logo, neste caso, os movimentos oculares não podem ser responsáveis pela ilusão. Outra forma de enunciar a teoria, talvez para evitar esta dificuldade na explicação, supõe que as distorções não são produzidas por movimentos oculares reais, mas pela tendência para fazer os movimentos oculares. Esta explicação também pode ser rejeitada já que os olhos só podem movimentar-se ou ter uma tendência para se movimentar numa determinada direção num momento dado, mas as distorções podem ocorrer ao mesmo tempo em qualquer número de direções (Gregory, 1966).

De acordo com a teoria da acuidade limitada, é esperado que na figura de Müller-Lyer o segmento de reta com alhetas para fora pareça excessivamente comprida e a outra, com as alhetas para dentro, pareça demasiadamente curta, caso a acuidade do olho seja tão baixa que o ângulo não possa ser visto com clareza. Isso pode ser demonstrado colocando-se uma folha de decalque sobre as figuras, quando uma ligeira mudança de comprimento possivelmente aparecerá. Contudo, o efeito é pequeno para explicar a ilusão (Gregory, 1966).

A maioria das teorias de confusão fisiológica está baseada na inibição lateral, um processo neural que serve para restringir o estímulo que pode disparar as células do córtex visual do cérebro (Gillam, 1980). Os primeiros a descrever o processo de inibição lateral foram Hartline, Wagner e Rattiff (1956). Este mecanismo nas células da retina está ilustrado na figura 10. Pode-se observar que

a estimulação em A produz uma determinada taxa de atividade na célula ganglionar. Esta não responde quando se estimula B. Porém quando se estimulam A e B simultaneamente a taxa de resposta de A é menor que na estimulação isolada de A. Este é o efeito da inibição lateral: a estimulação de B inibe a resposta de A (Monserrat, 1998).

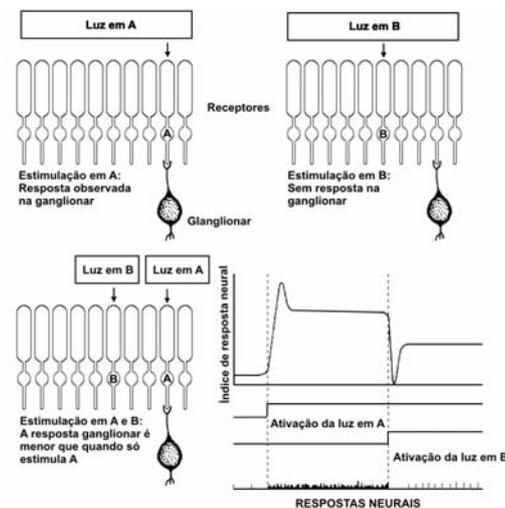


Figura 10. Esquema do efeito chamado “inibição lateral”. A estimulação de B inibe a resposta de A. (Adaptado de Monserrat, 1998).

Para a explicação da ilusão de Müller-Lyer, a teoria também se baseia nas evidências de que neurônios do córtex visual primário ou V1 respondem melhor a estímulos que têm propriedades lineares, como uma linha ou barra. Estas células pertencem a três grandes grupos: o das células simples, o das células complexas e o das células hiper-complexas. As células simples detectam orientação específica, já que respondem a uma linha ou barra negra ou luminosa apresentada com um determinado ângulo em seu campo receptivo. As chamadas células complexas respondem a barras ou ângulos que se movem em certa direção e detectam assim, a direção de um movimento e orientação. As células

hiper-complexas, além da direção do movimento e orientação, detectam certas características de forma, comprimento e largura (Hubel & Wiesel, 1962 e 1965).

Considerando estas informações, foi formulada a teoria de confusão fisiológica, segundo a qual a percepção da orientação da linha é determinada por um pico de atividade das células de orientação-deteção no córtex visual, em que cada célula é ativada por estímulo da linha com escala particular de orientações. A introdução de uma segunda linha com orientação diferente, mas similar, causa uma distribuição diferente na atividade entre as células orientação-deteção, atividade esta que facilita ou inibe a atividade gerada pela primeira linha (Gillam, 1980).

Na ilusão de Müller-Lyer a configuração do segmento de reta com as alhetas para fora contribui duas ou três vezes mais para o total da ilusão do que a reta com as alhetas para dentro (Erlebacher & Sekuler, 1974), porém isso não pode ser explicado por nenhum arranjo plausível das células orientação-deteção (Gillam, 1980). Segundo Gregory (1966), outro aspecto que torna esta teoria refutável é o fato da ilusão continuar ocorrendo mesmo quando os segmentos de reta são omitidos. Ela também persiste quando a figura é reduzida a três pontos para cada alheta (Figura 11). Esta teoria também é falha para outros tipos de ilusão.



Figura 11. Versões da ilusão de Müller-Lyer com os segmentos de reta omitida e representada por apenas três pontos para cada alheta. (Adaptado de Robinson, 1998).

### 1.3 OUTRAS ILUSÕES EM ANIMAIS

A ilusão de Ponzo foi investigada em pombos da espécie *Columbia livia* (Fujita, Blough & Blough 1991; 1993). Três sujeitos mantidos a 80% do peso ideal foram condicionados a escolher dentre dois segmentos, o segmento de reta maior. Quando os segmentos de reta de diferentes comprimentos eram acompanhados de linhas convergentes na lateral, formando a configuração clássica da ilusão de Ponzo, os sujeitos superestimaram o tamanho da reta que estava mais próximo ao ápice das linhas convergentes, o que é característico desta ilusão (Figura 12). Utilizando outro treinamento, não observaram diferença na ilusão entre as configurações de V e V invertido das linhas convergentes. Neste caso, os sujeitos eram condicionados a bicar em um quadrado no canto inferior direito ou esquerdo da tela, que significava menor, quando uma das três retas menores que 5cm era apresentada, e a bicar no quadrado do outro canto, que significava maior, quando uma das três retas maiores que 5cm aparecia. A magnitude da ilusão não se modificou quando as linhas convergentes foram apresentadas em diferentes inclinações formando contextos com perspectiva e sem perspectiva, o que contraria a teoria perspectiva de Gregory (1966). Também não foi encontrada relação entre a distância dos segmentos de reta com as linhas convergentes e a suscetibilidade à ilusão.



Figura 12. Ilusão de Ponzo.

A ilusão de contornos subjetivos ou de Kanizsa foi verificada em gatos por Bravo, Blake e Morrison (1988). Após uma fase de treinamento, os dois animais

usados como sujeitos foram capazes de distinguir um estímulo no qual havia a formação da ilusão e outro no qual não era formada a imagem do quadrado subjetivo. No estímulo considerado ilusório, oito círculos incompletos dispostos em duas fileiras mudavam a rotação e formavam a imagem ilusória do quadrado na posição superior, média e inferior, dando a impressão de movimento do quadrado no sentido vertical (Figura 13a). Já no estímulo considerado não ilusório, os círculos incompletos também sofriam rotação, mas em nenhum momento formavam imagens ilusórias (Figura 13b). Quando foi aumentada a velocidade de rotação dos círculos incompletos, os animais continuaram distinguindo os dois tipos de estímulos. Caso os sujeitos tivessem aprendido apenas a posição das quatro configurações dos círculos incompletos que formam a imagem ilusória do quadrado, com o aumento da velocidade teriam mais dificuldade em detectar o quadrado ilusório, o que não ocorreu.

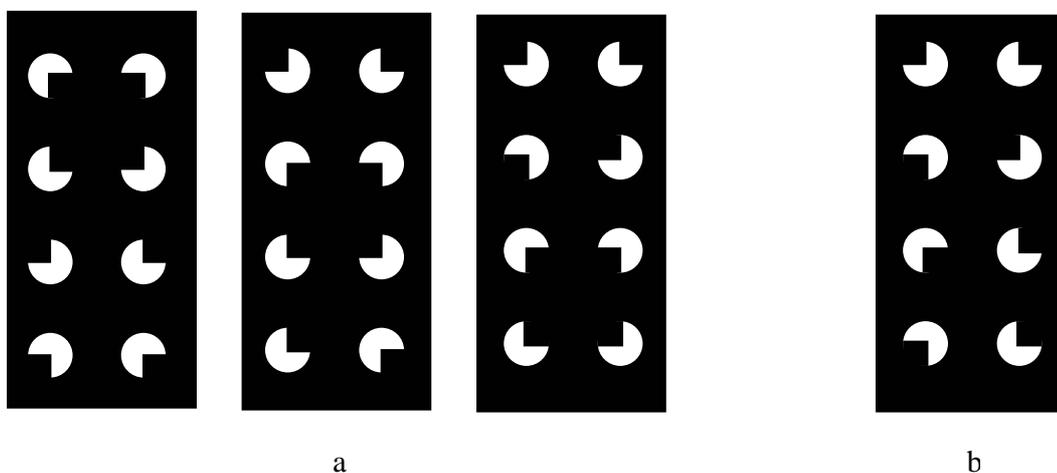


Figura 13. Ilusão de contorno subjetivo ou Kanizsa. (a) A posição dos círculos incompletos forma a imagem subjetiva de um quadrado na posição superior, médio e inferior. (b) Conformação no qual não ocorre a formação do contorno ilusório. (Adaptado de Bravo, Blake & Morrison, 1988).

Dentre as investigações realizadas com primatas, a maioria utilizou espécies de primatas do Velho Mundo. Apenas uma espécie de primata do Novo

Mundo, o *Cebus capucinus*, foi investigada para um tipo de ilusão (horizontal-vertical, Figura 5b). Este estudo foi realizado por Dominguez (1954), sendo o primeiro relato de publicação sobre ilusão visual em macacos. Foi investigada a ilusão horizontal-vertical em dois macacos rhesus (*Macaca mulatta*), um *Cercocebus fuliginosus* e um *Cebus capucinus*. Nesta ilusão, o segmento de reta na posição vertical aparenta ser maior que a que está na posição horizontal apesar de terem o mesmo tamanho. Os sujeitos foram treinados a escolher, entre um segmento de reta na vertical e outro na horizontal, aquele que possuía o menor comprimento. Na sessão de teste no qual eram apresentados pares de segmentos de reta do mesmo tamanho, os sujeitos escolheram preferencialmente os dispostos na posição vertical.

A suscetibilidade de macacos rhesus à ilusão de Ponzo foi verificada por três estudos utilizando protocolos diferentes. No estudo de Bayne e Davis (1983), quatro sujeitos foram treinados a levantar uma das patas quando era apresentada uma figura de um quadrado e a levantar a outra pata quando apresentado uma figura de trapézio com a base maior para cima. Na sessão de teste foram acrescentadas linhas convergentes ao fundo da figura geométrica (Figura 14). As linhas convergentes induziram a percepção da forma de um trapézio quando na realidade era apresentado um quadrado, ou seja, estas linhas produziram o efeito ilusório.

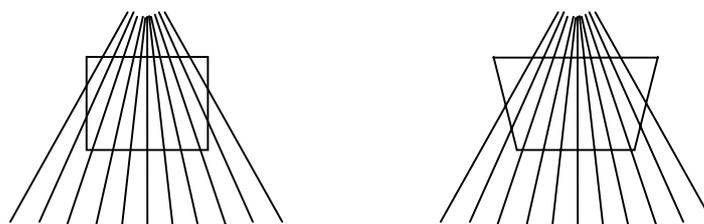


Figura 14. As linhas convergentes induzem a percepção de um trapézio quando na realidade é apresentado um quadrado (esquerda) (Adaptado de Bayne e Davis 1983).

Fujita (1997) utilizou o mesmo protocolo descrito por ele e colaboradores para pombos (vide página 21) na investigação da ilusão de Ponzo em *Macaca mulatta*, acrescentando apenas mais um experimento ao final. Além de três macacos rhesus também investigou a ilusão em dois chimpanzés (*Pan troglodytes*) e em seis humanos. Assim como os pombos, as três espécies foram igualmente sensíveis à ilusão, não mostrando diferença quando apresentadas linhas convergentes em diferentes inclinações formando contextos com perspectiva e sem perspectiva. O último experimento consistia na apresentação de uma reta horizontal com pontos nas duas extremidades a distâncias iguais às das linhas convergentes. Os resultados foram diferentes para cada espécie. Enquanto os rhesus não apresentaram nenhuma modificação na percepção do tamanho das retas com a presença dos pontos, os humanos apresentaram maior sensibilidade quando comparado ao estímulo com retas convergentes. O resultado dos chimpanzés ficou na posição intermediária entre as outras duas espécies.

O outro estudo de Fujita (1996), realizado com dois macacos rhesus e seis humanos, seguiu o mesmo treinamento para os animais. No primeiro experimento, as figuras compostas de um segmento de reta na posição superior, média ou inferior acompanhadas de linhas convergentes nas laterais foram colocadas sobre uma fotografia real de uma estrada em linha reta. A fotografia podia aparecer na posição normal ou invertida. No segundo experimento as linhas convergentes foram retiradas. Os resultados para os macacos mostraram que não houve diferença na magnitude da ilusão entre a figura apresentada isoladamente e quando esta era colocada sobre as duas posições da fotografia. Quando as linhas convergentes foram retiradas, o resultado para a fotografia com posição normal foi similar ao do primeiro experimento, porém um pouco menos ilusório. Já em humanos, o efeito ilusório foi bem maior na condição de foto normal quando comparado com a de foto invertida e com a figura sem nada ao fundo. Este efeito permaneceu similar quando foram retiradas as linhas convergentes. O estudo mostrou que as linhas perspectivas presentes na fotografia provocaram o efeito ilusório nas duas espécies, porém a magnitude da ilusão foi diferente.

A ilusão de contorno foi investigada em chimpanzês (*Pan troglodytes*) no estudo realizado por Fagot e Tomonaga (2001). Dois sujeitos foram treinados a escolher entre dois estímulos, que possuíam as figuras típicas dos contornos ilusórios de quadrados, ambos com retas perpendiculares nos seus lados. No entanto, uma das figuras (Figura 15b) tinha o efeito da ilusão diminuída em relação à outra (Figura 15a) devido ao comprimento e localização destas retas perpendiculares. Os resultados mostraram que os sujeitos foram capazes de distinguir entre as figuras que possuíam os efeitos diminuídos pelas retas perpendiculares e os outros com retas que não alteravam o efeito ilusório.

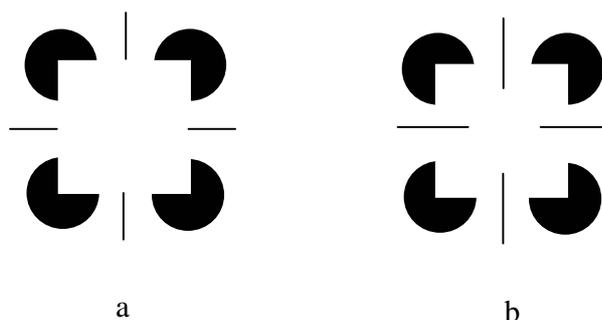


Figura 15. O estímulo da esquerda apresenta o efeito ilusório da formação do contorno de um quadrado, enquanto que o estímulo da direita tem este efeito reduzido (Adaptado de Fagot e Tomonaga, 2001).

Babuínos da espécie *Papio anubis* mostraram susceptibilidade à ilusão de Zöllner no estudo de Benhar e Samuel (1982). Neste tipo de ilusão, segmentos de reta paralelos parecem inclinados devido à presença de segmento de retas oblíquas transversais. Utilizando um aparato manual, dois animais foram condicionados a escolher, entre três estímulos, o diferente. Na primeira fase do treinamento, eram apresentados dois estímulos iguais compostos de quatro retas paralelas e um no qual as retas estavam inclinadas e possuíam retas transversais. Em outra configuração todos os estímulos possuíam retas transversais, porém

dois apresentavam as retas inclinadas e mais espessas e o terceiro possuía retas paralelas. Na segunda fase, foram usadas duas configurações que se diferenciavam pela espessura das retas e presença ou não de retas transversais nos três estímulos. Dois estímulos eram compostos por retas inclinadas e um por retas paralelas. Na terceira fase, as duas configurações eram formadas por dois estímulos com retas inclinadas, porém um com retas transversais e o outro sem, e o terceiro estímulo era formado por retas paralelas e com retas transversais. A diferença entre as configurações consistia no fato de que as duas retas paralelas eram espessas e a outra tinham espessura normal. O teste propriamente dito era formado por um estímulo com retas inclinadas, um com retas espessas paralelas e um composto por retas paralelas com retas transversais (estímulo ilusório) (Figura 16). Os dois sujeitos escolheram preferencialmente o estímulo com retas espessas paralelas, julgando assim a figura ilusória como sendo composta por retas inclinadas.

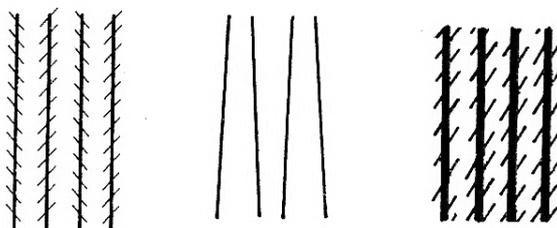


Figura 16. Estímulos do teste de ilusão de Zöllner. A primeira figura à esquerda é composta de retas paralelas, mas aparentam inclinadas devido a presença das retas transversais. (Fonte: Benhar & Samuel, 1982).

Um outro estudo com babuínos, porém da espécie *Papio papio*, mostrou a sensibilidade à ilusão de corredor (Barbet & Fagot 2002). Este tipo de ilusão consiste no julgamento errôneo do tamanho de estímulos fisicamente iguais em fundo que sugere profundidade. Quatro animais foram treinados a mover uma

alavanca quando era apresentada, na tela do monitor, duas pessoas de tamanhos diferentes e a não realizar movimento quando as pessoas tinham o mesmo tamanho. O fundo podia ser composto por imagens do tipo tridimensional, bidimensional ou a mistura dos dois. Os sujeitos apresentaram mais erros no julgamento do tamanho das pessoas em fundo tridimensional, o que sugere diferença de profundidade, e que indica a percepção do efeito ilusório também para esse primata.

Como mencionado anteriormente, o único relato oficial sobre investigação da percepção visual ilusória em primata do Novo Mundo é o estudo de Dominguez (1954), no qual foi testada a ilusão horizontal-vertical na espécie *Cebus capucinus*. Nenhum relato oficial foi encontrado sobre percepção do efeito ilusório das configurações representativas da ilusão de Müller-Lyer em macaco-prego.

#### **1.4 RELEVÂNCIA/JUSTIFICATIVA**

A ilusão visual é um fenômeno perceptual presente em animais e nos seres humanos. Do ponto de vista evolucionário, a persistência desta característica mantida pelo sistema nervoso sugere que a ilusão pode ser importante para a sobrevivência. A investigação da percepção ilusória em animais pode não apenas endossar a justificativa para a sua utilização enquanto modelos – quando similaridades entre humanos e primatas são observadas - como também ter implicações para os modelos da percepção ilusória humana, na medida em que podem sugerir o que é derivado na nossa visão.

Os primatas não-humanos são muito usados como modelo para o estudo de processos básicos, especialmente em neurociências (King *et al*, 1988). Isso se deve ao fato de serem evolutivamente próximos aos humanos e, conseqüentemente, possuírem processos perceptuais básicos similares. O estudo das ilusões em primatas não-humanos pode dar pistas sobre a arquitetura neural humana.

Grande parte, contudo, dos estudos sobre ilusão visual tem sido realizado com macacos do Velho Mundo. Assim, o presente estudo propõe investigar a

percepção visual à ilusão de Müller-Lyer em uma espécie de primata do Novo Mundo (*Cebus* spp.). Ressaltamos que para essa espécie inexistem estudos anteriores, o que indica o caráter inovativo do estudo. Em revisão recente apenas um artigo sobre ilusão foi encontrado para o gênero *Cebus*, porém com outro tipo de ilusão (horizontal-vertical). À luz dos resultados obtidos com os macacos-prego poderemos compreender melhor o fenômeno da percepção visual ilusória em humanos e possivelmente desenvolver um modelo animal para o estudo das alterações perceptuais.

#### **1.4.1 Macaco-prego (*Cebus* spp.)**

Algumas características apresentadas pelos macacos-prego o tornam interessante para o presente estudo. Ele é amplamente distribuído em grande parte da América do Sul, podendo ser encontrada em praticamente todo o território brasileiro, o que é um indicativo de sua grande capacidade adaptativa (Janson & Boinski, 1992). Possui capacidade de solucionar problemas utilizando uma regra abstrata (Tavares & Tomaz, 2002), capacidade de utilizar ferramentas como auxílio na realização de algumas atividades (Visalberghi & Limongelli, 1994), além de apresentar comportamento cooperativo para obtenção de uma recompensa (De Waal & Berge, 2000).

Outra característica importante do macaco-prego é que ele é um dos primatas não-humanos que possui maior coeficiente de encefalização, isto é, volume cerebral em relação ao peso corporal (Napier & Napier, 1985). Esta relação é aceita como um indicativo indireto de capacidade cognitiva desenvolvida, ou seja, espécies de cérebros “grandes” possuem, em especial, maior capacidade de construção mental do que outras (Jerison, 1973).

Algumas similaridades são encontradas em termo de visão de macacos-prego e humano. Eles possuem a mesma habilidade para enxergar detalhes finos (acuidade visual) e semelhança na sensibilidade escotópica (sensibilidade à claridade após adaptação ao escuro) (Fragaszy, Visalberghi & Fedigan, 2004).

Com respeito à visão de cores em *Cebus apella*, estudos de genética molecular e eletroretinografia mostraram evidências de que estes animais apresentam um polimorfismo caracterizado por uma tricromacia ou dicromacia, sendo que indivíduos machos teriam apenas fenótipos dicromatas (Jacobs & Neitz, 1987).

A tricromacia está geralmente relacionada à presença de três tipos distintos de cones na retina, que são classificados de acordo com a região do espectro em que absorvem fótons maximamente: cones sensíveis a comprimentos de onda curtos, ou cones S (*short wavelength*); cones sensíveis a comprimentos de onda médios, ou cones M (*middle wavelength*); e cones sensíveis a comprimentos de onda longos, ou cones L (*long wavelength*) (Sumner & Mollon, 2003). Já na dicromacia há perda de um dos três tipos de cones. A tritanopia, deuteranopia e protanopia correspondem à perda dos cones S, M e L, respectivamente (Kandel, Schwartz & Jessell, 2000).

O polimorfismo na percepção de cores em *Cebus apella* também foi encontrado em estudo comportamental realizado por Gomes e col. (2004, 2005). Neste estudo foi investigada a habilidade de cinco machos e três fêmeas da espécie referida em testes de discriminação de cores usando Papéis de Munsell. No sistema de Munsell (1966) a discriminação do matiz é dividida em nove categorias: vermelho (R), amarelo-vermelho (YR), verde (G), azul-verde (BG), azul (B), roxo-azul (PB), roxo (P) e vermelho-roxo (RP). Cada matiz é especificado pelo seu número e a letra, e níveis de brilho sobre saturação (por exemplo, 2YR 6/10 é a notação correspondente a um laranja 2.5, com brilho 6 e saturação 10). Inicialmente os animais foram treinados a virar, entre dois cubos de acrílico, aquele que continha o papel com a cor 'laranja' para terem acesso ao reforço e não o cubo com a cor 'azul'. Nas sessões de teste foram utilizados quatro pares de discriminação fácil (2,5YR *n*/14 versus 10BG *n*/6, 5PB *n*/6, 7,5 *n*/8 e 5B *n*/6; *n* variando de 4 a 7) e um par de discriminação difícil para seres humanos dicromatas (2,5YR *n*/14 versus 7,5GY *n*/10; *n* variando de 4 a 7). Os resultados mostraram que todos os sujeitos escolheram preferencialmente o 'laranja' (2,5YR

*n*/14) nos pares fáceis, porém diante o par de discriminação difícil que envolviam comparações entre o 'laranja' e o 'verde' (2,5YR *n*/14 versus 7,5GY *n*/10) todos os machos e duas fêmeas apresentaram desempenho aleatório. Apenas uma fêmea manteve seu desempenho acima do nível de aleatoriedade em todos os pares testados. Estes resultados sugerem um polimorfismo sexual nos *Cebus apella* para a visão de cores.

Outro aspecto da percepção visual destes macacos concerne ao processamento de formas globais e características isoladas de estímulos visuais hierárquicos. No estudo realizado por Spinozzi, De Lillo e Truppa (2003) foi demonstrado que a espécie possui maior acurácia no processamento de características isoladas quando comparado a formas globais de estímulos hierárquicos. Foi utilizado o método de escolha de acordo com o modelo e os estímulos possuíam forma de círculo, quadrado, losango e letra "X" (formas globais) compostos por pequenos círculos, quadrado, losango e letra "X" (características isoladas). Por exemplo, na conformação global, se o modelo era um círculo formado por pequenos círculos, o estímulo positivo era igual ao modelo e o negativo era um quadrado formado por pequenos círculos. Na conformação local se o modelo era um quadrado formado por pequenos círculos, o estímulo positivo era igual ao modelo e o negativo era um quadrado formado por pequenos quadrados. Também foi encontrado que a diminuição da densidade das características isoladas afetava a habilidade de processamento de formas globais. Sendo assim, os resultados do estudo mostram a superioridade do processamento da informação local em figuras hierárquicas nestes animais.

## 1.5 OBJETIVOS

### *Geral*

Verificar se o fenômeno ilusório está presente em uma espécie de primata do Novo Mundo (*Cebus* spp.), utilizando um programa computacional.

### *Específicos*

- Elaborar um programa computacional que permite a manipulação de parâmetros que afetam a percepção e a investigação de ilusões visuais.
- Investigar o desempenho de sujeitos da espécie *Cebus* spp. em um teste de ilusão de Müller-Lyer.
- Verificar o ponto de igualdade subjetiva (PIS) em estímulos sem alhetas e com alhetas em *Cebus* spp.
- Comparar o desempenho de *Cebus* spp entre gêneros no teste de ilusão de Müller-Lyer.

## MÉTODOS

---

## 2.1 ASPECTOS ÉTICOS

Anteriormente à sua execução, o projeto deste estudo foi encaminhado e aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais em Pesquisa, do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília, conforme parecer apresentado em anexo (Anexos 1 e 2).

## 2.2 LOCAL DE REALIZAÇÃO

O estudo foi realizado no Centro de Primatologia (15°56'45"S, 47°56'20"O) localizado na Fazenda Água Limpa (FAL) da Universidade de Brasília. A FAL possui uma área total de 4.340 hectares e faz parte da Área de Proteção Ambiental (APA) das Bacias do Gama e Cabeça do Veado. O Centro de Primatologia dispõe de viveiros onde foram alojados os animais (Figura 17), sendo estes situados em meio à vegetação local, próximos à mata de galeria.



Figura 17. Vista externa dos viveiros de *Cebus* spp.

## 2.3 SUJEITOS

Participaram deste estudo 10 macacos-prego adultos, sendo cinco machos e cinco fêmeas (Figura 18), mantidos em cativeiro no Centro de Primatologia da Universidade de Brasília, por um período aproximado de 4 a 13 anos.



Figura 18. Macaco-prego (*Cebus* spp.)

Os animais foram mantidos em viveiros em condições de acordo com as normas estabelecidas pelo IBAMA. Cada viveiro continha dimensões de 4m x 2,5m x 3m (comprimento, largura e altura, respectivamente) e possuía uma parte com teto (área interna) e outra cujo teto e laterais consistiam de tela (área externa), o que assegurava aos animais condições naturais de luminosidade, temperatura e umidade. O viveiro continha uma divisão interna com estrutura em tela que permitia separar os animais através da manipulação externa (pelo experimentador) de uma porta tipo guilhotina. Pedacos de madeira simulando troncos de árvores eram pendurados pelo viveiro e o chão era coberto por terra e folhagem seca, trocados periodicamente. Este substrato era adquirido de ambientes naturais do cerrado que circundava os viveiros e não sofria nenhum tipo de processamento, de forma que continha gravetos, pedras, minhocas e outros componentes encontrados em terrenos naturais. Estas características dos viveiros proporcionavam uma maior aproximação com o ambiente natural e uma fonte de enriquecimento ambiental.

Os animais foram mantidos em casais ou grupos de três, exceto para um animal mantido isoladamente, e foram alimentados uma vez ao dia (07:30h da manhã) com uma dieta à base de frutas, fibras, legumes, ovos, ração, tenébrio, e suplementos vitamínicos. A água foi fornecida *ad libitum*, exceto durante as sessões experimentais.

Eles foram testados nos seus próprios viveiros, evitando assim o estresse da captura, transporte e restrição, possibilitando otimizar o seu desempenho comportamental (Savage, Dronzek e Snowdon, 1987). O animal a ser testado era separado de seu (s) companheiro (s) durante as sessões experimentais, por meio de uma porta guilhotina que dividia internamente o viveiro, tendo livre movimento na área interna. Cada animal foi testado individualmente e em nenhum momento foi privado de alimento, inclusive nas sessões experimentais.

Inicialmente 14 animais foram submetidos a sessões de habituação com o aparato experimental, porém quatro (dois machos e duas fêmeas) não atingiram o critério de aprendizagem, que consistia em associar o toque em qualquer parte do monitor com a liberação do reforço, ficando fora do experimento.

Nenhum dos sujeitos tinha experiência prévia em teste de ilusão visual. Três machos e quatro fêmeas já haviam sido submetidos a testes de memória realizados com o uso de computador com tela sensível a toque, e uma fêmea e dois machos eram ingênuos em relação ao uso de computador.

## **2.4 EQUIPAMENTOS**

Para a coleta de dados foi utilizado um microcomputador portátil (Acer, TravelMate 521TE, processador Intel Pentium 3 de 596 MHz, 64 MB de memória RAM, 5,56 GB de HD) acoplado a um monitor de 15" com tela sensível ao toque (LG Studio Works 440, Microtouch). Um dispensador de pelotas de ração (Med Associates Pellet Dispenser 190mg, ENV2003) foi operado de forma manual por um dos experimentadores.

Os equipamentos foram montados em um carro de madeira sobre quatro rodas que permitia o deslocamento do equipamento entre os viveiros. A parte anterior do carro possuía uma abertura na qual o monitor sensível ao toque era exposto aos macacos e uma segunda abertura por onde se projetava uma mangueira de borracha através da qual uma pelota de ração de 190 mg com sabor banana ou chocolate (P.J. Noyes, Lancaster, NH) era liberada (Figura 19a). A

parte posterior do carrinho permitia o acesso dos experimentadores aos equipamentos (Figura 19b).



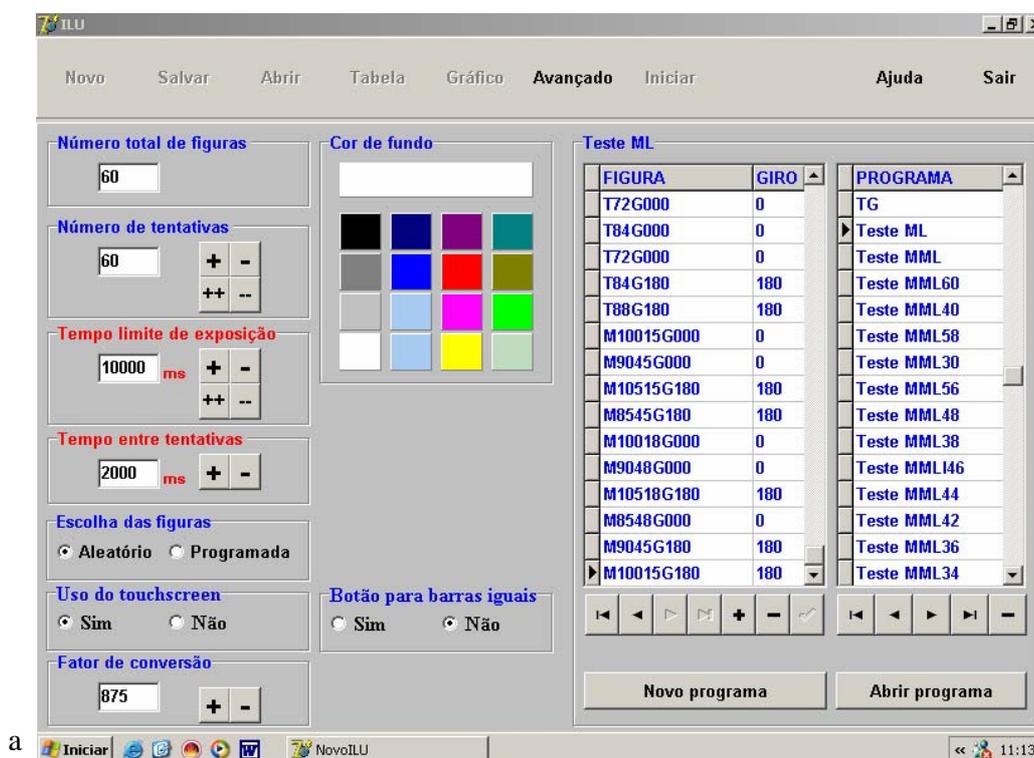
Figura 19. Aparato experimental. (a) Parte anterior; (b) Parte posterior.

## 2.5 PROGRAMA COMPUTACIONAL

Para gerar os testes de percepção visual ilusória foi desenvolvido um programa computacional denominado ILU. Este programa permitia a manipulação de diversos parâmetros de teste que reconhecidamente afetam a percepção e a investigação de diferentes tipos de ilusões visuais. O programa foi desenvolvido pelo biólogo Ricardo Sussumu Chiba, utilizando linguagem Delphi, versão 5.0, com sistema operacional Windows 98.

O programa ILU permite a apresentação de figuras ilusórias desenhadas em programa gráfico de forma aleatória ou programada, a manipulação de parâmetros tais como o tempo de exposição do estímulo, determinação do intervalo entre os estímulos, número de tentativas e cor do fundo da tela. Além

disso, permite habilitar as respostas ao teste para uso de “mouse” ou de monitor sensível a toque (Figura 20a). Tanto a apresentação dos estímulos quanto as respostas corretas, erradas ou não respondidas eram acompanhadas de um estímulo sonoro determinado pelo experimentador. Os dados obtidos para cada teste realizado foram armazenados em disco rígido e puderam ser visualizados em formato de tabelas contendo informações tais como sujeito, experimentador, sessão, data e hora de início e fim do experimento, figuras testadas, ordem de apresentação das mesmas, desempenho do sujeito e o tempo de resposta do sujeito a cada tentativa de teste (Figura 20b). Arquivos individuais contendo o histórico de cada sujeito em termos dos testes realizados são disponibilizados pelo programa, o que permite a impressão dos arquivos ou o seu armazenamento em disco rígido ou flexível.



a

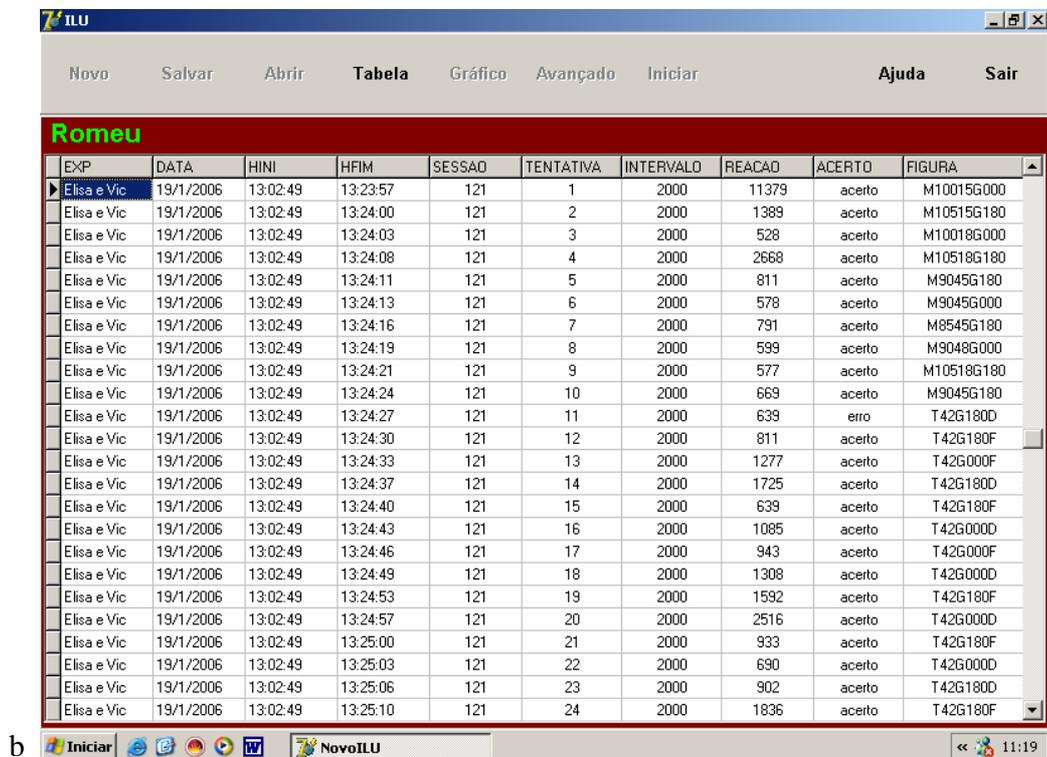


Figura 20. (a) Painel principal do programa ILU. (b) Exemplo de tabela gerada para cada sessão.

## 2.6 ESTÍMULOS

O programa computacional CoreIDRAW, 12.0, foi utilizado para a criação dos estímulos visuais, figuras componentes da ilusão de Müller-Lyer. Foram desenhados segmentos de reta sem alhetas, pares de segmentos paralelos de reta sem alhetas e pares de segmentos paralelos de reta com alhetas, com orientação horizontal ( $0^\circ$ ), espessura de 1,0 mm, comprimento do segmento de reta variando de 1,5 a 10,5cm e distância entre as retas de 5,0 cm. As alhetas presentes nas extremidades dos segmentos de reta podiam estar orientadas para dentro ou para fora. As alhetas da modelagem eram compostas por dois segmentos de 2,5cm formando uma angulação fixa interna de  $90^\circ$  (Figura 21). Já as alhetas dos estímulos de teste tinham o tamanho correspondente a 30% do

segmento de reta principal. Depois de desenhadas, as figuras foram copiadas e coladas em quadrados brancos de 600x600 pixels de área no Corel PHOTO-PAINTE 12 e gravadas em formato bitmap (BMP) do Windows.

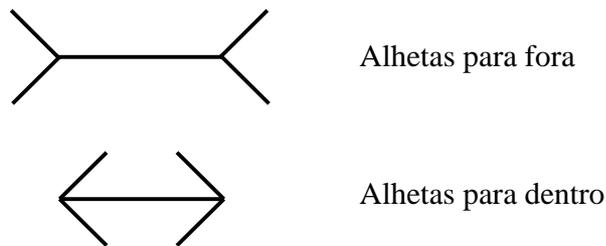


Figura 21. Elementos que compõe a figura de ilusão de Müller-Lyer.

Os estímulos foram apresentados de forma binocular e eram monocromáticos (pretas). Cada estímulo recebeu um código que identificava todas as suas características. Por exemplo, o estímulo denominado M8548G000 foi usado na fase de modelagem (M); o segmento de reta maior possuía o comprimento de 8,5 cm e o segmento de reta menor de 4,8 cm; o giro (G) ou orientação dos segmentos de reta era de  $0^\circ$  (horizontal) com o segmento de reta maior na posição superior; quando a orientação da reta era  $180^\circ$  (G180), a reta maior ficava localizada na posição inferior. A tabela completa dos estímulos utilizados encontra-se em anexo (Anexo 3).

## 2.7 AVALIAÇÃO DO PROTOCOLO

Anteriormente ao início dos testes com os animais, foi realizado teste com seres humanos utilizando estímulos do presente estudo. Trinta sujeitos (15 mulheres e 15 homens) foram submetidos a uma sessão experimental contendo 60 tentativas. Os estímulos apresentaram o efeito ilusório esperado mostrando-se eficientes para a investigação da ilusão de Müller-Lyer.

## 2.8 EXPERIMENTADORES

Todas as fases da modelagem e do teste foram realizadas pela mesma experimentadora que já possuía experiência prévia em testes comportamentais com a espécie utilizada. Uma segunda experimentadora auxiliou na anotação de informações adicionais sobre o desempenho dos animais em cada sessão realizada. A ficha de preenchimento destas informações está apresentada em anexo (Anexo 4).

## 2.9 PROCEDIMENTO

O carrinho com o aparato experimental era colocado em frente ao viveiro do sujeito, de forma que a tela do monitor ficasse voltada para o interior do viveiro do animal a uma distância aproximada de 20 cm do seu olho, porém como eles não foram contidos para a realização do teste, podiam ter livre movimentação. Para a realização da modelagem e do teste, os sujeitos tinham que passar a pata por entre a grade da porta do viveiro e tocar o estímulo apresentado na tela do monitor com uma ou as duas patas (Figura 22).



Figura 22. Fêmea de macaco-prego (*Cebus* spp.) respondendo a uma tentativa de teste.

A ração mostrou ser um reforço adequado para os animais, exceto para uma fêmea, que foi sempre recompensada com pedaços de amendoim torrado. Na metade da fase de modelagem, contudo, a ração foi substituída por amendoim para todos os sujeitos devido ao elevado custo de aquisição. Cada amendoim era dividido em seis partes e entregue manualmente pela experimentadora para o animal a cada resposta emitida corretamente.

Este estudo consistiu de três etapas: modelagem (fase 1-4), teste de ilusão de Müller-Lyer propriamente dito (ML) e determinação do Ponto de Igualdade Subjetiva (PIS) sem alhetas e com alhetas.

A ordem temporal de realização de cada fase da modelagem e dos testes está apresentada na figura 23 e todas as etapas serão explicadas a seguir.

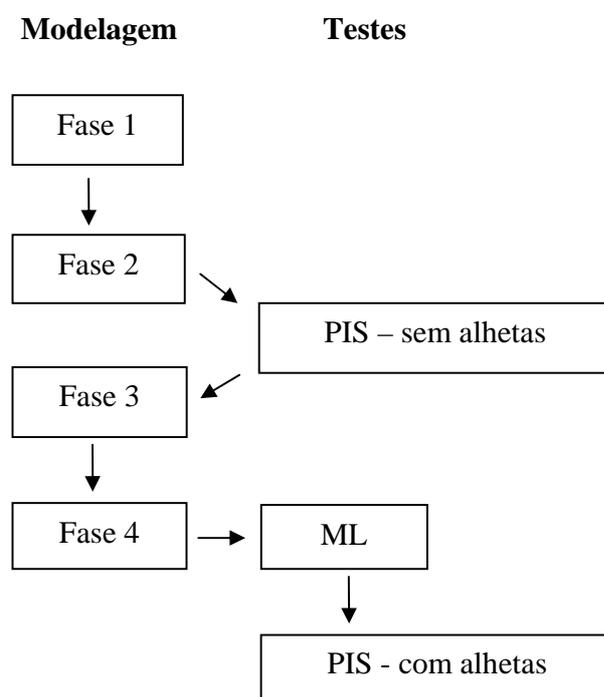


Figura 23. Seqüência de realização das fases da modelagem e dos testes.

A etapa da modelagem foi necessária por se tratar de estudo com macacos e todo o procedimento foi desenvolvido, adequando-o ao contexto dos animais.

### **2.9.1 Modelagem**

A modelagem foi dividida em quatro fases com objetivos distintos. Foi realizada apenas uma sessão por dia, por sujeito, com duração de aproximadamente 4 minutos. Em todas as fases da modelagem, cada sessão era composta de 45 tentativas e os indivíduos eram considerados capazes de passar de uma fase para a próxima somente quando atingiam o critério de aprendizagem de 90% de acerto no desempenho em duas sessões consecutivas. O intervalo entre a apresentação dos estímulos foi de 2 segundos, tempo necessário para que o sujeito ingerisse o reforço (ração ou amendoim torrado).

#### **2.9.1.1 Fase 1 – Detecção do estímulo**

A primeira fase teve como objetivo o aprendizado da resposta de tocar na tela do computador mediante a apresentação de estímulo (Figura 24). Para isso, foi utilizado o método de aproximações sucessivas, em que a experimentadora segurava uma pelota de ração em frente ao estímulo projetado no monitor para incentivar a aproximação do animal. As aproximações e toques, mesmo que por acaso, em qualquer parte do monitor, foram reforçadas com a liberação de pelotas de ração. Em seguida, apenas foram reforçados toques próximos ao estímulo, depois toques em cima do estímulo e por fim toques nos estímulos com pressão suficiente para acionar o monitor.

Nesta fase o estímulo consistiu em segmentos de reta sem alhetas de 6, 7 ou 8cm de comprimento, posicionados no centro da metade superior ou inferior da tela, conforme exemplificado.



Figura 24. Exemplo de estímulos utilizados na fase 1. (a) Estímulo localizado na metade superior. (b) Estímulo localizado na metade inferior.

### 2.9.1.2 Fase 2 – Discriminação entre dois segmentos de reta de comprimento muito diferente, sem alhetas.

A segunda fase teve como objetivo a discriminação do tamanho entre dois segmentos de reta, sem alhetas, por parte do animal. Os segmentos de reta tinham comprimento bastante distinto entre si, e os animais foram treinados a escolher o de tamanho maior. Desta forma, o sujeito só recebia o reforço se tocasse no segmento de reta maior. A distância entre os segmentos de reta era de 5cm (Figura 25).

Esta fase consistiu na apresentação randômica de quatro pares de segmentos de reta com os comprimentos em centímetros de  $8/2$ ,  $8/3$ ,  $7/2$  e  $7/3$ , no qual o segmento de reta maior aparecia tanto na posição superior como na posição inferior, aleatoriamente, para prevenir associação da posição com o estímulo correto.

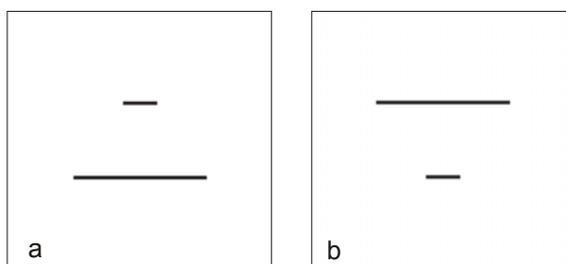


Figura 25. Exemplo de estímulos utilizados da fase 2. (a) Segmento de reta maior na metade inferior. (b) Segmento de reta maior na metade superior.

### 2.9.1.3 Fase 3 *Discriminação entre dois segmentos de reta de comprimento muito diferente, ambos com as alhetas para fora ou para dentro.*

Nesta fase, foram acrescentadas as alhetas nas extremidades dos segmentos de reta. Cada par de segmento de reta continha em suas extremidades, alhetas para fora ( > < ) ou para dentro ( < > ). As alhetas consistiam de dois segmentos de reta com comprimento de 2,5cm formando um ângulo de 135° com a linha horizontal na condição para dentro e ângulo de 45° na condição para fora (Figura 26).

Os segmentos de reta tinham comprimentos bastante diferentes. Os segmentos de reta para cada par com alhetas para fora mediam, em centímetros, 7,5/1,5, 7,5/2,0, 8,0/2,0 e 8,0/2,5. Já os segmentos de reta com as alhetas para dentro mediam, em centímetros, 8,5/4,5, 8,5/4,8, 9,0/4,8 e 9,0/5,1. Os pares e a posição do segmento de reta maior foram apresentados de forma aleatória na posição superior e inferior da tela do computador.

O objetivo desta fase foi que os sujeitos mantivessem a discriminação do segmento de reta de maior comprimento independentemente da presença das alhetas.

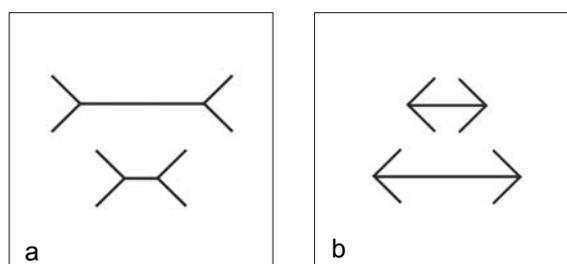


Figura 26. Exemplo de estímulos utilizados na fase 3. (a) Segmentos de reta com alhetas para fora. (b) Segmentos de reta com alhetas para dentro.

**2.9.1.4 Fase 4 – Discriminação entre dois segmentos de reta de comprimento diferente, um segmento de reta com as alhetas para dentro e o outro com as alhetas para fora.**

Nesta fase, os segmentos de reta também possuíam comprimentos bastante diferentes, porém enquanto um segmento de reta apresentava as alhetas para dentro, o outro as apresentava para fora (Figura 27). As características das alhetas foram as mesmas da fase anterior (fase 3). Os pares no qual os segmentos de reta maior possuía as alhetas para fora tinham os comprimentos, em centímetros, de 8,5/4,5; 8,5/4,8; 9,0/4,5 e 9,0/4,8. Os pares no qual os segmentos de reta maior possuía as alhetas para dentro tinham os comprimentos, em centímetros, de 10,0/1,5; 10,0/1,8; 10,5/1,5 e 10,5/1,8. Os pares e a posição das alhetas (dentro ou fora) dos segmentos de reta maior foram apresentados de forma aleatória.

O objetivo desta fase foi que os sujeitos continuem a discriminar os segmentos de reta maior, independentemente da orientação das alhetas.

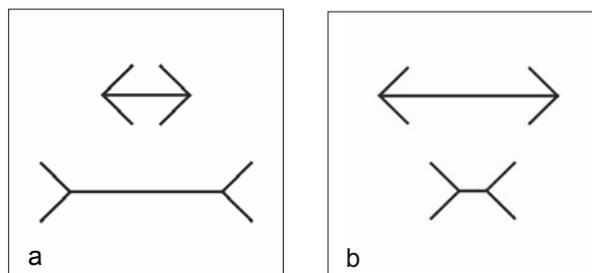


Figura 27. Exemplo de estímulos utilizados na fase 4. (a) Segmento de reta maior com alhetas para fora. (b) Segmento de reta maior com alhetas para dentro.

### **2.9.2 Teste de ilusão de Müller-Lyer (ML) – *Discriminação entre dois segmentos de reta de comprimentos iguais, um com as alhetas para fora e o outro com as alhetas para dentro.***

O teste para a verificação da ocorrência da percepção visual ilusória nos animais foi realizado após a quarta fase da modelagem. Era composto por 10 tentativas de verificação de constância, seguida de 40 tentativas de teste e finalizando com mais 10 tentativas de verificação de constância. As tentativas de verificação de constância eram compostas dos mesmos estímulos utilizados na quarta fase da modelagem (fase 4). A apresentação das 10 primeiras tentativas teve como objetivo reforçar a idéia de que a regra a ser seguida continuava a mesma das sessões anteriores. Já as 10 últimas tentativas, tiveram o objetivo de verificar se o sujeito mantinha a estratégia anterior ou modificava a mesma dependendo da orientação das alhetas ao longo da sessão. O desempenho apresentado nas últimas 10 tentativas foi comparado com as 10 primeiras apresentadas.

Os quarenta estímulos de tentativa de teste eram compostos por pares de estímulos com mesmo comprimento do segmento de reta, sendo um com as alhetas para fora e o outro para dentro (Figura 28). O tamanho dos segmentos de reta foram 7,2cm, 7,6cm, 8,0cm, 8,4cm e 8,8cm. Desta forma, cada estímulo foi apresentado oito vezes na sessão de teste, sendo metade com as alhetas para fora na posição superior e metade na posição inferior. As duas retas que formavam as alhetas possuíam o tamanho correspondente a 30% do comprimento do segmento de reta principal e estavam posicionados a 45° e 135° em relação a esta, formando uma angulação fixa de 90° entre as retas. Os outros parâmetros do teste foram mantidos constantes de forma análoga às fases anteriores de modelagem, ou seja, o intervalo entre tentativas de 2 segundos, orientação horizontal dos segmentos de reta, espessura dos segmentos de reta de 1,0 mm e distância entre os segmentos de reta de 5,0 cm.

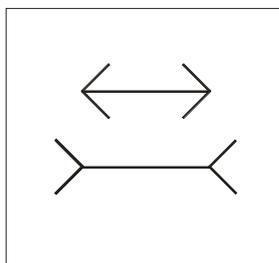


Figura 28. Exemplo de estímulo do teste de Müller-Lyer

A ordem de apresentação dos estímulos foi estabelecida seguindo a tabela semi-aleatória de Gellerman (1933), resultando na apresentação balanceada de todos os estímulos, onde em 50% das tentativas de teste a resposta correta ocorria na posição superior e 50% na posição inferior.

Nas vinte tentativas de verificação de constância foram reforçadas as escolhas dos segmentos de reta fisicamente maiores, independentemente da orientação das alhetas. Assim, nas tentativas de teste, foram reforçados os estímulos ilusoriamente maiores, ou seja, a escolha daqueles que possuía as alhetas para fora.

### **2.9.3 Ponto de Igualdade Subjetiva (PIS) – *Estimativa do ponto onde os segmentos de reta são consideradas como tendo o mesmo comprimento***

Para investigar o grau da ilusão, foi determinado individualmente o ponto em que os estímulos eram considerados do mesmo tamanho (PIS: Ponto de Igualdade Subjetiva), tanto para estímulos sem alhetas quanto para estímulos com alhetas.

#### **2.9.3.1 PIS – *sem alhetas***

O teste foi realizado após a segunda fase da modelagem e era composto de 40 tentativas de teste. O objetivo deste teste foi verificar o limite diferencial dos

sujeitos diante de duas retas de comprimento diferente. A diferença minimamente perceptível entre dois segmentos de reta sem alhetas foi considerada como PIS sem alhetas, isto é, o ponto a partir do qual os sujeitos passavam a não ser capazes de distinguir os dois segmentos de reta entre si.

A metodologia normalmente usada para a investigação do PIS para a ilusão de Müller-Lyer em humanos não foi adotada devido ao fato de mostrar-se inadequada aos macacos. Deste modo, o procedimento foi adaptado ao contexto dos animais adequando-se o método psicofísico de limite escalar já existente. No método tradicional, denominado Método de Média do Erro, são apresentados os parâmetros com menor grau de dificuldade e gradualmente estes são dificultados. Em seguida, é feito o contrário, ou seja, inicia-se o teste com o grau de dificuldade maior e gradualmente a dificuldade é diminuída facilitando-se a tarefa. Esta seqüência é repetida outras três vezes e ao final, é calculado o limiar (Sadza & Weert 1984). No presente estudo, foi realizada apenas a primeira etapa, em que são apresentados os parâmetros com menor grau de dificuldade e gradualmente estes são dificultados, pois alguns sujeitos paravam de responder quando eram submetidos a sessões com alto grau de dificuldade de discriminação. Como conseqüência, tornava-se mais rara a obtenção do reforço ao longo das tentativas, devido ao aumento no número de erros.

O intervalo entre a apresentação dos estímulos foi de 2 segundos, tempo necessário para que o sujeito ingerisse a ração e mantivesse a sua atenção na situação de teste. Anteriormente à seqüência de estímulos do teste, foram apresentados cinco estímulos iguais aos utilizados na segunda fase da modelagem para indicar ao sujeito que a regra a ser seguida continuava a mesma, isto é, a escolha da reta de comprimento maior. O número de sessões necessárias para a determinação do PIS variou de acordo com o desempenho de cada sujeito.

A regra do teste era a mesma utilizada na fase 2 da modelagem, ou seja, o sujeito era recompensado se tocasse no estímulo fisicamente maior entre dois segmentos de reta sem alhetas (Figura 29a). Em cada sessão, um segmento de

reta com 8cm foi pareada com outro menor, de comprimento constante para as 40 tentativas.

O critério de aprendizagem foi estabelecido por meio do cálculo da porcentagem de respostas corretas para cada sessão usando um teste binomial construído para um limite de 95% de confiança baseado no número de tentativas do teste. Desta forma, para 40 tentativas (uma sessão), o limite superior foi calculado para 67%; para 80 tentativas (duas sessões) 62%; e para 120 tentativas (três sessões) 60% (Geigy, 1965). Isso significa que para o desempenho não ser considerado aleatório, os animais deveriam acertar 27, 50 e 72 tentativas, respectivamente.

Inicialmente, segmentos de reta com tamanhos bastante distintos foram apresentados e, à medida que o sujeito alcançava o critério de aprendizagem em até três sessões consecutivas, a diferença era diminuída gradualmente em 10%. Primeiramente, foram apresentadas retas com diferenças de comprimento de 50% e em seguida 40, 30% e assim por diante. Quando o sujeito passava a não atingir o critério de aprendizagem voltava à última porcentagem subtraída de 2%. Por exemplo, se o sujeito não conseguisse realizar a discriminação com uma diferença entre os comprimentos dos segmentos de reta de 20%, na sessão seguinte era apresentado a diferença de 28% (30 – 2%). Se mesmo assim o critério não fosse alcançado, o sujeito era submetido a uma sessão com 26% de diferença e assim por diante. Quando não fosse alcançado o critério em determinado ponto, por exemplo 24%, este era considerado como o PIS sem alhetas. Cada sujeito foi submetido a uma seqüência diferente de pares do segmento de reta, de acordo com o seu desempenho. Os pares de segmentos de reta usados para todos os sujeitos estão agrupados e indicados na Tabela 1.

Tabela 1. Pares de segmentos de reta utilizados no teste PIS sem alhetas e com alhetas, e as diferenças em porcentagem em centímetros.

diferença (%)	comprimento da reta maior (cm)	comprimento da reta menor (cm)	Diferença (cm)
50	8	4,00	4,00
48	8	4,16	3,84
46	8	4,32	3,68
44	8	4,48	3,52
42	8	4,64	3,36
40	8	4,80	3,20
38	8	4,96	3,04
36	8	5,12	2,88
34	8	5,28	2,72
32	8	5,44	2,56
30	8	5,60	2,40
28	8	5,76	2,24
26	8	5,92	2,08
24	8	6,08	1,92
22	8	6,24	1,76
20	8	6,40	1,60
18	8	6,56	1,44
16	8	6,72	1,28
14	8	6,88	1,12
12	8	7,04	0,96
10	8	7,20	0,80
8	8	7,36	0,64

### 2.9.3.2 *PIS - com alhetas*

A diferença deste teste com o PSI – sem alhetas é que agora os segmentos de reta foram acrescidos de contexto, isto é, de alhetas para fora ou para dentro em suas extremidades. A comparação entre o desempenho dos dois testes permitiu a verificação da influência da orientação das alhetas na distinção do tamanho entre dois segmentos de reta.

Este foi realizado após o teste de Müller-Lyer propriamente dito e, assim como o PIS - sem alhetas, era composto de 40 tentativas, mantendo-se o mesmo intervalo entre tentativas (2s). Antecedendo a seqüência de estímulos do teste, foram apresentados para os animais cinco estímulos iguais aos utilizados na fase

anterior (fase 4 da modelagem) para indicar que a regra a ser seguida continuava a mesma, totalizando 45 tentativas por sessão. O número de sessões também variou de acordo com o desempenho de cada sujeito.

A regra era a mesma utilizada na fase 4 da modelagem, ou seja, o sujeito era reforçado se tocasse no segmento de reta fisicamente maior, independentemente da orientação das alhetas. Os pares de segmento de reta usado para todos os sujeitos estão agrupados e indicados na Tabela 1.

O procedimento seguido neste teste foi o mesmo do PIS sem alhetas. Primeiro eram apresentados estímulos com tamanho de segmentos de retas bastante distintos e, à medida que o sujeito alcançava o critério, a diferença era diminuída gradualmente em 10%. Inicialmente foram apresentadas retas com diferenças de comprimento de 50% em seguida 40, 30% e assim por diante. Quando o sujeito passava a não atingir o critério, voltava à última porcentagem subtraída de 2%.

A única diferença no procedimento quando comparado ao PIS - sem alhetas foi que o número máximo de sessões para alcançar o critério era o dobro, ou seja, até seis sessões consecutivas, porém o número de tentativas analisadas continuava o mesmo. Como dito anteriormente, o número de tentativas de teste por sessão eram 40, no qual metade dos estímulos possuía o segmento de reta maior acompanhada por alhetas para fora (Figura 29b) e a outra metade dos estímulos possuía o segmento de reta maior acompanhada por alhetas para dentro (Figura 29c). Os estímulos analisados foram apenas aqueles que possuíam o segmento de reta fisicamente maior acompanhada por alhetas para dentro e a menor com as alhetas para fora, em que a primeira aparenta ser ilusoriamente menor e a segunda maior. Os estímulos com o segmento de reta fisicamente maior acompanhada por alhetas para fora foram acrescentados na sessão de teste para evitar a associação da resposta correta com a orientação das alhetas.

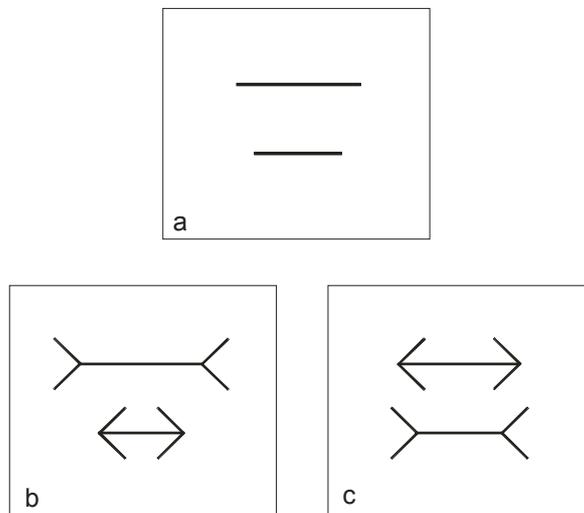


Figura 30. Exemplo de estímulos com 30% de diferença. (a) Estímulo do teste PIS sem alhetas. (b) e (c) Estímulos do teste PIS com alhetas. Na figura b o segmento de reta maior está acompanhado de alhetas para fora e na figura c o segmento de reta maior possui alhetas para dentro.

#### 2.9.4 Análise dos dados

O processamento estatístico dos dados foi realizado utilizando-se o programa *Statistical Package for Social Sciences* (SPSS), 13.0.

##### 2.9.4.1 Modelagem

Para comparar o número de tentativas realizadas pelos animais para atingir o critério de aprendizagem nas quatro fases da modelagem, utilizou-se o teste não-paramétrico Z de Wilcoxon. Todas as comparações entre as fases da modelagem foram realizadas (fase 1 vs 2, 1 vs 3, 1 vs 4, 2 vs 3, 2 vs 4 e 3 vs 4).

Para verificar se havia influência do gênero em relação à aquisição do critério de aprendizagem foi utilizado o teste não-paramétrico U de Mann-Whitney para a fase 1 e o teste paramétrico T para amostras independentes para as fases 2, 3 e 4.

Com o objetivo de verificar se a experiência com o aparato computacional influenciou no número de tentativas para aquisição do critério de aprendizagem nas fases da modelagem, utilizou-se o teste paramétrico T para amostras independentes para a fase 1 e o teste não-paramétrico U de Mann-Whitney para as fases 2, 3 e 4.

O nível de significância estabelecido para todos os testes foi de 5% ( $\alpha=0,05$ ).

#### **2.9.4.2 Teste de ilusão de Müller-Lyer (ML)**

Para comparar a quantidade de escolha do segmento de reta com as alhetas para fora com a escolha do segmento de reta com as alhetas para dentro, foi realizado o teste não-paramétrico Z de Wilcoxon.

Para verificar se havia influência do gênero em relação à escolha dos segmentos de reta com alhetas para fora ou para dentro, utilizou-se o teste não-paramétrico U de Mann-Whitney.

Com o objetivo de verificar se a regra utilizada pelos animais para a escolha do segmento de reta, ou seja, escolha do segmento de reta com comprimento maior independentemente da orientação das alhetas, permanecia ou mudava ao longo da sessão, foi comparado o desempenho entre as 10 primeiras e 10 últimas tentativas (estímulos iguais aos da fase 4 da modelagem) por meio do teste não-paramétrico Z de Wilcoxon.

Para verificar se havia diferença entre os gêneros em termos de tempo de resposta foi realizado o teste T para amostras independentes

O nível de significância estabelecido para todos os testes foi de 5% ( $\alpha=0,05$ ).

#### **2.9.4.3 Ponto de Igualdade Subjetiva (PIS)**

Para investigar o grau da ilusão, foi determinada individualmente a porcentagem mínima de diferença entre dois segmentos de reta que os sujeitos eram capazes de distinguir para os testes PIS sem alhetas e PIS com alhetas.

O desempenho do grupo também foi analisado em conjunto e, como as amostras foram consideradas dependentes, foi utilizado o teste paramétrico T para amostras pareadas para verificar se havia diferença significativa entre o resultado observado para os dois testes. Para verificar se a média da diferença entre os valores encontrados para PIS sem alhetas e PIS com alhetas era diferente de zero, foi utilizado o teste T para uma só amostra.

O teste paramétrico T para amostras independentes também foi utilizado para verificar se havia influência dos gêneros para a percepção do comprimento dos segmentos de reta. Dentro de cada gênero também foi verificado se havia diferença entre os valores de PIS sem alhetas e PIS com alhetas.

O nível de significância estabelecido foi de 5% ( $\alpha=0,05$ ).

## **RESULTADOS**

---

### 3.1 Modelagem

A Figura 30 mostra o resultado geral do grupo de *Cebus* spp. quanto ao número de tentativas realizadas para a aquisição do critério de aprendizagem nas quatro fases da modelagem. Na figura, os retângulos indicam o intervalo entre quartis que contém 50% das medidas de número de tentativas. As barras representam os valores mais altos e mais baixos, e as linhas horizontais cheias representam a mediana dos valores.

Para comparar o número de tentativas realizadas para a aquisição do critério de aprendizagem entre cada fase da modelagem, foi utilizado o teste não-paramétrico Z de Wilcoxon. Os valores de Z para cada comparação (fase 1 vs 2, 1 vs 3, 1 vs 4, 2 vs 3, 2 vs 4 e 3 vs 4) e os valores de p com ajuste de Bonferroni estão indicados na tabela 2. O número de tentativas apenas não foi significativamente diferente entre as fases 3 e 4, mostrando generalização da regra aprendida na fase 2 (escolha do segmento de reta maior), independentemente da presença das alhetas nas extremidades dos segmentos de reta.

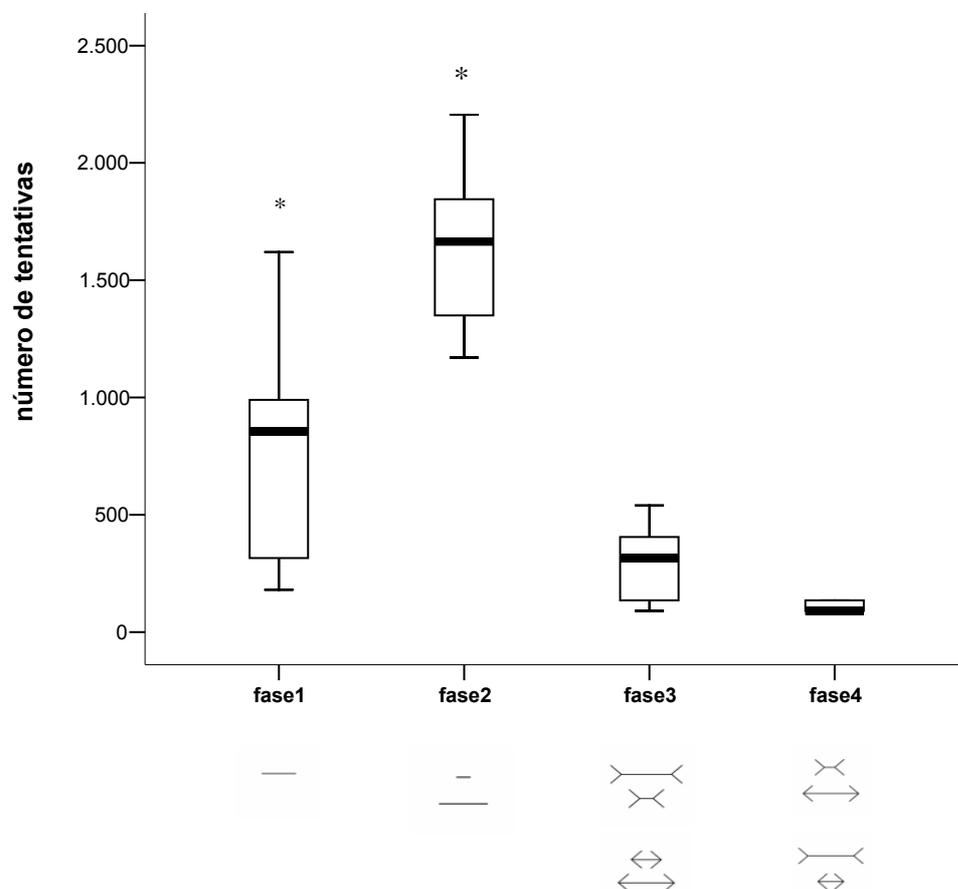


Figura 30. Número de tentativas para o grupo de *Cebus* spp. nas quatro fases da modelagem. O número de tentativas é apresentado em medianas e variação entre quartis contendo 50% dos valores. Valores extremos não foram representados na figura. \*  $p \leq 0,03$  nas comparações das fases 1 e 2 com todas as fases.

Tabela 2: Z de Wilcoxon e valor de p com ajuste de Bonferroni para o grupo de *Cebus* spp. nas diferenças entre as fases da modelagem. As diferenças consideradas significativas para um nível de significância de 5% estão apresentadas em negrito.

	Z	P
fase 1 x fase 2	<b>-2,805</b>	<b>0,030</b>
fase 1 x fase 3	<b>-2,807</b>	<b>0,030</b>
fase 1 x fase 4	<b>-2,654</b>	<b>0,024</b>
fase 2 x fase 3	<b>-2,807</b>	<b>0,030</b>
fase 2 x fase 4	<b>-2,803</b>	<b>0,030</b>
fase 3 x fase 4	-2,103	0,210

Quando analisado o número de tentativas realizadas para a aquisição do critério de aprendizagem para os gêneros, separadamente, não foi observada diferença significativa entre fêmeas e machos em nenhuma fase (Tabela 3).

Tabela 3: Comparação do desempenho de *Cebus* spp. dentro de cada fase de modelagem em função do gênero. O teste U de Mann-Whitney foi realizado para a fase 1, e o teste T para amostras independentes foi realizado para as fases 2, 3 e 4.

	fêmea x macho	
fase 1	U=8,000	P=0,347
fase 2	t=1,200	P=0,264
fase 3	t=-0,159	p=0,877
fase 4	t=-1,857	p=0,100

Conforme mencionado anteriormente, sete animais já tinham experiência com o computador com tela sensível ao toque e três eram ingênuos com relação ao uso do computador. O desempenho dos sujeitos experientes e não-experientes com o aparato computacional foi comparado para verificar se a prática influenciou no desempenho destes (Figura 31). Foi encontrada diferença apenas na fase 1, na qual o número de tentativas para os sujeitos não-experientes foi significativamente maior que dos sujeitos experientes ( $t=2,403$ ;  $p=0,043$ ), isto é, a experiência prévia não influenciou no desempenho dos animais após o aprendizado da resposta de tocar em cima do estímulo, ocorrido na fase 1.

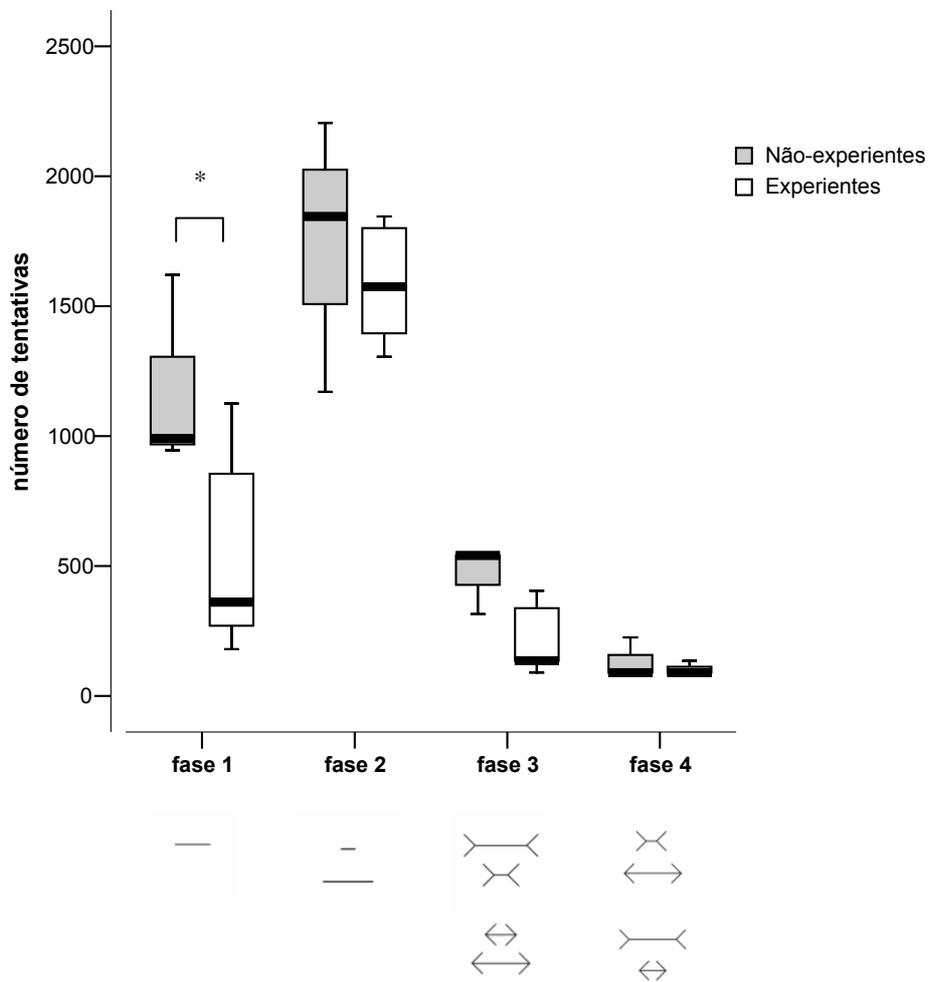


Figura 31. Número de tentativa para os sujeitos (*Cebus* spp.) experientes e não-experientes atingirem o critério de aprendizagem nas quatro fases da modelagem. O número de tentativas é apresentado em medianas e variação entre quartis contendo 50% dos valores. Valores extremos não foram representados na figura. \*  $p=0,043$ .

### 3.2 Teste de ilusão de Müller-Lyer (ML)

A Figura 32 mostra o resultado geral do grupo de *Cebus* spp. no teste ML. A porcentagem de escolha do segmento de reta com alhetas para fora foi significativamente maior ( $Z=-2,820$ ;  $p=0,005$ ) que a porcentagem de escolha do

segmento de reta com alhetas para dentro. Isso significa que os animais julgaram o segmento de reta com alhetas para fora como maior que o segmento de reta com alhetas para dentro, o que é característico da ilusão de Müller-Lyer.

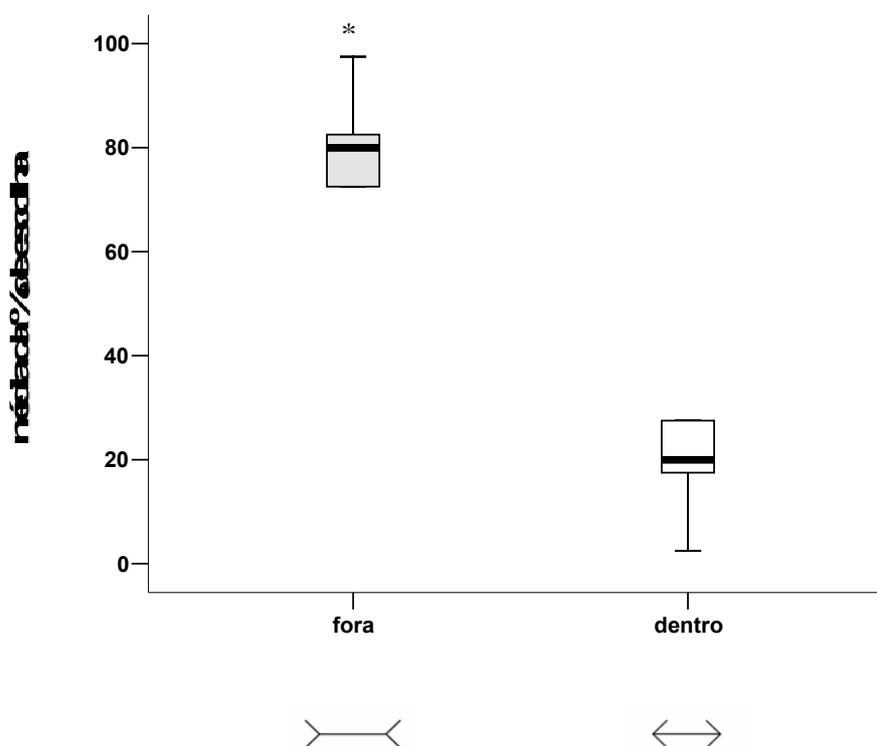


Figura 32. Média da porcentagem de escolha do segmento de reta com alhetas para fora e para dentro no teste de ilusão de Müller-Lyer propriamente dito.

Ao analisar os gêneros, separadamente, em relação à escolha dos segmentos de reta com alhetas para fora e para dentro, não foi encontrada diferença significativa no desempenho entre fêmeas e machos ( $U=3,5$ ;  $p=0,053$ ).

Conforme referido anteriormente, além das tentativas do teste propriamente dito, foram acrescentadas 10 tentativas no início e 10 ao final da sessão (compostas de estímulos iguais aos da fase 4 da modelagem) com o objetivo de verificar se a regra seguida pelo animal, isto é, a escolha do segmento de reta

com comprimento maior independentemente da orientação das alhetas, continuava a mesma ou mudava ao longo da sessão. A comparação do desempenho entre as 10 primeiras e as 10 últimas tentativas não revelou diferença significativa ( $Z=-0,368$ ;  $p=0,713$ ), mostrando que a escolha não foi baseada pela característica isolada de orientação das alhetas.

Quando analisados os gêneros separadamente, foi observada uma diferença no desempenho em termos do tempo de resposta entre fêmeas e machos (Figura 33). O tempo médio de resposta em milissegundos (ms) dos machos foi significativamente maior que das fêmeas ( $t=-4,044$ ;  $p<0,001$ ).

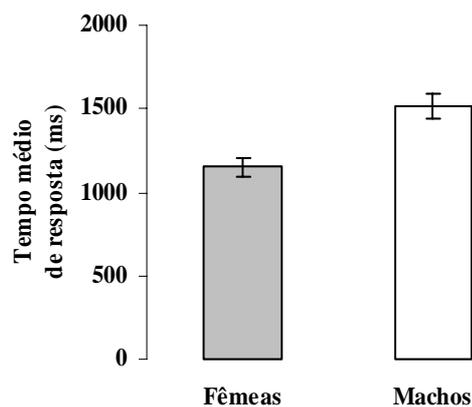


Figura 33. Tempo médio de resposta em milissegundos (ms) de fêmeas e machos no teste de Müller-Lyer (ML). As barras indicam o erro-padrão da média. \*  $p<0,001$

### 3.3 Ponto de Igualdade Subjetiva (PIS)

Como dito anteriormente, a seqüência dos testes PIS sem alhetas e PIS com alhetas variou de acordo com o desempenho dos sujeitos. A seqüência dos testes e o desempenho em cada etapa estão ilustrados nas figuras 34-42 para cada sujeito.

Os valores do PIS sem alhetas e PIS com alhetas, para a fêmea 1, foram 8% e 40%, respectivamente (Figura 34). A diferença de 32% entre estes valores revela a influência dos contextos na estimação do PIS para a fêmea 1.

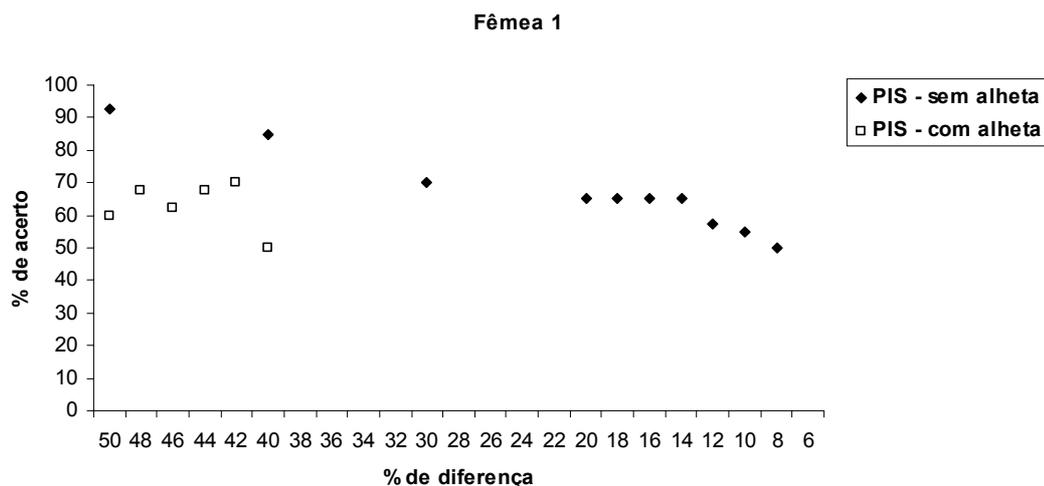


Figura 34. Seqüência do teste e porcentagem de acerto em cada etapa para a fêmea 1 nos testes PIS sem alhetas e PIS com alhetas.

Para a fêmea 2, os valores do PIS sem alhetas e PIS com alhetas, foram 16% e 38%, respectivamente (Figura 35). A diferença de 22% entre estes valores revela a influência dos contextos na estimação do PIS para a fêmea 2.

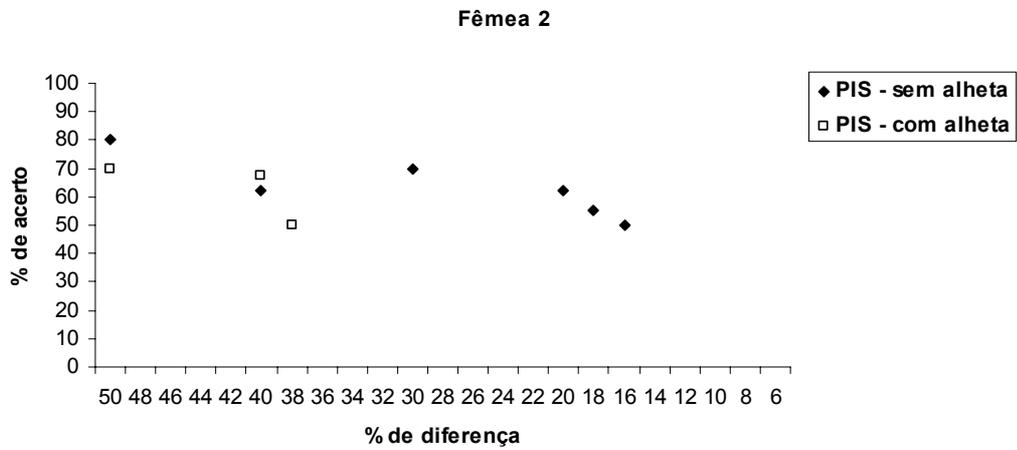


Figura 35. Seqüência do teste e porcentagem de acerto em cada etapa para a fêmea 2 nos testes PIS sem alhetas e PIS com alhetas.

Para a fêmea 3, os valores do PIS sem alhetas e PIS com alhetas, foram 26% e 38%, respectivamente (Figura 36). A diferença de 12% entre estes valores revela a influência dos contextos na estimação do PIS para a fêmea 3.

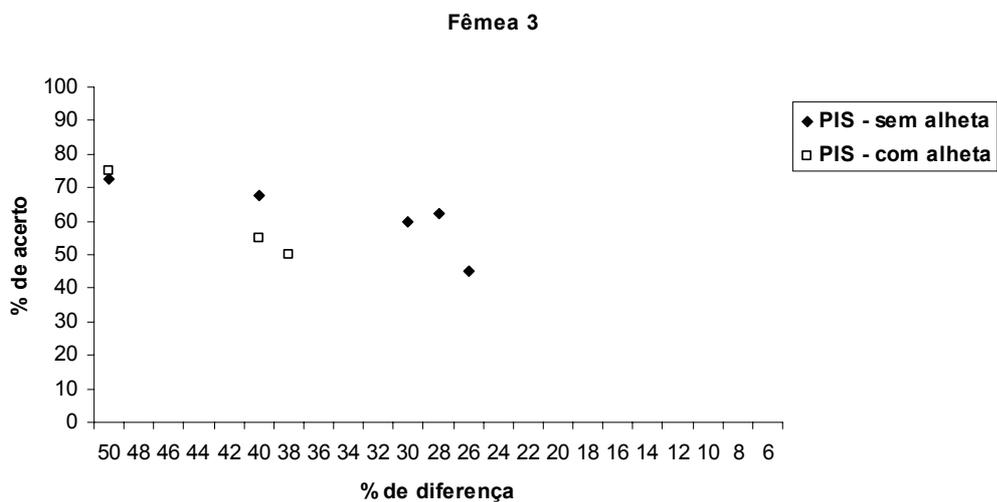


Figura 36. Seqüência do teste e porcentagem de acerto em cada etapa para a fêmea 3 nos testes PIS sem alhetas e PIS com alhetas.

Os valores do PIS sem alhetas e PIS com alhetas, para a fêmea 4, foram 6% e 36%, respectivamente (Figura 37). A diferença de 30% entre estes valores revela a influência dos contextos na estimação do PIS para a fêmea 4.

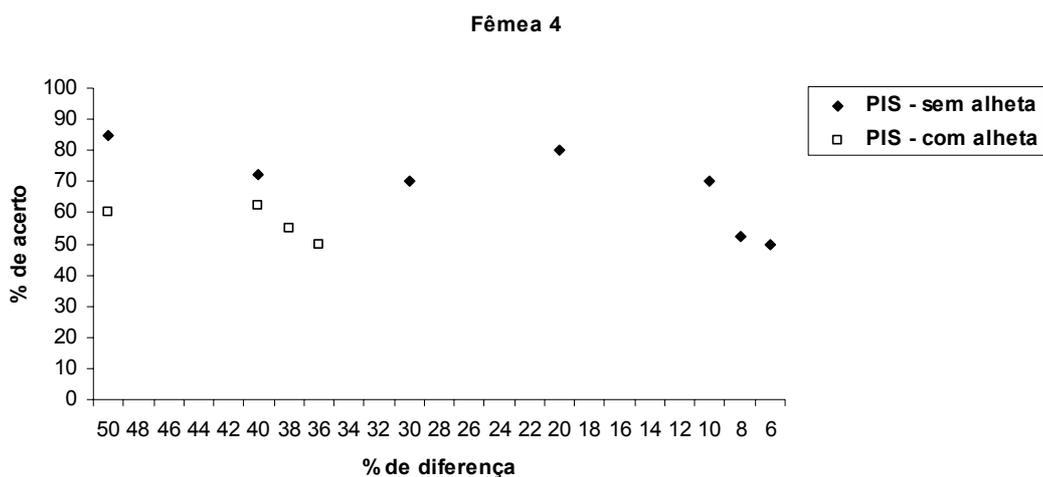


Figura 37. Seqüência do teste e porcentagem de acerto em cada etapa para a fêmea 4 nos testes PIS sem alhetas e PIS com alhetas.

Os valores do PIS sem alhetas e PIS com alhetas, para a fêmea 5, foram 18% e 30%, respectivamente (Figura 38). A diferença de 12% entre estes valores revela a influência dos contextos na estimação do PIS para a fêmea 5.

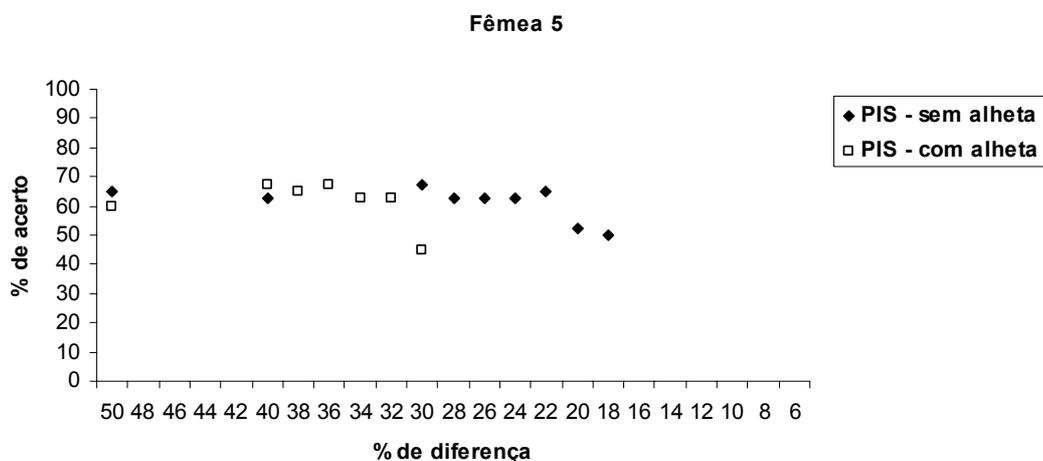


Figura 38. Seqüência do teste e porcentagem de acerto em cada etapa para a fêmea 5 nos testes PIS sem alhetas e PIS com alhetas.

Já para o macho 1, os valores do PIS sem alhetas e PIS com alhetas foram 6% e 46%, respectivamente (Figura 39). A diferença de 40% entre estes valores revela a influência dos contextos na estimação do PIS para o macho 1.

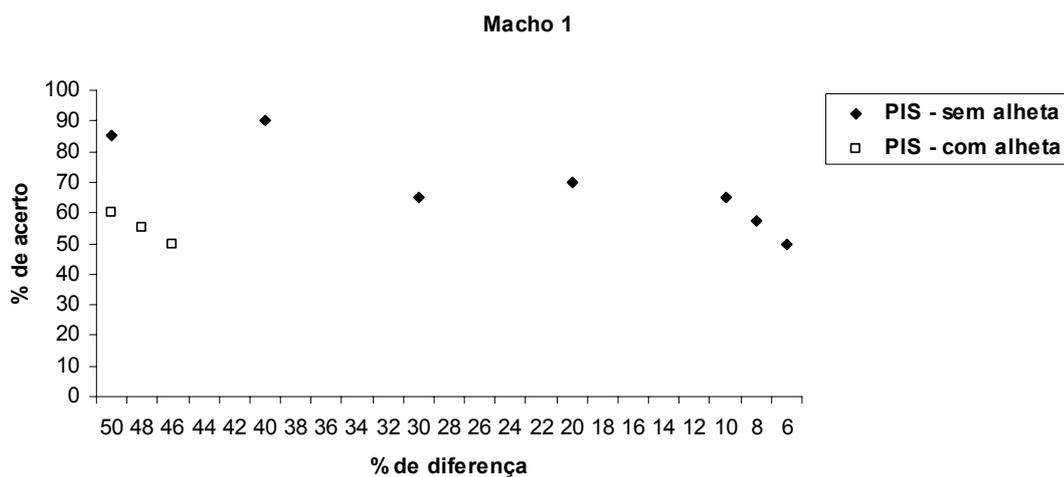


Figura 39. Seqüência do teste e porcentagem de acerto em cada etapa para o macho 1 nos testes PIS sem alhetas e PIS com alhetas.

Os valores do PIS sem alhetas e PIS com alhetas, tanto para os machos 2 como para o macho 3, foram 18% e 38%, respectivamente (Figura 40 e 41). A diferença de 20% entre estes valores revela a influência dos contextos na estimação do PIS para os machos 2 e 3.

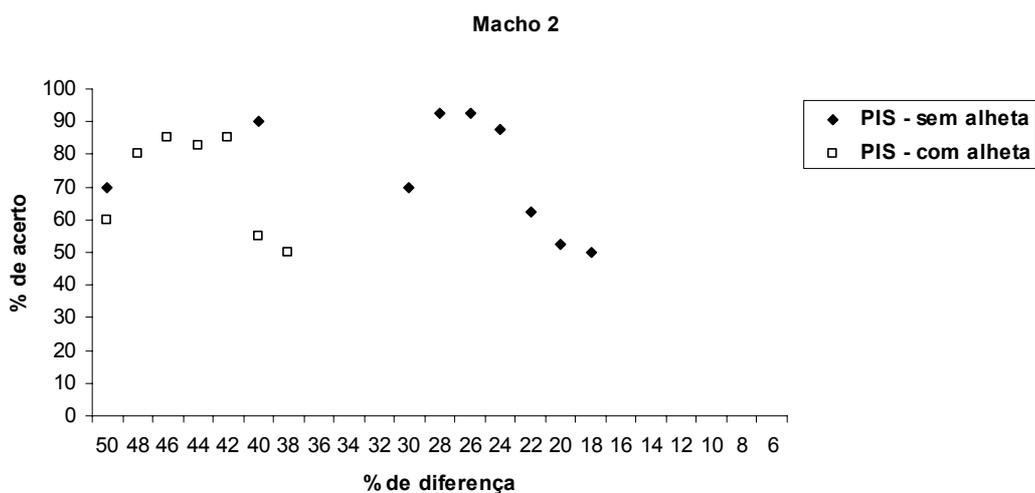


Figura 40. Seqüência do teste e porcentagem de acerto em cada etapa para o macho 2 nos testes PIS sem alhetas e PIS com alhetas.

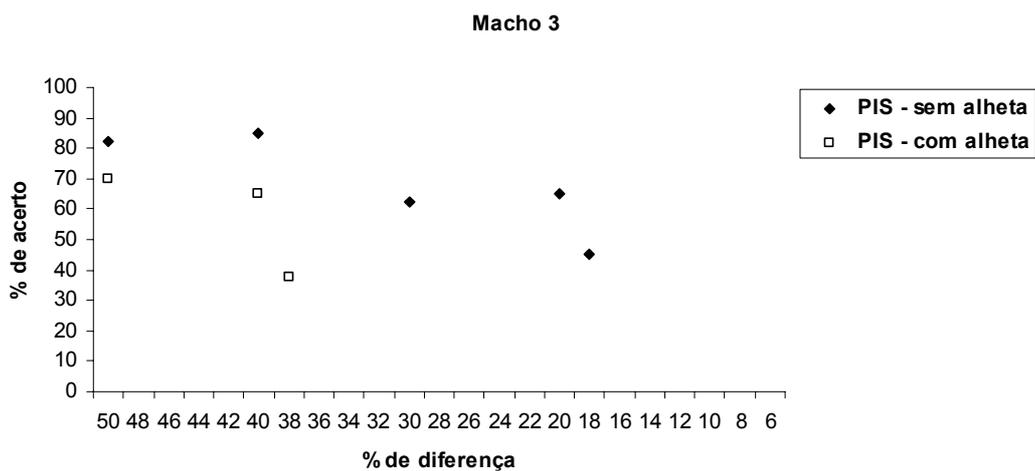


Figura 41. Seqüência do teste e porcentagem de acerto em cada etapa para o macho 3 nos testes PIS sem alhetas e PIS com alhetas.

Para o macho 4, os valores do PIS sem alhetas e PIS com alhetas foram 12% e 40%, respectivamente (Figura 42). A diferença de 28% entre estes valores revela a influência dos contextos na estimação do PIS para o macho 4.

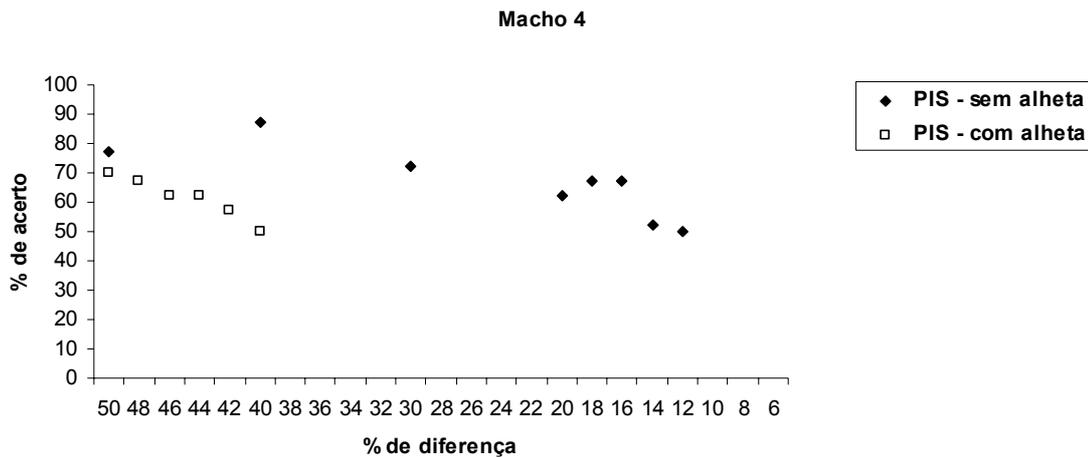


Figura 42. Seqüência do teste e porcentagem de acerto em cada etapa para o macho 4 nos testes PIS sem alhetas e PIS com alhetas.

Apesar das diferenças individuais, quando o grupo foi analisado em conjunto, os sujeitos apresentaram o desempenho significativamente melhor no teste PIS sem alhetas quando comparado ao teste PIS com alhetas ( $t=-8,661$ ;  $p<0,001$ ). A média da diferença de porcentagem entre estes dois valores para o grupo (24% - Tabela 4) foi significativamente maior que zero, para o índice de confiança de 95% ( $t=7,719$ ;  $p<0,001$ ). Estes resultados indicam que a presença das alhetas com orientações opostas para cada segmento de reta do estímulo influenciou na percepção do comprimento destes.

Tabela 4. Valores em porcentagem e em centímetros de PIS sem alhetas e PIS com alhetas, e da diferença entre estes valores.

	PIS – sem alhetas		PIS - com alhetas		PIS - com alhetas menos PIS - sem alhetas	
	diferença (%)	diferença (cm)	diferença (%)	diferença (cm)	diferença (%)	diferença (cm)
Fêmea 1	8	0,64	40	3,20	32	2,56
Fêmea 2	16	1,28	38	3,04	22	1,76
Fêmea 3	26	2,08	38	3,04	12	0,96
Fêmea 4	6	0,48	36	3,04	30	2,4
Fêmea 5	18	1,44	30	2,40	12	0,96
Macho 1	6	0,48	46	3,68	40	3,2
Macho 2	18	1,44	38	3,04	20	1,6
Macho 3	18	1,44	38	3,04	20	1,6
Macho 4	12	0,96	40	3,20	28	2,24
média	<b>14</b>	<b>1,12</b>	<b>38</b>	<b>3,08</b>	<b>24</b>	<b>1,92</b>

Quando os valores de PIS foram agrupados por gênero, não foram observadas diferenças entre fêmeas e machos no PIS sem alhetas ( $t=0,270$ ;  $p=0,786$ ) nem no PIS com alhetas ( $t=-1,600$ ;  $p=0,155$ ) (Figura 43). Os valores de PIS sem alhetas e PIS com alhetas apresentaram diferença significativa para fêmeas ( $t=-5,069$ ;  $p=0,007$ ) e machos ( $t=-5,713$ ;  $p=0,011$ ). Isso mostra que apesar das diferenças individuais, o desempenho do grupo foi homogêneo.

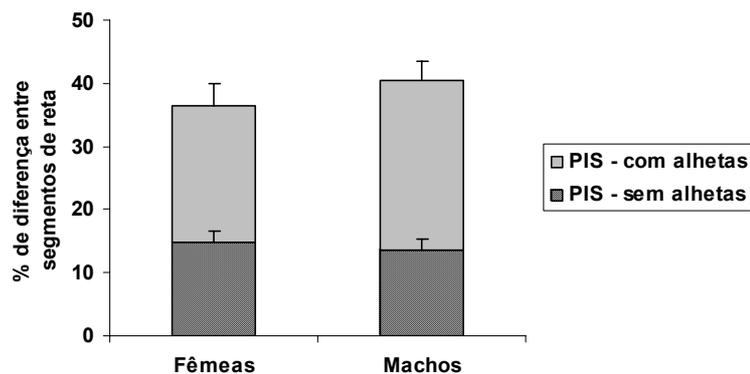


Figura 43. Média de PIS sem alhetas e PIS com alhetas para fêmeas e machos. As barras indicam o erro-padrão da média.

Em resumo, os resultados mostraram que após a fase1 da modelagem o desempenho do grupo de macacos-prego para as subseqüentes fases da modelagem e para os testes de Müller-Lyer e PIS foi homogêneo, exceto para o tempo de resposta. No teste de Müller-Lyer, todos os animais escolheram preferencialmente o segmento de reta com as alhetas para fora, evidenciando a susceptibilidade ao efeito ilusório. Os diferentes resultados encontrados para o PIS sem alhetas e PIS com alhetas mostram a magnitude da ilusão.

## **DISCUSSÃO**

---

Os resultados obtidos no presente estudo evidenciaram a presença do efeito ilusório em macacos-prego (*Cebus spp.*) para a ilusão de Müller-Lyer. O grupo apresentou resposta homogênea, não sendo constatadas diferenças entre gêneros. Os valores de PIS sem alhetas e PIS com alhetas variou conforme o animal, porém estas diferenças dentro de cada PIS não foram significativas para o grupo. As diferenças entre os PIS sem alhetas e PIS com alhetas demonstraram a influência da orientação dos contextos na percepção do comprimento dos segmentos de reta.

#### **4.1 Modelagem**

Como dito anteriormente, o processo de modelagem foi necessário para que as regras dos testes fossem compreendidas pelos animais, antes da aplicação dos mesmos.

Quanto ao número de tentativas realizadas para alcançar o critério de aprendizagem em cada fase da modelagem, os resultados encontrados foram de acordo com as expectativas. A fase 1 foi a única no qual o número de tentativas foi maior para os sujeitos não-experientes com o uso de tela sensível a toque. Como o objetivo desta fase era que os sujeitos associassem os toques no segmento de reta simples à obtenção do reforço, os que já possuíam experiência tinham conhecimento prévio desta associação, porém os não experientes tiveram que aprender. Pode-se dizer então que o grupo ficou nivelado após a fase 1, já que nenhuma diferença no desempenho foi encontrado nas fases seguintes.

No início da fase 1, os sujeitos experientes com o uso de tela sensível à toque não apresentaram dificuldade em associar o toque no estímulo com o reforço, pois já haviam passado por este condicionamento. No entanto, a experiência dos sujeitos havia sido adquirida em testes onde os estímulos possuíam área maior e, com isso, os toques na tela poderiam ser feitos com a palma da pata.

No presente teste, inicialmente, tanto os sujeitos experientes quanto os não-experientes tinham a intenção de tocar no estímulo considerado correto, mas

acabavam tocando de forma não intencional com mais força na área do outro estímulo. Isso foi mais observado quando o estímulo considerado correto estava posicionado na metade superior da tela: o animal tocava primeiro no estímulo superior (normalmente com os dedos), mas com intensidade insuficiente para sensibilizar o sistema de toque na tela, e arrastava levemente a pata para baixo tocando com a palma da pata na área do estímulo inferior.

O problema poderia ter sido solucionado com o aumento da distância entre os dois estímulos, mas isso não era apropriada para este tipo de teste, já que o aumento da distância entre os segmentos de reta provoca uma diminuição no efeito ilusório. Para solucionar o problema, os animais foram submetidos a mais tentativas até aprenderem a tocar com maior precisão, normalmente com as pontas dos dedos, levando assim mais tempo para passarem para a fase seguinte, apesar de já terem “entendido” a regra. Os sujeitos não experientes, além de terem que aprender a associar o toque no estímulo à obtenção do reforço, ainda tiveram que refinar o toque à tela.

A quantidade maior de tentativas necessárias para alcançar o critério de aprendizagem na fase 2 da modelagem, para o grupo total, em comparação com as demais fases, pode ser explicada pelo fato de que nesta fase os animais tiveram que aprender uma regra totalmente nova para eles, que consistia na escolha do segmento de reta maior entre dois segmentos de reta de comprimentos distintos.

No início da fase 2 da modelagem, foi observado a reação de parar de responder às tentativas após um período de “erro” associado à ausência de reforço, para dois sujeitos (uma fêmea e um macho). Como inicialmente não sabiam a regra, que consistia na escolha do segmento de reta maior, não recebiam o reforço após aproximadamente metade das tentativas, o que resultava em desinteresse e afastamento do aparato experimental.

Nas fases 3 e 4 da modelagem, o número de tentativas realizadas para alcançar o critério de aprendizagem foi semelhante, porém menor que na fase 2.

Isso mostra que a regra, que consistia na escolha do segmento de reta maior, foi generalizada para os estímulos com alhetas.

O desempenho apresentado na fase 4 evidenciou o fato de continuarem escolhendo o segmento de reta maior, como nas fases anteriores, independentemente da orientação das alhetas.

#### **4.2 Teste de ilusão de Müller-Lyer (ML)**

No teste de Müller-Lyer, todos os animais escolheram preferencialmente o segmento de reta com as alhetas para fora, mostrando a suscetibilidade para a ilusão. Um ponto importante neste teste foi a comparação realizada entre as 10 primeiras e as 10 últimas tentativas, compostas de estímulos iguais aos da fase 4 da modelagem (segmentos de reta com comprimentos diferentes, sendo um com as alhetas para fora e o outro para dentro) inseridas para verificar a constância da regra seguida pelos animais durante a sessão. Os resultados mostraram que os animais não alteraram a regra durante a sessão, ou seja, não passaram a escolher preferencialmente o segmento de reta com as alhetas para fora simplesmente pela orientação das alhetas.

A mudança da regra referida poderia ter acontecido devido ao fato do reforço ter sido associado com o estímulo ilusoriamente maior (com alhetas para fora). Essa associação foi necessária porque os animais provavelmente parariam de responder ao teste caso nenhum reforço fosse dado, e ao mesmo tempo, a escolha deste critério teve como objetivo não criar confusão para o animal quanto à regra a ser seguida, isto é, a escolha do segmento de reta maior.

Stuar, Day e Dickinson (1984) também encontraram o efeito ilusório em seres humanos utilizando o mesmo procedimento de escolha forçada do segmento de reta maior entre dois segmentos de reta de mesmo comprimento, porém um com alhetas para fora e o outro com alhetas para dentro. A diferença na metodologia foi a instrução recebida. Os sujeitos humanos do referido estudo foram instruídos verbalmente a olhar a figura como um todo e não concentrar as atenções nas extremidades dos estímulos, ou seja, na orientação das alhetas. Por

outro lado, os animais do presente estudo foram instruídos de uma forma subjetiva, com a realização das fases 3 e 4 da modelagem (escolha do segmento de reta maior, entre dois segmentos de reta de comprimento diferente, independentemente da orientação das alhetas).

A suscetibilidade para a ilusão de Müller-Lyer utilizando o método de comparação também foi demonstrada por pombos, no estudo realizado por Warden e Baar (1929). Uma diferença importante no procedimento deste estudo foi o fato de que os dois segmentos de reta eram apresentados um ao lado do outro, evitando assim a comparação direta entre os comprimentos.

No presente estudo, o desempenho no teste de Müller-Lyer não variou entre os gêneros, no entanto, foi observada diferença no tempo de resposta: os machos levaram mais tempo para responder às tentativas do teste. O fato dos animais terem livre movimentação na parte anterior do viveiro durante a realização do teste, e não serem isolados acusticamente nem visualmente da mata que circundava os viveiros, não possibilita que conclusões sejam feitas no que diz respeito à diferença encontrada no tempo de resposta entre os gêneros. Caso todas estas variáveis tivessem sido controladas, seria possível a realização da análise entre o tempo de observação dos estímulos, para a tomada da decisão, e o desempenho apresentado.

Talvez em um ambiente experimental isolado, em que o animal não tivesse acesso a nenhum outro estímulo visual e auditivo, evitando assim o desvio da atenção, fosse encontrada uma diferença menor no tempo de resposta entre os gêneros.

No entanto, o mais provável é que a diferença no tempo de resposta apresentada pelos animais neste estudo tenha ocorrido devido a diferenças comportamentais existentes entre os gêneros. Segundo Fragaszy, Visalberghi e Fedigan (2004) os machos apresentam mais comportamento de vigilância enquanto as fêmeas adultas, sendo a maioria em estado de gravidez ou amamentação, passam mais tempo se alimentando, descansando e interagindo socialmente com os outros membros. Os machos apresentam mais

comportamento de vigilância não apenas para evitar ataque de possíveis predadores, mas também para permanecer alerta a aproximações de outros grupos, principalmente daqueles formados somente por fêmeas. Esta característica dos machos resulta possivelmente, em uma maior preocupação com o que se passa em sua volta.

Outra diferença apresentada entre os gêneros, que pode ter contribuído para a diferença no tempo de resposta, é o fato que os machos possuem as patas mais grossas quando comparado às fêmeas. Isso pode ter provocado uma maior dificuldade para atravessar a pata entre a grade do viveiro e, conseqüentemente, resultado no maior tempo de resposta apresentado pelos machos.

Essa diferença entre gênero no tempo de resposta, em que os machos apresentaram valores maiores, também foi encontrada em um outro estudo realizado por Tavares (2002), em que utilizou testes computadorizados para a investigação do tempo de reação em macacos-prego.

#### **4.3 Ponto de Igualdade Subjetiva (PIS)**

O valor médio encontrado para o PIS com alhetas, isto é, o ponto em que os segmentos de reta com alhetas nas extremidades eram considerados do mesmo tamanho, foi maior para os macacos-prego do que para os pombos. No presente estudo, este valor foi de 24% de diferença no comprimento dos segmentos, enquanto que para pombos a diferença foi de aproximadamente 7,4% (Warden & Baar, 1929).

Em um estudo com humanos, utilizando um procedimento distinto do método de comparação, Predebon (2001) investigou a percepção de segmentos de reta de diferentes tamanhos quando estes não estavam acompanhados por alhetas, quando possuíam ambas alhetas para fora e quando possuíam ambas alhetas para dentro. Dentre os diferentes comprimentos de segmentos de reta utilizados no estudo, analisaremos apenas os de 7,5 e 8,75cm, pois são os que mais se aproximam dos usados no presente estudo. Para o segmento de reta de 7,5cm, foi encontrado o valor de 0,13% para o PIS sem alhetas, uma

subestimação de 0,24% para o segmento de reta com alhetas para dentro e uma superestimação de 0,93% para o segmento de reta com alhetas para fora. Já para o segmento de reta de 8,75cm, foi encontrado o valor de 0,23% para o PIS sem alhetas, uma subestimação de 2,17% para o segmento de reta com alhetas para dentro e uma superestimação de 1,14% para o segmento de reta com alhetas para fora. Estes valores de PIS sem alhetas foi menor que o encontrado para os macacos, que foi de 14%.

Estas diferenças encontradas entre macacos-prego, humanos e pombos podem ter pelo menos quatro possíveis explicações: 1) as diferenças no comprimento dos segmentos de reta que formam as alhetas – 30% do segmento de reta principal para os macacos, 35% para os humanos e 20% para os pombos – podem ter influenciado o efeito ilusório; 2) os diferentes resultados foram causados pela diferença no procedimento adotado; 3) os macacos-prego julgaram o comprimento total dos estímulos (segmento de reta com as duas alhetas) e não focalizaram apenas no segmento de reta principal; 4) o efeito ilusório provocado pela orientação das alhetas em macacos-prego é realmente maior que o apresentado por pombos e humanos.

Como mencionado anteriormente, existem evidências de que o tamanho dos segmentos de reta, que formam as alhetas, em comparação com o segmento de reta principal, pode influenciar no efeito ilusório (Jaeger, 1975). No entanto, os valores utilizados nas três espécies (20, 30 e 35%) não são diferentes o suficiente para justificar a diferença encontrada para os valores de PIS sem alheta e PIS com alhetas. Comparações entre as espécies se tornam limitadas devido ao fato do procedimento adotado ter sido distinto, embora não possamos excluir a possibilidade de que características espécie específicas quanto ao sistema visual e à percepção possam concorrer para os resultados obtidos.

Para verificar se o julgamento do comprimento realizado pelos macacos se baseava no comprimento total do conjunto formado pelo segmento de reta e as alhetas, o mesmo teste de PIS poderia ser feito, porém utilizando um estímulo que não provocasse o efeito ilusório. Este estímulo poderia ser formado por um

segmento de reta com alheta para fora em uma extremidade e alheta para dentro na outra extremidade. O valor deste PIS com alhetas para fora e para dentro simultaneamente poderia ser comparado com o PIS com alhetas e PIS sem alhetas. Caso o valor do comprimento total do estímulo formado pelo segmento de reta com alhetas para fora do PIS com alhetas, fosse igual ao valor do comprimento total do estímulo que não provoca o efeito ilusório do PIS com alhetas para fora e para dentro simultaneamente, poderia ser concluído que o julgamento estava baseado no tamanho total do estímulo.

As teorias “cognitivas” e “fisiológicas” formuladas para a explicação do efeito ilusório diante de figuras que provocam distorção em seres humanos, não são totalmente satisfatórias para a maioria das ilusões. É possível que uma explicação completa para as ilusões envolva a combinação de múltiplos mecanismos.

No entanto, estudos com primatas não-humanos têm possibilitado uma maior compreensão dos mecanismos neurais envolvidos na percepção do efeito ilusório. Um exemplo é a investigação da percepção de contorno em macacos rhesus, que está servindo como base para a explicação fisiológica da ilusão de contorno ou Kanizsa (Heydt & Petergans, 1989; Lam & Gilbert, 1989). Estudos posteriores, neste sentido, podem contribuir para o esclarecimento dos mecanismos fisiológicos responsáveis pelos diversos tipos de fenômenos ilusórios existentes.

Apesar dos mecanismos fisiológicos envolvidos na percepção das ilusões ainda não estarem claros, a demonstração do efeito ilusório diante figuras que provocam distorção em primatas não-humanos nos leva a refletir sobre a origem deste fenômeno de uma perspectiva evolutiva.

Além dos humanos, as ilusões visuais já foram demonstradas em primatas do Velho Mundo como o chimpanzé (Fagot & Tomonaga, 2001), rhesus (Dominguez, 1954; Bayne & Davis, 1983; Fujita, 1996,1997) e babuínos (Benhar &

Samuel, 1982; Barbet & Fagot, 2002), e em primatas do Novo Mundo como o *Cebus capucinus* (Dominguez, 1954) e os macacos-prego (*Cebus spp.*) do nosso estudo. A presença do efeito ilusório em primatas não-humanos e humanos parece indicar a importância deste fenômeno visual para a sobrevivência destes, desde os seus ancestrais comuns.

Os resultados do presente estudo reforçam a existência de similaridades entre a habilidade visual de primatas não-humanos e humanos, tomando-se como exemplo a espécie estudada. Desta forma, similaridades nos mecanismos fisiológicos de percepção entre estes podem ser encontrados. Novas propostas de investigação podem ser úteis para indicar que outros aspectos perceptuais são comuns aos primatas não-humanos e humanos.

Visto que os macacos-prego mostraram-se capazes para a realização deste tipo de teste e apresentaram o efeito ilusório no protocolo utilizado, investigações adicionais podem ser conduzidas para a espécie referida.

Já foi demonstrado em humanos que o efeito ilusório pode ser afetado pela variação do ângulo formado entre os dois segmentos de reta que compõe as alhetas (Pressey & Martin, 1990), pela variação do comprimento dos segmentos de reta que formam as alhetas (Stuart, Day & Dickinson, 1984) e pelo contraste entre os segmentos de reta e as alhetas (Dragoi & Lockhead, 1999). Assim, seria possível verificar a influência das manipulações destas características físicas dos estímulos no efeito ilusório observado entre humanos e macacos-prego.

De acordo com Miller (2000) a orientação vertical dos estímulos como um todo parece resultar em um efeito ilusório maior que a orientação horizontal. Este efeito da orientação também pode ser verificado em macacos-prego em etapas posteriores.

Outro aspecto interessante que poderia ser investigado em macacos-prego, não diz respeito às características físicas dos estímulos, mas sim à influência de características como a idade e o ambiente em que o animal é mantido, no efeito ilusório, à semelhança do que se observa em humanos. O estudo da susceptibilidade à ilusão de acordo com a idade poderia dar pistas sobre o

desenvolvimento ontogenético da percepção da ilusão nesta espécie. Rival e col. (2003) sugerem que, em humanos, é por volta dos 11 anos de idade que as crianças se tornam mais suscetíveis à ilusão de Müller-Lyer.

Estudos com humanos mostraram que características do ambiente também podem influenciar no efeito ilusório (Ahluwalia, 1978; Pedersen & Wheeler, 1983). Experimentos com animais, que possibilitam o controle das variáveis, permitem verificar, por exemplo, se o crescimento em ambiente curvilíneo ou retilíneo tem de fato influência na percepção da ilusão.

Em humanos, a ilusão de Müller-Lyer continua sendo percebida do ponto de vista tátil, independentemente da experiência visual prévia (Heller *et al*, 2002). Isso indica que diferentes mecanismos fisiológicos podem estar envolvidos na percepção desta ilusão. Desta forma, torna-se interessante verificar se os macacos também são susceptíveis à ilusão a partir de outra modalidade sensorial, como por exemplo o tato.

**CONCLUSÕES**

---

O presente trabalho conclui, primeiramente, que todos os macacos-prego (*Cebus spp.*) que participaram do estudo foram susceptíveis ao efeito ilusório visual da ilusão de Müller-Lyer. Isso foi evidenciado pela escolha preferencial do segmento de reta com alhetas para fora no teste ML, que por sua vez foi realizado após fases de treino cuja regra consistia na escolha do segmento de reta maior independentemente da orientação das alhetas. Portanto, o segmento de reta com alhetas para fora foi julgado como maior, apesar de ter o mesmo comprimento que o segmento de reta com alhetas para dentro.

A demonstração do efeito ilusório em macaco-prego (*Cebus spp.*), assim como em outros estudos com primata do Novo Mundo, como o *Cebus capucinus*, e com primatas do Velho Mundo como o chimpanzé, rhesus e babuínos, nos leva a refletir sobre a origem deste fenômeno de uma perspectiva evolutiva. A presença da percepção da ilusão de Müller-Lyer em primatas não-humanos e humanos parece indicar a importância deste fenômeno para a nossa sobrevivência, desde nossos ancestrais mais primitivos. Além disso, esta semelhança pode indicar similaridades nos mecanismos fisiológicos de percepção entre os primatas.

Contudo, a habilidade de percepção de ilusões, em seres humanos, parece ser “moldada” conforme o ambiente cultural no qual está inserido. Investigações neste sentido, em macacos, seriam válidas para a melhor compreensão dos fatores individuais que influenciam na percepção.

Um aspecto relevante deste estudo foi o desenvolvimento de um programa computacional e de um protocolo experimental para a investigação de ilusões visuais em macacos. Este também pode ser considerado instrumento viável para estudos de percepção visual ilusória em humanos e em outras espécies de primatas, tendo assim grande utilidade para a realização de estudos comparativos.

O programa ILU pode ser utilizado para a investigação da influência da variação de características físicas dos elementos que formam as figuras ilusórias de Müller-Lyer (como por exemplo, cor, contraste, inclinação, comprimento e

orientação dos segmentos de reta que formam as alhetas), na percepção do efeito ilusório.

Adicionalmente, vários outros tipos de ilusões podem ser igualmente investigados, uma vez que o programa permite importar figuras a partir de outros programas gráficos.

Por fim, pode-se dizer que o protocolo aqui empregado é eficiente na verificação da percepção da ilusão de Müller-Lyer em macacos-prego, embora outros testes devam ser feitos para completar o estudo.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

---

AHLUWALIA, A. An intra-cultural investigation of susceptibility to “perspective” and “non-perspective” spatial illusions. *Brain Journal of Psychology*, v.69, p.233-241. 1978.

ALI, M.A; KLYNE, M.A. Visual illusions. In: *Vision in Vertebrates*. New York: Plenum Press, 1985. p.215-230.

ARMSTRONG, D.M. *La percepción y el mundo físico*. Editorial Tecnos, Madrid. 1966. 235p.

BARBET, I; FAGOT, J. Perception of the corridor illusion by baboons (*Papio papio*). *Behavioural Brain Research*, v.132, p.111-115. 2002.

BAYNE, K.A.L; DAVIS, R.T. Susceptibility of rhesus monkey (*Macaca mulatta*) to the Ponzo illusion. *Bulletin of the Psychonomic Society* v.21, n.6, p.476-478. 1983.

BENHAR, E; SAMUEL, D. Visual illusions in the baboons (*Papio anubis*). *Animal Learning & Behavior*, v.10, n.1, p.115-118. 1982.

BRAVO, M; BLAKE, R; MORRISON, O. Cats see subjective contours. *Vision Research*, v.28, n.8, p.861-865. 1988.

CALVERT, J. Perceptions and illusion. In *Neurosciência*. Disponível em <<http://www.du.edu/~jcalvert/optics/illus.htm>> Acesso em: 28 de setembro de 2003.

CANGLAND, D. K. *Psychology: the experimental approach*. Mc Graw – Hill Book Company, 1968. p.83-109.

COREN, S; WARD, L.M. *Sensation & Perception*. Harcourt Brace Jovanovich College Publishers. 1989. 612p.

DE WAAL, F.B.M; BERGER, M.L. Payment for labour in monkeys: Capuchins will voluntarily shape with other monkeys that helped to secure them. *Nature*, v. 404, p. 563. 2000.

DOMINGUEZ, K.E. A study of visual illusion in the monkey. *Journal of Genetic Psychology*, v.85, p.105-127. 1954.

DRAGOI, V; LOCKHEAD, G. Context-dependent changes in visual sensitivity induced by Müller-Lyer stimuli. *Vision Research*, v.39, p.1657-1670.1999.

EAGLEMAN, D.M. Visual illusion and neurobiology. *Nature Review of Neuroscience*, v.2, n.12, p.920-926. 2001.

EDWARDS, K.R; BROSVIC, M; DIHOFF. R.E. Influences of academic training and nonacademic experience on susceptibility to the horizontal-vertical illusion. *Bulletin of the Psychonomic Society*, v.31, n.5, p.465-467. 1993.

ERLEBACHER, A; SEKULER, R. Perceived length depends on exposure duration: straight lines and Müller-Lyer stimuli. *Journal of Experimental Psychology*, v.103, n.4, p.724-728. 1974.

FAGOT, J; TOMONAGA, M. Effects of element separation on perceptual grouping by humans (*Homo sapiens*) and chimpanzees (*Pan troglodytes*): perception of Kanizsa illusory figures. *Animal Cognition*, v.4, p.171-177. 2001.

FISHER, G.H. Gradients of distortion seen in the context of the Ponzo illusion and other contours. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, v.20, n.2, p.212-217. 1968.

FRAGASZY, D. M; VISALBERGHI, E; FEDIGAN, L. M. *The Complete Capuchin – The Biology of the Genus Cebus*. Cambridge: United Kingdom at the Univesity Press. 2004. 319p.

FUJITA, K. Linear perspective and the Ponzo illusion: a comparison between rhesus monkeys and humans. *Japanese Psychological Research*, v.38, n.3, p.136-145. 1996.

\_\_\_\_\_. Perception of Ponzo illusion by rhesus monkey, chimpanzees, and humans: Similarity and difference in the three primate species. *Perception & Psychophysics*, v.59, n.2, p.284-292. 1997.

FUJITA, K; BLOUGH, D.S; BLOUGH, P.M. Pigeons see the Ponzo illusion. *Animal Learning & Behavior*, v.19, n.3, p.283-293. 1991.

\_\_\_\_\_. Effects of the inclination of context lines on perception of Ponzo illusion by pigeons. *Animal Learning & Behavior*, v.21, n.1, p.29-34. 1993.

GEIGER, G; POGGIO, T. The Müller-Lyer Figure and the Fly. *Science*, v.190, p. 479-480. 1975.

GEIGY, J.R. *Tablas Cientificas*. 6ed. Basilea (Suíça). 1965 p.87-99.

GELLERMAN, L.W. Chance order of alternating stimuli in visual discrimination experiments. *Journal of Genetic Psychology*, v.42, p.206-208. 1933.

GENTAZ, E. Geometrical haptic illusions: The role of exploration in the Müller-Lyer, horizontal-vertical, and Delboeuf illusions. *Psychonomic Bulletin & Review*, v.11, n.1, p.31-40. 2004.

GILLAM, B. Geometrical illusions. In: *The Perceptual World*. New York: W. H. Freeman and Company, 1980. p.164-176.

GILLAM, D.J; SCHMIDT, W; HANOWSKI, R.J. The effect of the Müller-Lyer illusion on map reading. *Perception & Psychophysics*, v.61, n.6, p.1154-1167. 1999.

GOMES, U.R; TOMAZ, C; SUGANUMA, E; PESSOA, V.F. Color vision perception in capuchin monkey – a behavioral study. *Neurobiologia*, v.67, n.1-2, p.7-17. 2004.

GOMES, U.R; PESSOA, D.M.A; SUGANUMA, E; TOMAZ, C; PESSOA, V.F. influence of stimuli size on color discrimination in capuchin monkey. *American Journal of Primatology*, v.67, p.437-446. 2005.

GREGORY, R.L. *Olho e Cérebro – Psicologia da visão*. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1966. 251p.

GREGORY, R.L; COLMAN, A.M. *Sensation and Perception*. Longman, London. 1995.

HAGEN, D. L. Intra-cultural differences in the perception of visual illusions: na urban/rural comparison. *Perceptual and Motor Skills*, v.45, p.1105-1106. 1977.

HARTLINE H.K; WAGNER, H.G; RATTIFF, F. Inhibition in the eye of Limulus. *Journal of General Physiology*, v.39, n.5, p.651-673. 1956.

HELLER, M. A; BRACKETT, D. D; WILSON, K; TONEYAMA, K; BOYER, A; STEFFEN, H. The haptic Müller-Lyer illusion in sighted and blind people. *Perception*, v. 31, p. 1263-1274. 2002.

HEYDT, R; PETERHANS, E. Mechanisms of Contours Perception in Monkey Visual Cortex. I. Lines of Pattern Discontinuity. *The Journal of Neuroscience*, v.9, n. 5, p. 1731-1748. 1989.

HOCHBERG, J.E. *Percepção*. Zahar, Rio de Janeiro. 1982. 179p.

HUBEL, D.H; WIESEL, T.N. Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex. *Journal of Physiology*, v.160, p.106-154. 1962.

HUBEL, D.H; WIESEL, T.N. Receptive fields and functional architecture in two nonstriate visual areas (18 and 19) of the cat. *Journal of Neurophysiology*, v.28, p.229-289. 1965.

JACOBS, G.H; NEITZ, J. Polymorphism of middle wavelength cone in two species of south american monkey: *Cebus apella* and *Calicebus moloch*. *Vision Research*, v.27, p.1263-1268. 1987.

JAEGER, T. Effect of changes in fin-length on apparente shaft-length and depth in the Müller-Lyer illusion. *Perceptual and Motor Skills*, v.41, p.79-84. 1975.

JANSON, C.H; BOINSKI, S. Morphological and behavioral adaptations for foraging in generalist primates: the case of the cebines. *Aminal Journal of Physician and Anthropology*, v.88, p.483-498. 1992.

JERISON, H. *Evolution of brain and intelligence*. Mew York, Academic Press, 1973.

JOVANOVIH, H. B. The Constancies. In: *Sensation & Perception* (Coren, S. e Ward, L. M) 3 ed. 1989. p.404-425.

LAN, D.M.K; GILBERT, C.D. *Neural Mechanisms of Visual Perception*. 1989. 304p.

KANDEL, E.R; SCHWARTZ, J.H; JESSELL, T.M. *Princípios da Neurociência*. Mc-Graw- Hill Companies, 2000. 1412p.

KANIZSA, G. Subjective Contours. In: Rock, I. *The Perceptual World*. New York: W. H. Freeman and Company. p.155-163. 1976.

KING, F.A; YARBROUGH, C.J; ANDERSON, D.C; GORDON, T.P; GOULD, K.G. Primates. *Science*, v.240, p.1475-1478. 1988.

MALACH, R; REPPAS, J.B; BENSON, R.R; KWONG, K.K; JIANG, H; KENNEDY, W.A; LEDDEN, P.J; BRADY, T.J; ROSEN, B.R; TOOTELL, R.B. Object-related activity revealed by functional magnetic resonance imaging in human occipital cortex. *The Proccedings of the National Academy of Sciences USA*, v.92, n.18, p.8135-8139. 1995.

MALOTT, R.W; MALOTT, M.K; POKRZYWINSKI, J. The effects of outward-pointing arrowheads on the Müller-Lyer illusion in pigeons. *Psychonomic Science*, v.9, n.1, p.55-56. 1967.

MERRIAM, E.P; CENOVESE, C.R; COLBY, C.L. Spatial updating in human parietal cortex. *Neuron*, v.39, n.2, p.361-373. 2003.

MILLAR, S; AL-ATTAR, Z. Illusions in reading maps by touch: Reducing distance errors. *Brain Journal of Psychology*, v.92, p.643-657. 2001.

MILLER, D. Creating visual stories and illusion around the retinal image. In: *The wisdom of the eye*, 2000. p.103-132.

MONSERRAT, J. *La percepción visual*. Madrid: Editorial Biblioteca Nueva 1998. 613p.

MORGAN, W.W. Retinal structure and function. In: *Retinal transmitters and Moleculators: Models for the brain*. Flórida: CRC Press, 1984. p.3-10.

MORIKAWA, K. An application of the Müller-Lyer illusion. *Perception*, v.32, p.121-123. 2003.

PEDERSEN, D. M; WHEELER, J. The Müller-Lyer illusion among Navajos. *The Journal of Social Psychology*, v.121, p.1-6. 1983.

PREDEBON, J. Spatial range of illusory effects in Müller-Lyer figures. *Psychological Research*, v.65, p.226-234. 2001.

PRESSEY, A.W. A theory of the Müller-Lyer illusion. *Perception and Motor Skills*, v.25, p.569-572. 1967.

PRESSEY, A; MARTIN, N. S. The effects of varying fins in Müller-Lyer and Holding illusions. *Psychology Research*, v.52, p.46-53. 1990.

RIVAL, C; OLIVIER, I; CEYTE, C.F. Age-related differences in a delayed pointing of a Müller-Lyer illusion. *Experimental Brain Research*, v.153, p.378-381. 2003.

ROBINSON, J.O. *The Psychology of Visual illusion*. Dover Publications, New York, 1998. 290p.

SADZA, K.J; WEERT, C.M.M. Influence of color and luminance on the Müller-Lyer illusion. *Perception & Psychophysics*, v.35, n.3, p.214-220. 1984.

SAVAGE, A; DRONZEK, L.A; SNOWDON, C.T. Color discrimination by the cotton top tamarin (*Saguinus oedipus oedipus*) and its relation to fruit coloration. *Folia Primatologica*, v.49, p.57-69. 1987.

SPINOZZI, G; DE LILLO, C; TRUPPA, V. Global and local processing of hierarchical visual stimuli in tufted capuchin monkeys (*Cebus apella*). *Journal of Comparative Psychology*, v.177, n.1, p.15-23. 2003.

SCHIFFMAN, H.R. Constancy and Illusions. In: *Sensation and Perception – An integrated approach*. 15 ed. John Wiley e Sons, inc. USA, 2000. p.247-287.

SCHWARTZ, S.H. *Visual perception: a clinical orientation*. Library of Congress, 1998. 433p.

STUART, G.W; DAY, R.H, DICKINSON, R.G. Müller-Lyer: Illusion of Size or Position? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, v.36A, p.663-672. 1984.

SUMNER, P; MOLLON, J.D. Color of primate pelage and skin: objective assessment of conspicuousness. *American Journal of Primatology*, v.59, p.67-91. 2003.

SUZUKI, K; ARASHIDA, R. Geometrical haptic illusions revisited: Haptic illusions compared with visual illusions. *Perception & Psychophysics*, v.52, n.3, p.329-335. 1992.

TAVARES, M.C.H. *Ritmicidade biológica e desempenho cognitivo em primatas humanos e não-humanos*. 202. 139f. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

TAVARES, M.C.H; TOMAZ, C. Working memory in capuchin monkeys (*Cebus apella*). *Behavioural Brain Research*, v.131, p.131-137, 2002.

VILLARD, E; GARCIA-MORENO, F.T; PETER, N; CLÉMENT, G. Geometric visual illusions in microgravity during parabolic flight. *Cognitive Neuroscience and Neuropsychology*, v.16, n.12, p.1395-1398, 2005a.

VILLARD, E; GARCIA-MORENO, F.T; PETER, N; CLÉMENT, G. Understanding visual perception in the perspective of gravity. *Journal of Gravitational Physiology*, v.12, n.1, p.51-52, 2005.

VISALBERGHI, E; LIMONGELLI, L. Lack of comprehension of cause-effect relations in tool-using capuchin monkey (*Cebus apella*). *Journal of Comparative Psychology*, v.108, n.1, p.15-22. 1994.

WADE. N.J. Illusion. In: *A natural history of vision*. Cambridge, 1998, p.367-398.

WARDEN, C.J; BAAR, J. The Müller-Lyer illusion in the ring dove, *Turtur risorius*. *Journal of Comparative Psychology*, v.9, p.275-292. 1929.

WEIDNER, R; FINK, G.R. The neural mechanisms underlying the Müller-Lyer illusion and its interaction with visuospatial judgments. *Cerebral Cortex*, 2006.

**ANEXOS**

---



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS - IB  
COMITÊ DE ÉTICA NO USO ANIMAL - CEUA

Brasília, 14 de dezembro de 2004.

### **DECLARAÇÃO**

Declaramos que o projeto intitulado "INVESTIGAÇÃO DA PERCEPÇÃO VISUAL ILUSÓRIA EM MACACO-PREGO (*CEBUS APELLA*)" sob responsabilidade da Profa. Dra. Alzira Amélia Martins Rosa e Silva, foi avaliado e aprovado pelo Comitê de Ética no Uso Animal (CEUA) do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília.

  
Profa. Anamélia Lorenzetti Bocca  
Coordenadora do CEUA

ANEXO 1



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS - IB  
COMITÊ DE ÉTICA NO USO ANIMAL - CEUA

December, 14 2004.

**TO WHOM IT MAY CONCERN**

This letter certifies that the study "INVESTIGAÇÃO DA PERCEPÇÃO VISUAL ILUSÓRIA EM MACACO-PREGO (*CEBUS APELLA*)", was approved by the Animal Research Ethics Committee of the University of Brasília – Institute of Biology.

  
Prof. Anamélia Lorenzetti Bocca  
President of CEUA

## ANEXO 3

Código dos estímulos utilizados nas fases da modelagem e nos testes de Müller-Lyer e PIS sem e com alhetas

### Modelagem

Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
M60G000	M7020G000	M7515G000	M8545G000
M60G180	M7020G180	M7515G180	M8545G180
M70G000	M7030G000	M7520G000	M8548G000
M70G180	M7030G180	M7520G180	M8548G180
M80G000	M8020G000	M8020G000	M9045G000
M80G180	M8020G180	M8020G180	M9045G180
	M8030G000	M8525G000	M9048G000
	M8030G180	M8525G180	M9048G180
		M9048G000	M10015G000
		M9048G180	M10015G180
		M9051G000	M10515G000
		M9051G180	M10515G180

Teste Müller-Lyer	PIS sem alhetas	PIS com alhetas
T88G000	P50G000	T50G000
T88G180	P50G180	T50G180
T84G000	P40G000	T48G000
T84G180	P40G180	T48G180
T80G000	P30G000	T46G000
T80G180	P30G180	T46G180
T76G000	P28G000	T44G000
T76G180	P28G180	T44G180
T72G000	P26G000	T42G000
T72G180	P26G180	T42G180
	P24G000	T40G000
	P24G180	T40G180
	P22G000	T38G000
	P22G180	T38G180
	P20G000	T36G000
	P20G180	T36G180
	P18G000	T34G000
	P18G180	T34G180
	P16G000	T32G000
	P16G180	T32G180
	P14G000	T30G000
	P14G180	T30G180
	P12G000	
	P12G180	
	P10G000	
	P10G180	
	P08G000	
	P08G180	

**ANEXO 4**

SUJEITO: \_\_\_\_\_ TAREFA: \_\_\_\_\_ EXPERIMENTADORES: \_\_\_\_\_  
 DATA: \_\_\_\_\_ DIA: \_\_\_\_\_ SESSÃO Nº: \_\_\_\_\_ HORÁRIO: \_\_\_\_\_  
 FASE DE TESTE: \_\_\_\_\_ % ACERTO: \_\_\_\_\_ % ERRO: \_\_\_\_\_

T	Pata	D	Observações
01			
02			
03			
04			
05			
06			
07			
08			
09			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

ORS: