

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra



Disciplina de Projecto do Curso de Engenharia Biomédica

# **IMPLEMENTAÇÃO DE TESTES DE AVALIAÇÃO VISUAL**

Emília Neto

Julho 2007

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra



Disciplina de Projecto do Curso de Engenharia Biomédica realizado  
no IBILI – Instituto Biomédico de Investigação de Luz e Imagem  
com a orientação do Prof. Dr. Miguel Castelo-Branco.

# **IMPLEMENTAÇÃO DE TESTES DE AVALIAÇÃO VISUAL**

Emília Neto

Julho 2007

## PREFÁCIO

Este projecto intitulado “Implementação de Testes de Avaliação Visual”, pertence à cadeira de Projecto do curso de Engenharia Biomédica.

Foi realizado no IBILI – Instituto Biomédico de Investigação de Luz e Imagem com a orientação do Prof. Dr. Miguel Castelo – Branco e inserido num trabalho de equipa para a empresa NeuroEye com o objectivo de reproduzir um teste de discriminação da velocidade para aplicação clínica nomeadamente em oftalmologia. Tratou-se de um trabalho no âmbito da transferência de conhecimento e tecnologia onde foi possível combinar os avanços científicos com o domínio comercial. Este projecto pode tornar-se um produto comercial na área da saúde onde não existem, por enquanto, outros com as mesmas características. O que faz deste produto um produto de vanguarda na área do glaucoma.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço o apoio do meu orientador, Prof. Dr. Miguel Castelo-Branco ao longo da jornada que foi a realização deste projecto.

Não posso também deixar de agradecer de uma maneira especial à minha co-supervisora Joana Sampaio pela paciência e disponibilidade, incentivo e amizade. Finalmente, deixo uma palavra de apreço ao José Rebola que me ensinou a gostar de MatLab.

# ÍNDICE

1-	INTRODUÇÃO .....	- 1 -
2-	PSICOFÍSICA .....	- 2 -
3-	MÉTODOS PSICOFÍSICOS.....	- 7 -
3.1-	MÉTODO DOS ESTÍMULOS CONSTANTES .....	- 10 -
3.1.1	Função Psicométrica.....	- 13 -
3.2-	MÉTODO DOS LIMITES.....	- 17 -
3.3-	MÉTODO DOS AJUSTES.....	- 20 -
4-	COMO CONTROLAR A TAXA DE ADIVINHAÇÃO E O VIÉS .....	- 22 -
5-	TEORIA DE DETECÇÃO DO SINAL.....	- 25 -
6-	MAGNITUDE DAS SENSações.....	- 36 -
7-	MÉTODOS ADAPTATIVOS <i>STAIRCASE</i> .....	- 40 -
8-	OBJECTIVO DO TRABALHO .....	- 48 -
8.1-	REPRODUÇÃO DA LOCAL SPEED DISCRIMINATION TASK.....	- 48 -
8.2-	DESCRIÇÃO DO CONCEITO .....	- 49 -
9-	SOFTWARE UTILIZADO .....	- 52 -
10-	TESTE DOS AJUSTES .....	- 56 -
11-	DESCRIÇÃO DETALHADA DO LoSp .....	- 59 -
11.1-	STAIRCASE.....	- 59 -
11.2-	PROGRAMA – MATLAB & PTB-3.....	- 62 -
12-	CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO .....	- 68 -
13-	REFERÊNCIAS.....	- 70 -
	ANEXO.....	- 73 -

# 1- INTRODUÇÃO

Este trabalho está centrado na Psicofísica, uma subdisciplina da psicologia que lida com as relações entre estímulos físicos e a sua percepção. Foi fundada por Gustav Theodor Fechner em 1860 com a publicação de “*Elemente der Psychophysik*” onde descreveu pesquisas que relacionavam estímulos físicos com a sua percepção determinando assim os fundamentos filosóficos neste campo.

Fechner quis desenvolver uma teoria que pudesse relacionar matéria com mente, através da descrição da relação entre o mundo e as várias formas de o perceber (Snodgrass, 1975).

A grande parte dos estudos psicofísicos estão desenhados para determinar *thresholds* – limiares ou seja, o mínimo valor requerido a um estímulo para desencadear uma resposta, uma percepção.

Neste trabalho, descrever-se-ão os três métodos clássicos da psicofísica e as suas variações dando particular ênfase ao Método dos Limites com a evolução para o algoritmo da *staircase*. Serão também referidas formas de controlar *bias* (tendências) que incluem métodos de *force-choise* (escolha forçada) e procedimentos experimentais baseadas na teoria de detecção do sinal.

Discutir-se-á depois o *software* escolhido para desenvolver o projecto nomeadamente o Matlab e a sua *toolbox* (ferramenta de funções) especificamente criada para desenvolver testes psicofísicos – Psychtoolbox. Será ainda descrita em pormenor a elaboração do teste de Discriminação da Velocidade que foi desenvolvido com este *software*.

## 2- PSICOFÍSICA

No panorama das ciências psicológicas, a área da percepção tem sido um âmbito de pesquisa privilegiado que teve ilustres precedentes no âmbito da discussão filosófica desde tempos antigos.



A percepção - “apreciação de uma situação física pela mediação de um ou mais sentidos” - ocorre dentro do nosso cérebro e não pode ser medida directamente.

O nascimento da psicologia foi sendo acompanhado pelo desenvolvimento de metodologias de medição dos fenómenos mentais que têm facilitado a transformação do estudo da experiência numa disciplina científica.

Uma importante evolução metodológica consistiu a introdução de métodos para a quantificação de sensações. Este sector de pesquisa tomou o nome de psicofísica (do Grego psico [alma] e do Latim física [ciência natural]). Teve início com a ideia de Gustav Theodor Fechner, aquando da publicação do livro “*Elemente der Psychophysik*” em 1860, de transformar em lei matemática uma relação descoberta em 1834 pelo seu compatriota Ernst Heinrich Weber, um anatomista e fisiologista que estudou a resposta de humanos a estímulos físicos.

Weber percebeu que uma pessoa não conseguia discriminar entre 20,0g e 20,5g. Para um peso de 20g, o aumento necessário no estímulo para se perceber uma diferença é de 1g. No entanto, com um peso inicial de 40g o resultado é ligeiramente diferente. Uma pessoa não consegue discriminar entre 41g e 40g, mas necessita um aumento de 2g para que se dê uma percepção mínima, uma diferença mínima a que chamou *Just Noticeable Difference* (JND). De forma semelhante, Weber também descobriu que 63g não podiam ser discriminadas de 60g e 84g de 80g e 100g de 105g. O aumento necessário do estímulo para se perceber a diferença, a JND, em todos os casos é 5% do peso original.

## PSICOFÍSICA

Partindo destas observações, em 1834 Weber formulou uma lei que estabelece que, para a JND, uma dada intensidade de estimulação é proporcional ao estímulo original. Foram obtidos resultados idênticos com estímulos de som, luz e sabor.

De um modo geral, foi descoberto que se  $s$  for a magnitude de um estímulo e JND a diferença mínima perceptível para a discriminação então a razão descrita pela Equação 2-1, é constante.

$$r = \frac{JND}{s} \quad \text{Equação 2-1 Relação de Weber}$$

A JND em sensação ocorre só quando um aumento ou alteração nos estímulos são uma percentagem constante do estímulo em si (Lanzara, 1994).

Fechner utilizou a relação entre estímulo e aumento necessário para haver uma alteração, da Lei de Weber, assumindo tanto a intensidade da estimulação como a sensação como dimensões quantificáveis nas leis do cálculo infinitesimal ou seja à análise matemática. De uma forma concreta, ele conseguiu chegar à equação  $S = k \log I$  onde  $S$  é o valor da sensação,  $k$  é a constante de Weber e  $I$  é o valor da intensidade física medida através de um instrumento. Esta relação matemática ficou conhecida como a Lei de Weber-Fechner uma vez que tem em conta a constante de Weber assim como a intuição de Fechner no que diz respeito à relação entre a sensação e a intensidade física. Trata-se portanto de uma função matemática que relaciona aumentos de valores constantes no domínio das sensações a aumentos em progressão geométrica no âmbito da estimulação física. Pode dizer-se, invertendo os termos da descrição matemática que, a aumentos de valor constante no domínio da intensidade física objectiva, correspondem aumentos sempre mais pequenos da intensidade da sensação subjectiva.

Conclui-se assim que o objectivo da psicofísica é a obtenção de limiares de sensações o que foi possível graças à relação de Weber e à Lei de Weber-Fechner assim como ao desenvolvimento de metodologias de laboratório.

Fechner dividiu ainda a psicofísica em dois grupos (ver Figura 2.1 e Figura 2.2): a *inner psychophysics* (psicofísica interna) que se referia ao

## PSICOFÍSICA

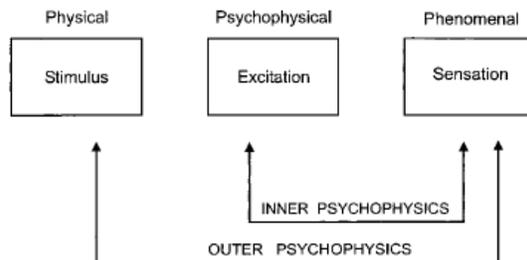
fundamento neural e à relação da sensação com a actividade neural subjacente a ela e a *outer psychophysics* (psicofísica exterior) que lida com a relação entre a sensação e as propriedades físicas correspondentes assim como a variação do estímulo em si (Scheere, 1992).

Depois da publicação do livro de psicofísica, a psicofísica interna permaneceu um conceito teórico, enquanto que a noção de psicofísica externa deu as bases para o desenvolvimento dos métodos de estudo dos processos sensoriais e cerebrais (Ehrenstein, 1999).

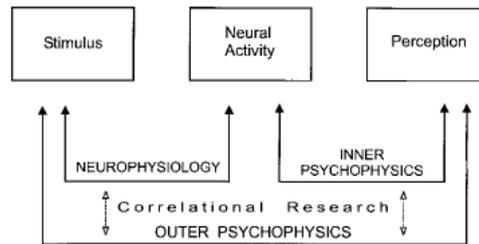
Com a evolução e o aparecimento da electrofisiologia, MRIf, PET, tornou-se possível o estudo dos processos sensoriais no cérebro e a sua localização. No entanto, os métodos psicofísicos já criados mantiveram a sua importância, aliando-se a outros métodos complementado a pesquisa, no que ficou conhecido como pesquisa co-relacional (Jung, 1972).

Esta aproximação compara dados psicofísicos e neurais a nível quantitativo e descritivo, sendo utilizado por pesquisadores em neurociências (Spillmann & Ehrenstein, 1996).

A Figura 2.2 mostra que os objectivos da psicofísica interna podem ser atingidos agora que há meios para correlacionar directamente fenómenos e achados subjectivos com evidências disponíveis e objectivas de actividade neural e sensorial. Assim, a concepção de Fechner da psicofísica interna não é dependente só das metodologias da psicofísica externa, como se pode comprovar pelas imagens seguintes.



**Figura 2.1 - A concepção de Fechner da psicofísica. Onde se assumiu que a psicofísica externa era baseada nos métodos físicos para descrever o controlo do estímulo. A psicofísica interna tornou-se um conceito teórico e apoiava-se nos métodos da psicofísica externa para inferir acerca das regras sensoriais e do processamento neuronal do estímulo. Fonte: Ehrendtein, 1999.**



**Figura 2.2 - Concepção moderna da psicofísica. Devido aos avanços tecnológicos a actividade neuronal pode ser medida objectivamente permitindo relações quantitativas entre psicofísica e percepção da correlação neural. Fonte: Ehrendtein, 1999.**

Convém ainda, antes de continuar, fazer a distinção entre o conceito de sensação e de percepção. Pode então dizer-se que a sensação é o registo da diferença de energia (limiares) enquanto a percepção é a organização destas diferenças mínimas em estruturas dotadas de relações (objectos, eventos...). A percepção é uma apreensão enquanto a sensação é uma impressão.

A noção de *threshold* (limiar) é portanto fundamental nesta ciência: um limiar é o ponto de intensidade com o qual o participante pode detectar ou distinguir o estímulo (Snodgrass, 1975). Tendo em conta esta definição distinguem-se dois tipos de limiares: o *absolute threshold* (limiar absoluto) e o *differential threshold* (limiar diferencial). O limiar absoluto é definido como a quantidade mínima necessária para que um estímulo, em condições ideais, seja perceptível. Por sua vez, o limiar diferencial é definido como a quantidade física que permite salientar uma diferença na intensidade da sensação correspondente a dois estímulos separados no tempo e no espaço. Um pressuposto muito importante da psicofísica é que a percepção é sempre uma “percepção de diferenças”. Os limiares revelam os saltos mínimos (diferenças ou somas) de energia necessários para se dar uma alteração “do nada para alguma coisa” ou vice-versa – limiar absoluto e de “qualquer coisa a algo diferente” – limiar diferencial.

Estes dois tipos de limiares são muitas vezes considerados semelhantes devido ao ruído de fundo que interfere com a nossa capacidade de detectar estímulos (Snodgrass, 1975).

## PSICOFÍSICA

As tarefas utilizadas para medir limiares são: tarefa de detecção, discriminação e reconhecimento. Na tarefa de detecção pergunta-se ao indivíduo que a realiza se vê ou não alguma coisa. Esta tarefa poderá ser utilizada para se obter um limiar absoluto na detecção de um estímulo, por exemplo: “quantos quanta um flash de luz tem que ter para ser um limiar da percepção de luz?”. A tarefa de discriminação mede o limiar para detectar a diferença entre um “estímulo teste” e um estímulo de referência. Um clássico exemplo desta tarefa envolve a determinação da distância a que devem estar colocados dois pontos para que sejam distinguidos como tal. A terceira tarefa para a medição de limiares é a tarefa de reconhecimento, neste caso, um objecto já visível tem que ser identificado. Um exemplo desta tarefa são os testes de acuidade visual nos quais o observador identifica as letras pelo nome.

Esta distinção entre as várias tarefas foi feita de uma forma hierárquica no que diz respeito à dificuldade do processo perceptível requerido para as efectuar. É mais complexo nas tarefas de reconhecimento, intermédio nas de discriminação e mais simples nas de detecção.

Há também quem defenda que a tarefa de detecção é uma variação da tarefa de discriminação: se um dos dois estímulos da tarefa de discriminação for nulo esta torna-se o paradigma da detecção. (Treutwein, 1995).

### 3-MÉTODOS PSICOFÍSICOS

Hoje em dia são feitos muitos testes tais como testes de acuidade visual, medição do campo visual – perimetria e retinotopia, que envolvem muitas medições psicofísicas que assentam nos princípios de Gustav Fechner.

As tarefas realizadas têm que dar resultados fiáveis e precisos com o menor número de estímulos apresentados, sem requerer julgamentos muito sofisticados por parte do observador ao qual está a ser realizado o teste e, por último, com a mínima oportunidade para *psychological bias* (viés psicológico) que pode afectar os resultados (Norton, 2002).

É necessário estar-se atento a estes factores para que possam ser controlados. Para além disto, a localização na retina e o nível de adaptação à luz do sistema visual do indivíduo também têm que ser controlados.

As medições psicofísicas da função visual envolvem a apresentação de um estímulo que pode variar segundo diversas dimensões, por exemplo: intensidade, comprimento de onda, tamanho, tempo de exposição, forma, localização relativa dos elementos do estímulo. Combinadas, então, todas as possíveis dimensões dos estímulos, pode ser apresentada uma infinidade deles!

Numa tarefa de medição ideal todas as dimensões do estímulo, excepto uma, permanecem fixas e essa dimensão varia de acordo com um padrão que é inerente ao procedimento psicofísico que está a ser usado. Por vezes, o tipo de procedimento determina a configuração do estímulo e vice-versa.

Inicialmente pensava-se que os sistemas sensoriais respondiam na forma de tudo ou nada, o que significava que, para qualquer dimensão física de um estímulo, haveria um valor particular no qual o estímulo nunca seria detectado e acima do qual seria sempre detectado.

Sabe-se agora que os limiares mostram sempre variabilidade de ensaio para ensaio num mesmo teste ou em vários, podendo portanto variar com o tipo de teste psicofísico utilizado.

## MÉTODOS PSICOFÍSICOS

Uma razão para a variabilidade nestas medições do valor do limiar de um estímulo está no facto de que, em certas condições, como por exemplo a testar o limiar absoluto em visão, flutuações aleatórias no estímulo podem ocorrer e podem ter impacto na medição do mesmo. (Norton, 2002)

Outra razão para esta variabilidade diz respeito às contínuas flutuações aleatórias nos níveis de actividade neuronal que transportam os sinais da informação visual da retina até às estruturas visuais centrais. Mesmo que um estímulo idêntico seja apresentado repetidamente, a resposta neural varia sempre. O sistema nervoso exhibe por si variabilidade. Para um estímulo visual ser visto os neurónios no sistema visual têm que responder forte o suficiente para que a resposta se distinga dos potenciais de acção produzidos quando o estímulo não está presente. (Norton, 2002)

Uma terceira razão para a variabilidade nos valores dos limiares diz respeito aos níveis de atenção e alerta de uma pessoa, ou seja, se estiver a decorrer uma tarefa aborrecida e repetitiva os níveis de alerta diminuem. Se houver um longo intervalo de tempo entre a apresentação dos estímulos a atenção também pode diminuir, nestes casos mesmo quando é apresentado um estímulo acima do limiar este pode não ser detectado. (Norton, 2002)

Um quarto factor que contribui para as variações nas medições é o viés psicológico. Uma pessoa, quando está a fazer um teste, pode ter a tendência de só dizer que vê um estímulo ou alteração no mesmo quando tem mesmo a certeza; por outro lado pode haver outra que assinale qualquer mínima alteração. (Norton, 2002)

Tendo em conta estes quatro tipos de variabilidade é necessário uma forma eficiente e acurada de obter o limiar, para tal, em meados de 1800, Gustav Fechner criou dois dos três métodos clássicos, o Método dos Estímulos Constantes e o Método dos Ajustes, tendo sido o método dos Limites inventado por Wilhelm Wundt um sucessor de Fechner que construiu também o primeiro laboratório de pesquisa psicológica. Estes métodos são directos e medem a probabilidade da detecção de estímulos em vários níveis (ou uma alteração num estímulo) para determinar um único valor, aquele que melhor descreve o

## MÉTODOS PSICOFÍSICOS

limiar num particular conjunto de condições, podendo medir-se então limiares de modo preciso.

No entanto, em geral estes três métodos estão sujeitos a um ou mais dos seguintes défices:

- ausência de controlo no critério de decisão do sujeito;
- a estimativa pode ser substancialmente enviesada;
- não existe justificação teórica para aspectos importantes do procedimento;
- grande parte dos dados são desnecessários uma vez que estímulo é muitas vezes apresentado longe do limiar onde pouca informação é importante (Treutwein, 1995).

### 3.1- MÉTODO DOS ESTÍMULOS CONSTANTES

O Método dos Estímulos Constantes é considerado o mais preciso de todos os métodos psicofísicos.

O nome “Estímulos Constantes” indica que ao observador são apresentados todos os estímulos com intensidades variáveis, um número constante de vezes.

Neste método, o examinador selecciona um conjunto de estímulos de valores diversos que cobrem uma gama tal que o mínimo valor do estímulo esteja ligeiramente abaixo do limiar e o máximo esteja ligeiramente acima. Cada estímulo é então apresentado várias vezes de forma aleatória. Depois da apresentação de cada estímulo, ou seja depois de cada ensaio, o indivíduo deve indicar se detectou ou não o estímulo. Numa medida de limiar simples, o estímulo tem que ser apresentado 50 vezes para a mesma intensidade.

A apresentação do estímulo de forma aleatória das várias intensidades garante que o indivíduo, sujeito a este tipo de procedimentos, não cometa os erros de antecipação ou seja que não tente adivinhar o que aparecerá no ensaio sucessivo. Evita-se também o cansaço sensorial devido à casualidade na apresentação dos estímulos, é contudo um teste muito trabalhoso e longo de aplicar.

O limiar é determinado após serem recolhidas todas as respostas do indivíduo durante a apresentação dos estímulos. Para tal, é representada graficamente a percentagem de vezes que o indivíduo detectou o estímulo (resposta sim) em função da dimensão física do estímulo em estudo. Imaginando que se tem uma determinada característica física, com uma determinada intensidade variável (por exemplo contraste) e que foi apresentada cada uma das várias intensidades um número  $N$  de vezes, deve então calcular-se a proporção de respostas afirmativas dadas pelo indivíduo para cada nível de intensidade variando de um mínimo de 0 ( $0/N=0$ ) ao valor máximo 1 ( $N/N=1$ ). Estes valores são então colocados num gráfico que toma o nome de Função Psicométrica ou “*Frequency of seeing curve*”. O limiar é calculado

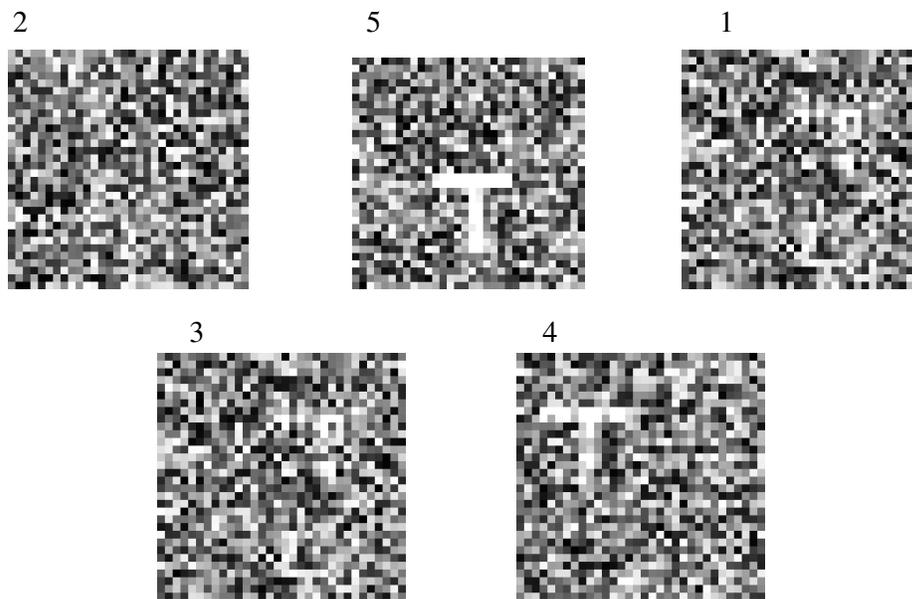
## MÉTODOS PSICOFÍSICOS

traçando uma linha que corta o eixo das respostas afirmativas ( $y'$ ) no valor 0.5 ( $N/2$ ) e intercepta a curva psicométrica num determinado valor de intensidade física que corresponderá ao limiar.

Este método, quando usado correctamente, proporciona uma elevada precisão na estimativa do limiar absoluto e com algumas modificações até do limiar discriminativo.

No entanto, está sempre sujeito a adivinhação (*guessing*) e ao viés (*bias*), uma vez que são necessários muitos ensaios. Não é portanto usado em clínica.

De seguida é apresentado um exemplo de um teste utilizando este método (Figura 3.1). É apresentado um estímulo T com 5 níveis de intensidade, por exemplo diferente contraste. É apresentado 10 vezes a um indivíduo sendo-lhe colocada a questão: “Consegue ver a letra T?”.



**Figura 3.1 – Estímulo das várias intensidades, o número à esquerda de cada imagem representa a intensidade.**

Na Figura 3.2 estão registadas as respostas. Pode verificar-se que, quando o estímulo com intensidade 3 foi apresentado, o sujeito conseguiu distingui-lo, ou seja respondeu “sim” 5 das 10 vezes que foi apresentado o que corresponde a 50% de respostas sim. Logo, o limiar para a variável física que estava a ser mediada é 3.

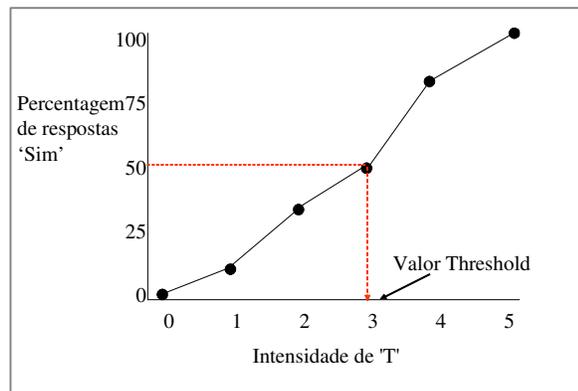
## MÉTODOS PSICOFÍSICOS

De seguida, partindo dos dados da tabela cria-se a curva psicométrica que nos dá o mesmo valor de limiar (ver Figura 3.3).

Nível do estímulo (intensidade de T)	Nº de vezes que o observador disse 'sim' (out of 10 trials)	% do nr de apresentações(10)
0	0	0
1	1	10
2	3	30
→ 3	5	50
4	8	80
5	10	100

Threshold = 3.0  
Os dados colocam-se num gráfico e o threshold corresponde ao ponto onde 50% das observações são "sim".

**Figura 3.2 - Tabela de registos do Método dos Estímulos Constantes para a tarefa de detecção da letra T. Cada um dos estímulos é apresentado de forma aleatória 10 vezes, aquele que corresponder a 5 respostas "sim" será o valor do limiar.**



**Figura 3.3 - Curva Psicométrica construída com os dados da tabela da tarefa de detecção da letra T. Pode comprovar-se de novo que o valor do limiar é 3.**

Pode de seguida realizar-se este mesmo teste para diferentes cores do estímulo T, criando uma função com o limiar relativo dos vários comprimentos de onda. Partindo desse gráfico e sabendo que a sensibilidade é dada pelo inverso do limiar, obter-se-á a curva de sensibilidade neste caso à cor, onde a alta sensibilidade corresponderá à situação em que o limiar é mais baixo. O que faz todo o sentido: somos mais sensíveis no geral à cor verde, o que significa que o limiar para a cor verde será inferior ao das outras cores; identificamos mais rapidamente essa cor.

### 3.1.1 Função Psicométrica

A função psicométrica que relaciona as respostas do indivíduo com o estímulo físico, é fundamental para a psicofísica, por isso far-se-á um breve apanhado sobre este assunto.

Uma curva psicométrica é equivalente a uma distribuição normal cumulativa, está directamente dependente da distribuição normal (Figura 3.4).

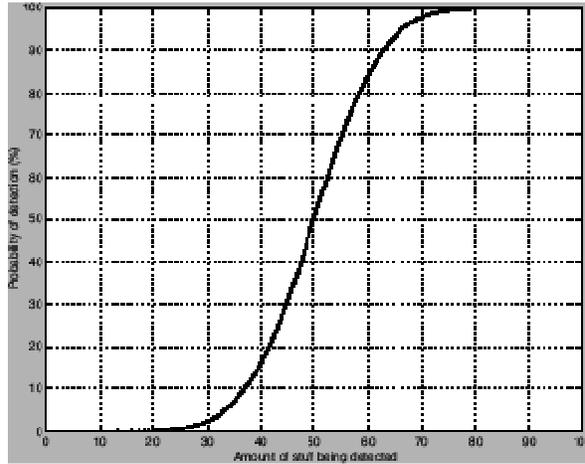


Figura 3.4 - Função Psicométrica. Mostra a probabilidade da diferença entre dois estímulos serem detectados como função da quantidade de uma diferença física nos estímulos. Fonte: Geoff, 2006.

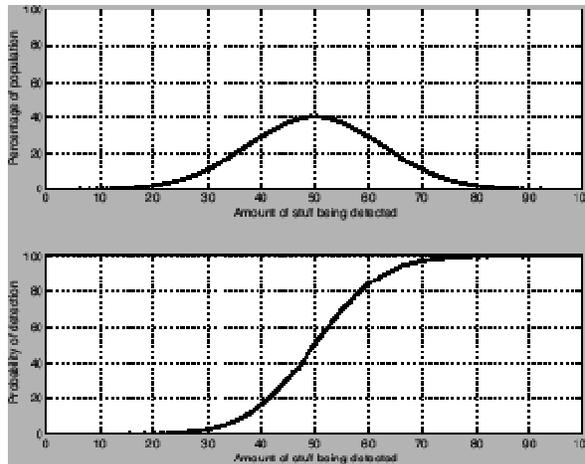
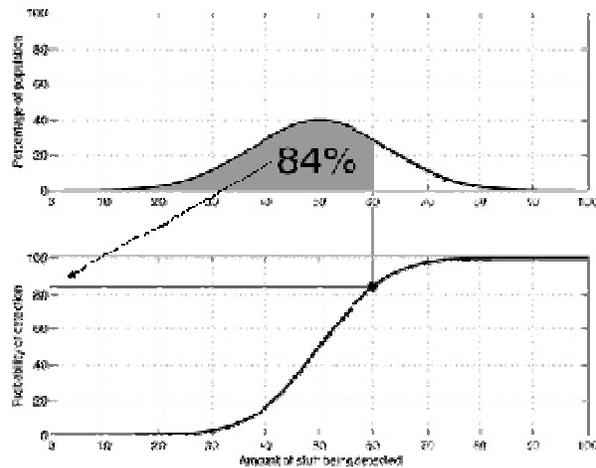


Figura 3.5 - Relação entre uma distribuição normal standard e a função psicométrica. Fonte: Geoff, 2006.

Olhando para os dois gráficos da Figura 3.5 pode verificar-se que a curva de distribuição normal dá uma relação entre a intensidade do estímulo e o limiar.

Através do declive da função psicométrica pode verificar-se quão rapidamente se altera o desempenho do indivíduo com as alterações no estímulo (Leek, 2001).



**Figura 3.6 – O primeiro gráfico mostra a distribuição normal e o segundo a função psicométrica, com esta figura é possível perceber a relação entre a área abaixo do gráfico da distribuição normal e a Função Psicométrica. Fonte: Geoff, 2006.**

Observando a Figura 3.6 pode concluir-se que 40% da população tem um limiar de 50. No entanto, se se pretender saber quantas pessoas conseguem detectar o estímulo se o valor deste for 50, tem que se olhar não só para aquelas que o detectam com intensidade 50 mas também com menor intensidade. Deve olhar-se portanto para a área da curva de distribuição normal até ao valor 50 que corresponde, neste caso, a 50% da área abaixo desse gráfico.

A função psicométrica dá portanto a percentagem da área total da função de densidade de probabilidade, como se pode ver na Figura 3.6. Pode agora responder-se à questão colocada anteriormente mas agora para o valor de estímulo igual a 60, procurando no eixo dos  $xx'$  da função psicométrica o valor 60 e obtém-se como resultado o valor 84 que corresponde à área abaixo da curva de densidade ou seja todas as pessoas que conseguem detectar o estímulo até ao valor 60.

É no entanto necessário acrescentar certos detalhes no que diz respeito a tarefas psicofísicas nomeadamente às de saída binária ou seja de resposta sim/não ou escolha forçada entre duas respostas. Nestes casos as respostas, em qualquer nível de estimulação, são distribuídas normalmente. Tal como em todas as tarefas psicofísicas os indivíduos que realizam o testes estão sujeitos a adivinhação e podem enganar-se, daí que seja necessário ter em conta factores como a taxa de adivinhação (*guessing rate*) ou taxa de lapso (*lapsing rate*) quando se pretende obter valores correctos e fiáveis.

Segundo Treutwein a função psicométrica pode ser definida como um gráfico das respostas cumulativas de uma experiência de resultado binário em relação ao nível do estímulo.

Normalmente a taxa de adivinhação é necessária quando se utiliza a fórmula de Abbott que quantifica uma taxa de adaptação de respostas correctas  $\Psi^*(x)$  através das que foram medidas realmente  $\Psi(x)$ :

$$\Psi^*(x) = \frac{\Psi(x) - g_r}{1 - g_r} \quad \text{Equação 3-1}$$

onde  $g_r$  é a taxa de adivinhação que pode ser estimada a partir dos dados obtidos nas análises subsequentes das respostas.

A Equação 3-1 pode ainda ter em conta a taxa de lapso ( $l_r$ ), que pode ser obtida tendo em conta os resultados de todas as apresentações. Nesse caso a

expressão toma a forma:  $\Psi^*(x) = \frac{\Psi(x) - g_r}{1 - g_r - l_r}$ .

Devido à presença da taxa de adivinhação e de lapso, a função psicométrica  $\Psi(x)$  não é uma função cumulativa de probabilidades, apesar de ser muito idêntica. Em quase todas as experiências reais a função psicométrica não preenche os requisitos assintóticos para a distribuição cumulativa de probabilidade  $F(x)$ :

## MÉTODOS PSICOFÍSICOS

$$\begin{cases} \lim_{x \rightarrow -\infty} F(x) = 0 \\ \lim_{x \rightarrow +\infty} F(x) = 1 \end{cases}$$

Mas preenche os seguintes requisitos:

$$\begin{cases} \lim_{x \rightarrow -\infty} \Psi(x) = g_r \\ \lim_{x \rightarrow +\infty} \Psi(x) = l_r \end{cases}$$

A função psicométrica tem então a taxa de adivinhação e de lapso como valores assintóticos.

### 3.2- MÉTODO DOS LIMITES

É um método para medir limiares, criado por Wilhelm Wundt, no qual são apresentados ao sujeito, intercalados de pausas temporais, estímulos de intensidade progressivamente ascendente ou descendente (com degraus de valor mínimo) até que o indivíduo não identifique/identifique alterações.

O examinador pode fornecer ao sujeito estímulos de intensidades audíveis por exemplo, (nitidamente acima do limiar - sobrelimiar) e reduzir a intensidade em pequenos passos (série descendente) perguntando em cada ensaio se o sujeito continua a ouvir alguma coisa. No momento em que se verifica a transição a série é interrompida e registam-se os dois valores de intensidade da estimulação correspondente aos dois valores de transição (o último percebido e o primeiro não percebido), calculando a média.

O procedimento pode então continuar partindo agora de um estímulo nitidamente abaixo do limiar (sublimiar) continuando a aumentar-se com passos constantes e de valor mínimo (série ascendente). Também nesta situação o experimentador pergunta ao indivíduo, a cada ensaio se percebe alguma coisa, neste exemplo se ouve alguma coisa. Quando o indivíduo depois de um certo número de ensaios diz que ouviu o estímulo o procedimento é interrompido e são registados os valores de transição tal como anteriormente.

Depois de efectuadas um certo número de séries tanto ascendentes como descendentes, obtém-se um certo número de valores de limiar correspondentes a cada série, o limiar final será a média desses valores de transição.

Este método é, no entanto, trabalhoso e está sujeito a problemas de adaptação devido à tendência dos sistemas sensoriais a nivelarem por baixo as próprias respostas como consequência da apresentação repetida no tempo dos estímulos.

Uma forma de contornar a antecipação consiste em evitar a transição na primeira resposta esperando pela segunda, ou seja, para a série ascendente, só quando o indivíduo responder duas vezes que ouviu o estímulo, ou não ouviu caso seja descendente, é que se interrompe a estimulação. Outra alternativa

## MÉTODOS PSICOFÍSICOS

consiste em aleatorizar as séries ou seja, fazer ascendente ou descendente de forma aleatória e não começar as séries sempre no mesmo ponto, começando por exemplo no meio.

Em alguns casos só a porção ascendente ou descendente deste método é usada para obter o limiar. Nestes casos, os efeitos de antecipação não podem ser observados. Por exemplo, quando tenho a certeza que um certo valor de um estímulo não pode ser percebido e tem portanto uma percentagem de respostas positivas igual a zero e um indivíduo diz que percebe o estímulo 30% das vezes temos a certeza que ele está a "adivinhar". Nesta situação, tendo em conta a Equação 3-2 que é igual à Equação 2-1 referida na secção anterior,

$$\%respCorrectasPositivas = \frac{Frac\csc{o}ObservadaDeResp\text{"sim"} - GuessingRate}{1 - GuessingRate} \times 100$$

**Equação 3-2 – Taxa de respostas correctas – positivas para fazer a correcção nos dados finais.**

substituindo a cada valor da intensidade do estímulo o valor da taxa de adivinhação (*Guessing Rate*) por 0.3 obter-se-á o valor do verdadeiro limiar.

Apesar de neste caso podermos utilizar a Equação 3-2, nem sempre a taxa de adivinhação é uma constante ao longo do valor dos estímulos.

Este método é mais eficiente do que o dos Estímulos Constantes porque são apresentados um menor número de estímulos, logo, menos ensaios. (Norton, 2002)

Pegando no exemplo utilizado anteriormente, agora o mesmo estímulo T (Figura 3.7) é apresentado de forma crescente e decrescente a nível de intensidade; do registo das respostas do indivíduo submetido ao teste obtém-se a tabela mostrada na Figura 3.8.

Tal como foi referido, é calculado o valor de transição em cada série e o limiar final é dado pela média desses valores.

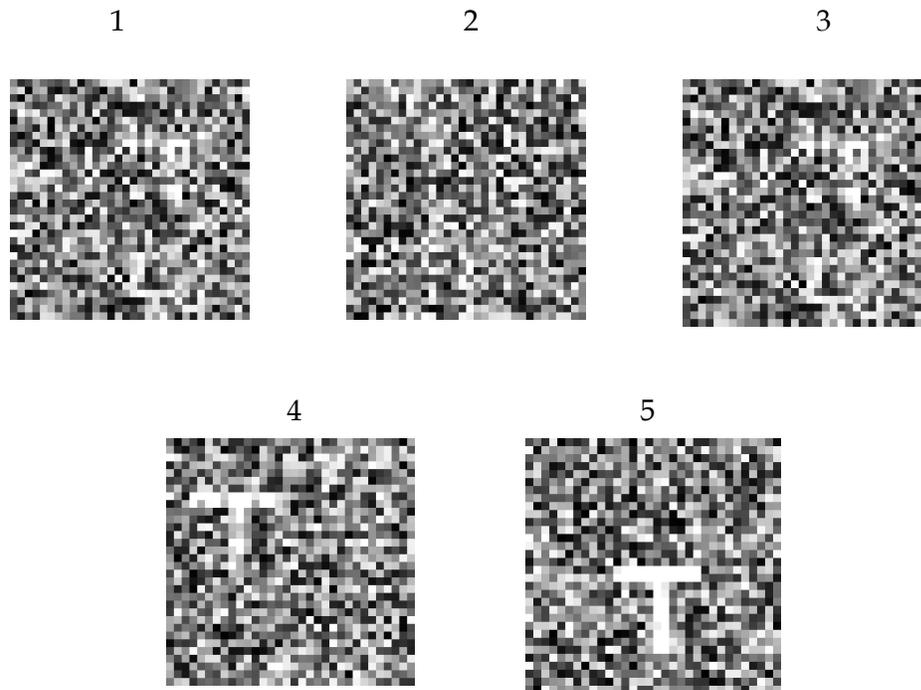


Figura 3.7 – Estímulos apresentados, para este método – Métodos dos Limites - de forma ordenada. Os números em cima de cada imagem representam a intensidade da mesma.

**Detecção do 'T' Método dos Limites**

	1 ↑	2 ↓	3 ↑	4 ↓	Series
Intensity					
5		S		S	
4		<u>S</u>		<u>S</u>	
3	<u>S</u>	N		N	
2	N		<u>S</u>		
1	N		N		
0	N		N		
Valores Crossover	2.5	3.5	1.5	3.5	

Threshold = Média dos valores de Crossover= 2.75

S = Resposta Sim  
 N = Resposta Não  
 ↑ = series ascendentes  
 ↓ = series descendentes

Figura 3.8 - Tabela representativa do Método dos Limites para a tarefa de detecção do T, onde se pode verificar os valores de transição e o valor do limiar como média dos mesmos.

### 3.3- MÉTODO DOS AJUSTES

O terceiro método clássico para medir limiares é o Método dos Ajustes que é considerado, segundo alguns pontos de vista, o método mais simples e directo para medir limiares uma vez que apresenta a grande vantagem de ser rápido de aplicar. No entanto, segundo outros pontos de vista, é considerado subjectivo uma vez que é baseado no critério do indivíduo.

Neste método, ao contrário dos outros, o Método dos Limites e o Método dos Estímulos Constantes, o indivíduo não é submetido à apresentação passiva (ordenada ou casual) dos estímulos escolhidos pelo experimentador mas tem um papel activo, tem que modificar, "ajustar" ele mesmo a intensidade da estimulação com um instrumento adequado como por exemplo as teclas de um computador, e interromper e a operação de ajuste quando perceber a alteração. Também neste caso, como no Método dos Limites, a direcção da alteração pode ser crescente ou decrescente ou seja, o indivíduo aumenta ou diminui o valor da intensidade do estímulo.

Para medir o limiar absoluto, é pedido ao sujeito para ajustar até perceber (crescente) ou deixar de perceber (decrescente) a estimulação.

Para medir limiares diferenciais são mostrados ao indivíduo dois estímulos: um variável e outro de referência; o objectivo, neste caso, consiste em ajustar o estímulo variável até que fique o mais parecido ao de referência. Depois de feito de forma crescente e decrescente obtém-se o "*Point of Subjective Equality*" - Ponto de Igualdade Subjectiva - que corresponde a um conjunto de valores cuja distribuição pertence à distribuição normal (Gaussiana). Como nos outros métodos psicofísicos, o valor do limiar é baseado na frequência de "ver" 50% das vezes aquele valor. Neste caso porém, o limiar é determinado com base nos 50% em que o estímulo variável é identificado como igual ao de referência e outros 50% em que é identificado como diferente.

Este é o método mais fácil de usar quando o estímulo é alterado de forma contínua e não por degraus. Neste teste, a desatenção e aborrecimento não são um problema.

## MÉTODOS PSICOFÍSICOS

O anomaloscópio é o exemplo de um aparelho que utiliza este método e é baseado nas equações de *Rayleigh* (vermelho/verde) e *Moreland* (azul/verde). É usado em oftalmologia para detecção de problemas relacionados com a visão das cores. Neste teste, é solicitado ao indivíduo sob exame que iguale os dois campos alterando a razão entre a intensidade das luzes vermelha e verde.



**Figura 3.9** – Esta figura mostra o exemplo de um anomaloscópio, utiliza o Métodos dos Ajustes. A um observador é pedido que iguale dois campos de cor, verde – vermelho ou azul - verde.

## 4- COMO CONTROLAR A TAXA DE ADIVINHAÇÃO E O VIÉS

Uma forma de controlar a adivinhação e o viés consiste na utilização dos métodos de escolha forçada. Estes métodos são utilizados em tarefas de detecção e discriminação da seguinte forma: quando, numa tarefa de detecção, é pedido ao observador para dizer se vê ou não o estímulo, estamos perante uma resposta forçada sim/não que no entanto contrasta com a da tarefa de discriminação onde o observador é obrigado a “forçar a escolha” dentro das opções dadas, ou seja, o observador tem que identificar a localização espacial ou temporal de um estímulo alvo. O método mais usado é o de 2AFC - *two alternative forced choiced*, ou seja, o observador é obrigado a escolher entre duas possíveis opções de resposta.

É necessário, no entanto, ter em conta certos aspectos quando se utilizam estes métodos, tais como:

- as limitações das experiências, uma vez que a saída tem que ser binária;
- o estímulo tem que ser apresentado numa “*one dimension continuum*”, só se pode alterar numa dimensão durante a tarefa. Exclui, portanto, problemas com mais de uma dimensão, mais do que um parâmetro a ser alterado ou em tarefas de discriminação conjuntamente com variações na frequência e orientação (Treutwein, 1995).

O método de escolha forçada foi inicialmente descoberto por Bergmann (1858) quando pretendia medir a acuidade visual: Bergmann variou a orientação de um *test grating* e, em vez de perguntar quando um *grating* particular era visível, forçou o observador a identificar a sua orientação.

Um século depois desta tentativa de aproximação, este método conseguiu alcançar uma posição estável na psicofísica. A utilização destes métodos mostrou que muitos observadores conseguem discernir luzes tão

ténues ou sons tão fracos que diziam não conseguir ouvir ou ver. O que nos leva a concluir que, tipicamente, testes de escolha forçada confirmam que as intensidades dos estímulos podem ser discernidas abaixo do limiar absoluto definido num método de escolha não forçada, num procedimento mais subjectivo (Sekuler and Blake, 1994). Parece, portanto, que a quantidade de informação do estímulo necessária para suportar a decisão é maior quando a escolha não é forçada comparativamente a quando o é.

A comparação entre testes de escolha forçada e não forçada é também útil para obter as possíveis diferenças observadas entre os indivíduos no que diz respeito ao seu critério. Critério pode ser definido como uma regra implícita a que um observador obedece ao converter a informação sensorial numa resposta (Ehrenstein, 1999).

A utilização destes métodos, 2AFC e Sim/Não, leva a que a taxa de adivinhação tome o valor de 0,5 (2 possibilidades de resposta) em cada ensaio. Desta forma, a taxa de adivinhação é dada pelo número de escolhas e não pelo viés do observador, sendo mais fácil fazer os cálculos para a taxa de adivinhação. Permite também, caso os estímulos sejam apresentados de forma aleatória, levar a uma diminuição do viés.

Além destes factores, com estes métodos o examinador pode dar um *feedback* ao observador, o que pode ajudar a manter a atenção e a permitir um melhor desempenho por parte do mesmo (Norton, 2002).

Um exemplo de um teste de discriminação, com o método de 2AFC, é o da discriminação da velocidade elaborado para este projecto. Neste teste o observador tem que escolher, entre duas posições, aquela onde se encontra o estímulo que se move a velocidade superior, tendo presente que os estímulos variam a posição de forma aleatória, em cada ensaio. Detalhes deste teste serão explorados mais à frente neste relatório.

Uma forma de testar a atenção da pessoa consiste na utilização de “*catch trials*”, são utilizados nas de detecção; apresentam-se ao observador um certo número de estímulos muito acima do limiar a que tem que responder “sim” (vê) e outros muitos abaixo do limiar aos quais deverá responder “não vê”; são

## COMO CONTROLAR A TAXA DE ADIVINHAÇÃO E O VIÉS

apresentados de forma aleatória e o observador não é informado da sua existência. Se durante um experimento forem apresentados dez “*catch trials*” muito abaixo do limiar e a pessoa disser que os detectou 3 vezes, significa que tem uma taxa de adivinhação de 30%, logo, quando se estima o limiar na curva psicométrica é necessário ter este valor em conta. No entanto, não é garantido que a pessoa mantenha este nível de taxa de adivinhação durante a realização de toda a experiência. De qualquer modo, é já uma ajuda no que diz respeito à correcção da taxa de adivinhação em tarefas de detecção.

## 5- TEORIA DE DETECÇÃO DO SINAL

Todos os modelos de detecção e discriminação têm 2 componentes fundamentais:

- o processo sensorial que transforma a estimulação física em sensação interna;
- o processo de decisão que decide com uma resposta baseada na saída do processo sensorial.

A Figura 5.1 pretende ilustrar essa situação.

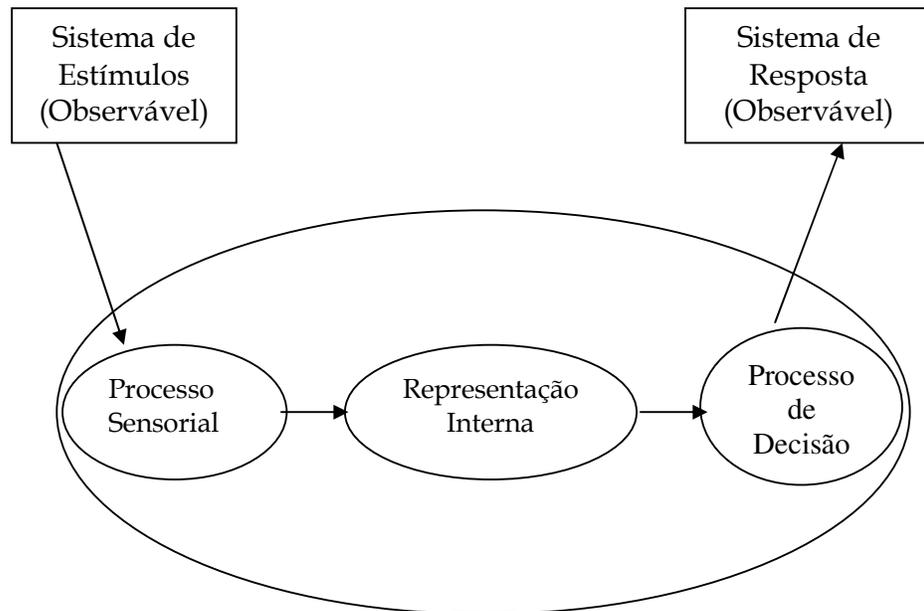


Figura 5.1 – Esquema representativo baseado nos dois processos internos: o sensorial e o de decisão. Adaptado de Harvey, 2006.

Já foi referido que os limiares variam de ensaio para ensaio devido à variabilidade e rumor inerentes a cada observador.

O rumor neste caso é introduzido a nível dos neurónios e acontece devido à variabilidade aleatória que os neurónios têm para disparar potenciais de acção quando o estímulo está e não está presente.

Quando o estímulo está acima do limiar são sempre disparados mais potenciais de acção do que quando o estímulo não está presente. Quando o valor do estímulo está perto do valor do limiar as flutuações neuronais tornam difícil definir um critério para o número de potenciais de acção que, com certeza, nos permitem dizer que o estímulo está presente.

Em 1950 deu-se um grande avanço com a combinação da teoria de detecção com a teoria de decisão estatística surgindo a *Signal Detection Theory* – SDT (Teoria de Detecção do Sinal). Esta teoria fornece as bases para criar um conjunto de métodos para medir a sensibilidade do observador no desempenho de tarefas perceptuais e permite também medir o viés da resposta que o observador poderá ter (Harvey, 2006).

Tanto o processo sensitivo como o decisivo são caracterizados por um parâmetro sensitivo no primeiro caso e um critério no segundo. Nos métodos psicofísicos clássicos confunde-se a sensibilidade do processo sensorial com o critério de resposta do processo de decisão. Para medir a sensibilidade e critério de decisão é necessário não só medir a probabilidade condicionada de um observador responder “sim” quando um estímulo está presente mas também a probabilidade condicionada de um observador responder que o estímulo está presente quando na realidade não está (Harvey, 2006).

Existem 2 métodos fundamentais para medir a sensibilidade e o critério:

- *High threshold model detection*
- *Signal Detection Theory (SDT)*

### ***High threshold model detection***

Este modelo assume que o processo sensorial contém um limiar sensorial. Para tarefas de detecção, quando o estímulo está acima do limiar, o processo sensorial gera uma saída que, como consequência do processo de decisão, será “sim”. Mas se o estímulo estiver abaixo do limiar a resposta pode ser também “sim”.

Num paradigma simples de detecção, as probabilidades são dadas pela Figura 5.2:

		SINAL	
		PRESENTE	AUSENTE
RESPOSTA	SIM	SUCESSO (HIT)	FALSO ALARME (FALSE ALARM)
	NÃO	INSUCESSO (MISS)	REJEIÇÃO CORRECTA (CORRECT REJECTION)

Figura 5.2 - Matriz dos resultados possíveis.

**Sucesso** - estímulo foi apresentado e o observador respondeu “SIM, foi apresentado”.

**Falso Alarme** - estímulo não foi apresentado mas o observador respondeu “SIM, foi apresentado”.

**Rejeição Correcta** - o estímulo não foi apresentado e o observador respondeu “NÃO foi apresentado”.

**Insucesso** - o estímulo foi apresentado mas o observador respondeu “NÃO foi apresentado”.

$$TaxaSucesso(TS) = \frac{sucessos}{sucessos + insucessos}$$

$$TaxaFalsoAlarme(FAR) = \frac{FalsoAlarme}{FalsoAlarme + RejeicaoCorrecta}$$

Segundo este modelo,

$$p = \frac{TS - TFA}{1 - TFA}$$

Equação 5-1 Sensibilidade do processo sensorial

$$g = FAR$$

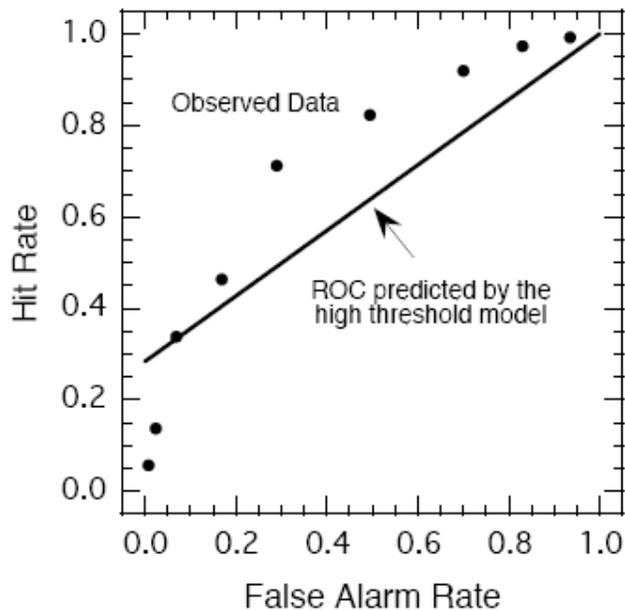
Equação 5-2 Taxa de adivinhação do processo de decisão

Onde  $p$  é a probabilidade do estímulo exceder o limiar do processo sensorial. A Equação 4-1 é equivalente às equações 2-1 e 2-2.

O gráfico que coloca TS em função de TFA é a chamada curva ROC - *receiver operator characteristic*. Depois de alterada a Equação 4-1 obtém-se:

$$TS = p + (1 - p)TFA \quad \text{Equação 5-3 Equação da curva ROC para este modelo}$$

Que corresponde a graficamente a:



**Figura 5.3 – Gráfico onde esta representada a curva correspondente à Equação 4-3. Os pontos representam o verdadeiro desempenho do observador em cada ensaio. A curva não traduz correctamente a sessão daquele observador. Fonte: Harvey, 2006.**

Como se pode verificar pelo gráfico, a curva não representa os dados observados na realidade, não representa correctamente o desempenho do observador.

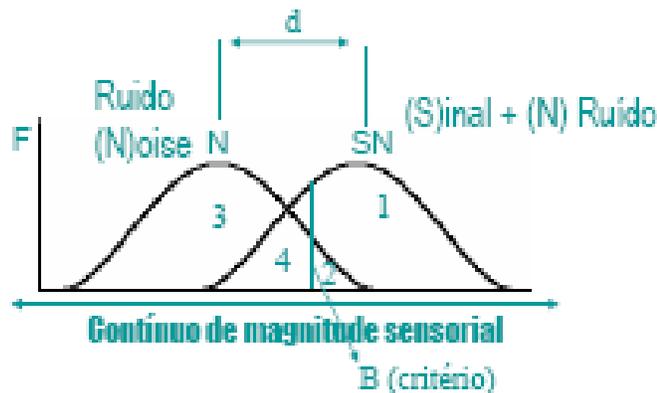
Este modelo foi rejeitado porque não faz a separação entre os efeitos da sensibilidade e da tendência das respostas (Harvey, 2006).

### *Teoria de Detecção do Sinal*

Para observadores, aos quais se pretende medir limiares, o efeito combinado da variabilidade neuronal, atenção e viés psicológico podem levar a

variabilidades na magnitude da resposta perceptual. De acordo com a SDT, a evidência sensorial que indica a presença de um estímulo (o sinal) pode ser representado de forma contínua (o contínuo da evidência sensorial). Na SDT é assumido que a evidência de que o sinal está presente varia de ensaio para ensaio, ou seja, é adoptado que o valor é caracterizado através de uma distribuição contínua de valores da evidência sensorial em vez de ser um único valor. Também é admitido nesta teoria que existe sempre algum “ruído” adicional ao sinal, deste modo, os ensaios em que o estímulo está presente são chamados de sinal+ruído. Mesmo nos ensaios em que o estímulo não está presente é assumido que existem algumas evidências que levam a crer que o estímulo pode estar presente. Ou seja, existe um certo ruído de fundo na variabilidade sensorial, no processo de registrar o que pode ser interpretado como um estímulo. Daí que, nesta teoria, também seja assumida uma distribuição do “ruído”. (Norton, 2002)

Estas duas situações, “ruído” e “sinal+ruído” podem ser modeladas como duas distribuições normais, como se pode verificar na Figura 5.4:



**Figura 5.4 – Distribuição normal do ruído e do sinal+ruído. São identificados na figura o  $d$  e o critério ( $B$ ).**

Os métodos de detecção do sinal podem ser utilizados sempre que existe uma sobreposição nas distribuições do ruído e do sinal+ruído. Ou seja, sempre que existe um conjunto de valores do estímulo nos quais o observador está incerto acerca da presença ou não do sinal/estímulo.

Quanto menor for a sobreposição, maior a sensibilidade do observador, ele detectará o estímulo com mais certeza do que quando a sobreposição entre as duas distribuições for maior.

Outras suposições feitas pela SDT dizem que, para uma dada sessão, o observador coloca um “critério” na resposta. Se a energia do estímulo exceder aquele critério, o observador responde “sim o estímulo está presente” se o critério não for ultrapassado a resposta será “não vi o estímulo”. Como o observador não sabe sempre se o estímulo está ou não presente num dado ensaio assume-se que o critério é o mesmo tanto para sinal+ruído como para ruído. Portanto a sensibilidade sensorial e a tendência da resposta podem ser “medidas” com este método.

Até ao momento, já se tem presente o conceito de critério, assumiu-se que as distribuições tanto de ruído como sinal+ruído são distribuições normais que têm a mesma variância. Será agora descrito como esta teoria pode ser usada em medições de limiares e quais as procedimentos utilizados.

Tendo em conta a definição de Sucessos pode dizer-se que estes correspondem à área abaixo da distribuição do sinal+ruído que se encontra à direita do critério, do mesmo modo, os falsos alarmes corresponderão à área abaixo da distribuição de ruído que se encontra à esquerda do critério.

Imaginado que o processo sensorial tem um *output* baseado numa Gaussiana, assumindo que a média do ruído ( $\mu_n$ ) é 0, o desvio padrão ( $\sigma_n$ ) é 1, a média do sinal ( $\mu_s$ ) e o desvio padrão ( $\sigma_s$ ). dependem da sensibilidade do processo sensorial e da força do sinal, as medidas da sensibilidade sensorial são baseadas nas diferenças entre as médias nas duas situações, ruído e sinal+ruído. Quando os desvios padrão das suas situações são iguais obtém-se:

$$d' = \frac{(\mu_s - \mu_n)}{\sigma_n} \text{ Equação 5-4 Sensibilidade de igual variância.}$$

no caso mais geral em que os desvios padrão não são iguais a expressão anterior toma a forma:

$$d_a = \frac{(\mu_s - \mu_n)}{\sqrt{\frac{\sigma_s^2 + \sigma_n^2}{2}}} \quad \text{Equação 5-5 Sensibilidade de variância não igual.}$$

O processo de decisão pode adoptar um ou mais critérios. A resposta de um processo sensorial em cada ensaio de uma experiência é comparada com o critério de decisão para determinar qual a resposta a dar. O desempenho de um observador vai depender essencialmente de dois factores:

- quanto sobrepostas estão as duas curvas, SN e N - d’;
- localização do critério:
  - se for colocado mais à esquerda estamos perante um observador dito *liberal*, apesar de acertar em muitas respostas tendo muitos sucessos também vai ter muitos falsos alarmes.
  - se for colocado à direita estamos perante um observador *conservador*, apesar de, contrariamente a situação anterior, fazer menos falsos alarmes a taxa de sucesso vai diminuir.
  - uma boa performance acontece quando se combinam altas taxas de sucesso com baixas taxas de falsos alarmes.

A ROC para esta teoria tem a forma:

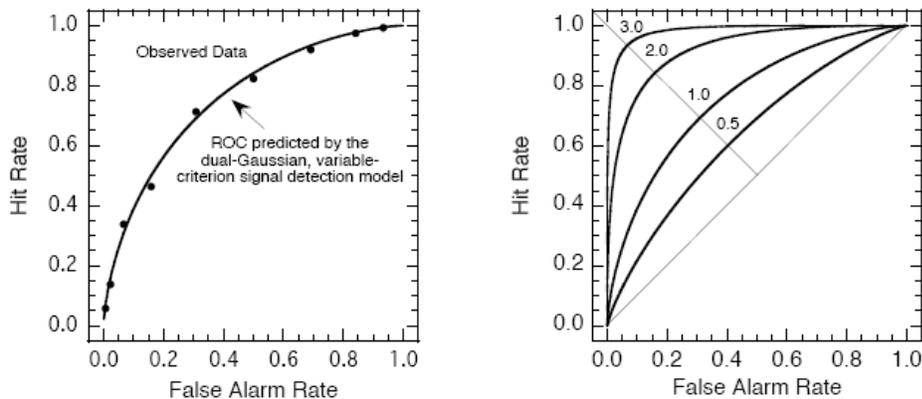


Figura 5.5 – Forma da curve ROC na SDT. Tem a forma curva ao contrário do que acontecia no gráfico anterior Figura 5.3. Fonte: Harvey, 2006.

Para construir uma curva ROC submete-se o observador à mesma tarefa várias vezes, constrói-se a matriz relativa a cada sessão, quantificam-se os valores da taxa de sucesso e de falso alarme e depois de se colocarem vários pontos no gráfico (mínimo de 2) relativos a cada sessão, por interpolação *straight-line* ou por *attempt to smooth the angular nature of the curve* constrói-se a curva, como se pode verificar na Figura 5.6, cada ponto na curva (a) corresponde a uma sessão do mesmo observador. Quanto mais a curva se aproxima do canto superior esquerdo mais sensível é o observador. Podem construir-se outras curvas variando a tarefa.

Diferentes pontos ao longo da curva representam diferentes tendências - critérios.

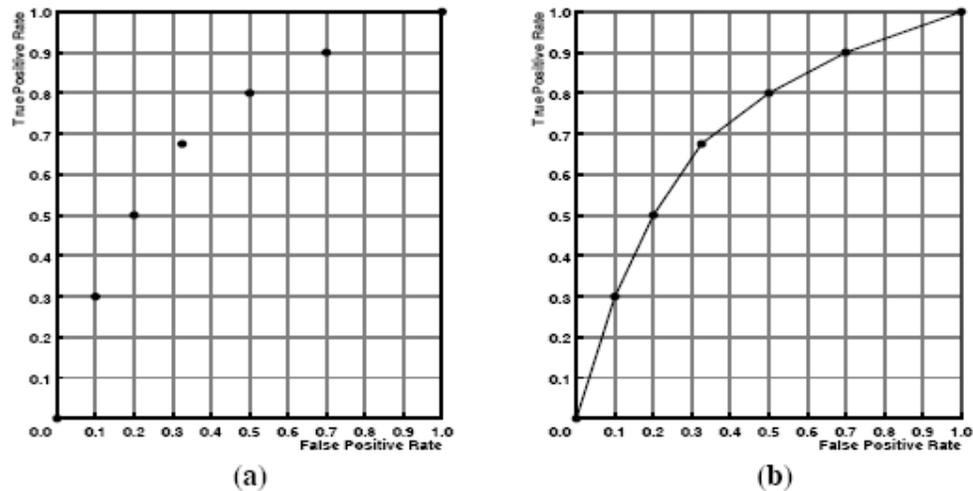


Figura 5.6 – Como se constrói a curva ROC. Na figura (a) estão representados os pontos relativos a várias sessões como mesmo observador. (b) através das opções descritas no texto unem-se os pontos para obter a curva ROC relativa aquele observador. Fonte: Robert, 2004.

Tecnicamente, a tendência/viés é definido pelo declive da curva ROC num dado ponto. Quando o declive é igual a 1 significa que o observador não tem sensibilidade e está a fazer a tarefa “à sorte” ver

Figura 5.7 (Robert, 2004).

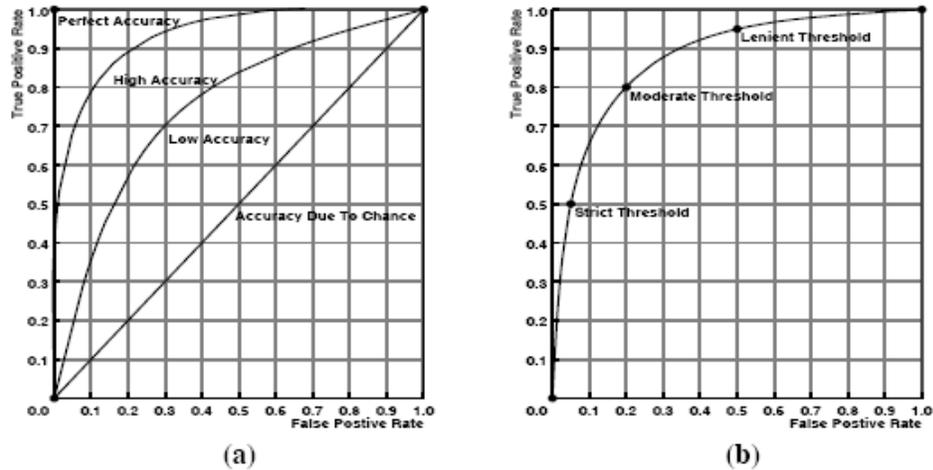


Figura 5.7 - (a) uma curva ROC perfeita passa no ponto (0,1). (b) cada ponto ao longo da curva corresponde a diferentes modos de operar, a diferentes decisões de limiar. Pontos próximos de (0,0) indicam um critério mais exclusivo, pontos próximos de (1,0) indicam um critério mais inclusivo. Estas curvas foram idealizadas. Fonte: Robert, 2004.

A curva ROC pode tomar o formato de linha recta se, em vez de se ter em conta a taxa de sucessos e falsos alarmes se fizer o *z-score* dos mesmos, esta transformação é feita utilizando (para o caso de uma gaussiana) a função quantil da unidade<sup>3</sup> obtendo-se então:

$$z(TS) = \frac{\sigma_n}{\sigma_s}(\mu_s - \mu_n) + \frac{\sigma_n}{\sigma_s} z(TFA) \quad \text{Equação 5-6 Expressão da curva ROC em z-score}$$

se  $z(TS) = a + bz(TFA)$  e  $b = \frac{\sigma_n}{\sigma_s}$  a equação 4-6 toma a forma:  $z(TS) = a + bz(TFA)$

que graficamente:

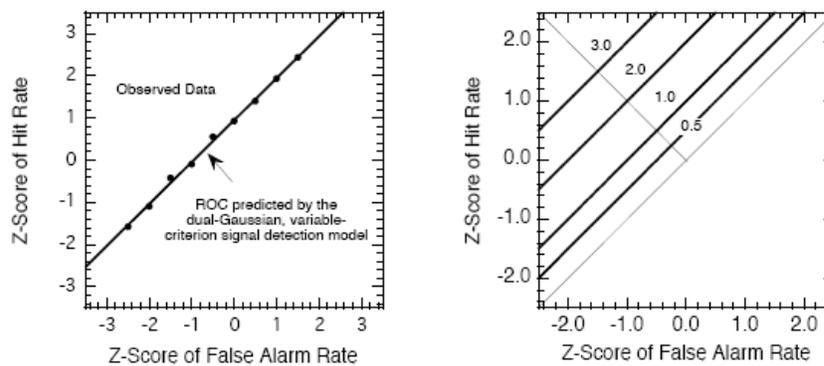


Figura 5.8 – Gráfico correspondente à equação 4-6. Usando o z-score toma a forma de linha recta. Fonte: Harvey, 2004.

<sup>3</sup>  $Q(p : \mu, \sigma) = \mu + \sigma\sqrt{2}[\text{erf}^{-1}(0,2p - 1)]$  média  $\mu$  e desvio padrão  $\sigma$ .

A sensibilidade do processo sensitivo é dada através dos parâmetros **a** e **b** da equação da recta ROC ou através das observações da taxa de sucessos e da taxa de falsos alarmes:

$$d_a = \sqrt{\frac{2}{1+b^2}} \times a$$

$$d_a = \sqrt{\frac{2}{1+b^2}} \times (z(TS) - bz(TFA)) \text{ Equação 5-7 Equação da sensibilidade do processo sensitivo.}$$

Para o modo de igual variância a expressão da sensibilidade toma a forma simples de:

$$d_a = d' = (z(TS) - bz(TFA))$$

Pode ainda dizer-se que 100% de sensibilidade é dado pelo 100% de sucessos e o 100% de especificidade será dado pelo 0% de falsos alarmes.

O critério de decisão do processo pode ser expresso em termos da resposta crítica do processo sensorial:

$$X_c = -z(TFA) \text{ Equação 5-8 Critério de decisão.}$$

Uma forma de expressar a tendência da resposta é dada pela expressão:

$$c = -\frac{z(TS) + z(TFA)}{2} \text{ Equação 5-9 Tendência da resposta}$$

A sensibilidade é uma propriedade estável ao contrário do critério que pode variar de tarefa em tarefa.

### ***Paradigma da detenção em 2AFC***

O que foi explicado anteriormente é utilizado para tarefas de detecção. Quando se utiliza o paradigma de 2AFC só se obtém da tarefa o desempenho, o nível de respostas correctas por parte do observador. Não é possível calcular o critério e a sensibilidade.

Este paradigma é equivalente a ter um observador sem viés a nível de critério de decisão. A percentagem de respostas correctas pode predizer-se através da SDT, porque a percentagem de respostas correctas nas experiências

de 2AFC corresponde à área abaixo de uma curva ROC ( $A_z$ ) que se obtém quando o mesmo estímulo é usado no paradigma sim/não.

O cálculo de  $d_a$  a partir da percentagem de respostas correctas de uma experiência 2AFC é:

$$d_a = \sqrt{2} \times z(pc)$$

Onde  $z(pc)$  é a transformada para *z-score* da percentagem de respostas correctas obtidas na experiência de 2AFC. Reescrevendo a expressão vem:

$$A_z = z^{-1}\left(\frac{d_a}{\sqrt{2}}\right)$$

Onde  $z^{-1}(\ )$  é o inverso da transformada inversa da probabilidade de *z-score* que converte o *z-score* em probabilidade através da função cumulativa da distribuição Gaussiana de probabilidades<sup>4</sup>.

Utilizando a teoria de detecção do sinal, juntamente com os procedimentos de escolha forçada, um examinador pode manipular a tendência de um observador conseguindo assim o controlo do critério do mesmo durante a medida do limiar. Nos casos em que não é possível controlar a tendência é no entanto possível medi-la. Hoje em dia já existem instrumentos que gravam o número de falsos alarmes e insucessos e usam o critério para determinar quando esses valores podem ser aceites dentro de um certo limite (Treutwein, 1995).

---

<sup>4</sup>  $F(x; \mu, \sigma) = \frac{1 + \operatorname{erf}\left(\frac{x - \mu}{\sigma\sqrt{2}}\right)}{2}$  Função da distribuição cumulativa.

## 6- MAGNITUDE DAS SENSAÇÕES

Os métodos psicofísicos descritos anteriormente baseiam-se na escolha simples entre valores alternativos de um estímulo. São, portanto, usados para medir um ponto na escala sensorial – o limiar. Pode pensar-se neste ponto como o zero de uma escala: abaixo não há sensação e acima há.

A questão a ser respondida agora é qual a relação entre o valor da magnitude da estimulação e a sensação que daí resulta. Um exemplo: se aumentar a intensidade da luz para o dobro do seu valor original, a percepção do brilho aumentará também para o dobro? Tendo em conta que a resposta perceptual é o resultado da actividade neuronal, poder-se-ia pensar que depende da força do estímulo de uma forma sistemática, talvez monotónica. No entanto, várias experiências demonstraram que essa relação, contudo, não é linear.

Inicialmente começou por se utilizar um procedimento chamado “*Ratio Production*” criado por Stevens: ao observador era apresentado um estímulo de referência e era-lhe pedido que ajustasse a intensidade, tamanho ou qualquer outro parâmetro de um estímulo-teste obtendo-se assim uma fracção ou um múltiplo do estímulo de referência. Exemplo: um observador era instruído a ajustar a luz teste para que ficasse com o dobro ou a metade do brilho da luz de referência. (Norton, 2002)

Outro procedimento era o “*Ratio Estimation*” no qual o examinador escolhe uma intensidade física num estímulo de referência e num estímulo-teste e pergunta ao observador para estimar a razão entre o estímulo-teste e o de referência; através das respostas do observador era possível construir uma escala relacionando a variedade dos valores dos estímulos com a resposta do observador. No entanto, estas técnicas não foram muito produtivas uma vez que eram sensíveis ao leque de estímulos usados.

Foi então que Stevens criou três métodos:

## MAGNITUDE DAS SENSações

### - *Magnitude Estimation* (Estimação da Magnitude)

O observador deve atribuir valores numéricos aos estímulos conhecendo previamente os valores dos estímulos inicial e final. Exemplo: é-lhe dito que o primeiro tem valor 1 e o último 100, e são-lhe mostrados, de seguida, outros estímulos de tamanho intermédio aos quais tem que atribuir um valor entre 1-100. Este método tem ainda a seguinte variante: uma série aleatória de estímulos são apresentados ao observador e é-lhe pedido para fazer corresponder um número a esse estímulo. O número do primeiro estímulo é escolhido pelo observador e pode tomar valor fraccionário. Os números determinados de seguida espera-se que reflectam a impressão subjectiva do observador relativamente aos outros estímulos tendo como base o primeiro apresentado. (Norton, 2002)

### - *Magnitude Production* (Produção de Magnitude)

Neste procedimento é apresentado um estímulo de referência ao observador ao qual o examinador atribui um valor; depois é pedido ao observador que ajuste um estímulo-teste para um valor relativo ao do estímulo de referência. Exemplo: apresenta-se um estímulo de referência com o valor de 100; pede-se então ao observador que ajuste um estímulo-teste para o valor 25. Neste método, ao contrário do da "*Magnitude Estimation*", o observador deve aparelhar os estímulos físicos aos números que lhe são apresentados. (Norton, 2002)

### - *Crossmodal Matching*

Neste procedimento, como o nome indica, são cruzadas modalidades ou seja, são apresentados estímulos de uma certa modalidade como acústicos e é pedido ao sujeito para exprimir o seu parecer acerca da intensidade dos estímulos, não com números como no caso da *Magnitude Estimation*, mas com um estímulo físico de uma outra modalidade como a visual.

Um exemplo deste procedimento seria, por exemplo, pedir a um sujeito que avaliasse a intensidade subjectiva da temperatura ambiente regulando a intensidade luminosa de uma lâmpada (Norton, 2002).

## MAGNITUDE DAS SENSAÇÕES

Para além da introdução destes métodos, Stevens inseriu uma outra novidade na psicofísica: a reelaboração da lei de Weber-Fechner, baseando-se nos resultados obtidos e anteriormente descritos, criou uma nova lei que ficou conhecida como *Stevens' Power Law*. Esta lei relaciona a magnitude sensorial com a magnitude do estímulo através da Equação 6-1:

$$\Psi = k\Phi^\alpha \text{ Equação 6-1 – Lei de Stevens.}$$

Onde  $\Psi$  representa a magnitude sensorial,  $k$  a constante arbitraria que determina a escala de unidades,  $\Phi$  a magnitude do estímulo e  $\alpha$  é o expoente que é característico do estímulo usado. Pode, portanto, dizer-se que a lei de Stevens incorpora a de Weber-Fechner para valores de expoente  $\alpha$  inferior a 1, caso em que a expressão é exposta em termos logarítmicos.

Com os procedimentos explicados anteriormente tem-se tentado obter os valores do expoente que é aquele que determina o declive da curva. A Equação 6-1 pode ser traduzida na escala logarítmica tomando então a seguinte forma:  $\log(\Psi) = \log(k) + \alpha \log(\Phi)$  (Norton, 2002).

Já foram obtidos alguns valores de  $\alpha$  através do método da Magnitude de Estimação, para várias modalidades sensoriais, como se pode observar na seguinte na Tabela 6-1:

Sensação	Expoente	Condição do Estímulo
Brilho	0.33	5º alvo no escuro
Brilho	0.50	Ponto
Brilho	0.50	Breve flash
Área Visual	0.70	Quadrados projectados
Brilho	1	Flashes de um ponto breves
Comprimento Visual	1	Linha projectada

**Tabela 6-1 – Exemplos da Lei de Stevens. Fonte: Modificada a partir de SS Stevens. Psychophysics, New York: Wiley, 1975**

Uma outra inovação conceptual que Stevens trouxe foi a distinção entre *continuum prothetic* e *continuum matathetic*. Esta distinção diz respeito ao modo de variação da dimensão subjectiva com a variação da dimensão física.

## MAGNITUDE DAS SENSações

Um *continuum prothetic* é uma dimensão física que, variando de modo contínuo, determina uma dimensão subjectiva que varia também ela de um modo contínuo. Por exemplo, a intensidade luminosa é um *continuum prothetic*: aumentos da luminosidade física fazem acompanhar-se por aumentos de luminosidade percebida.

Um *continuum matathetic* é uma dimensão física que, variando de modo contínuo, determina uma dimensão subjectiva que varia de modo quantitativo ou que se concentra em torno dos valores *prototipic*. Por exemplo, o comprimento de onda da luz é um *continuum matathetic*: aumentos no comprimento de onda não são percebidos como tais mas como uma alteração na cor da luz ou seja, como um certo número de cores qualitativamente diversas ao longo do *continuum* (Dzhafarov, 2001).

Para muitas aplicações a *Stevens' power law* e os métodos psicofísicos de escala clássicos fornecem um bom ponto de partida para responder à questão: “como a intensidade do estímulo se transforma em magnitude de sensação?” Até mesmo os modelos que tentam predizer a magnitude das sensações podem incorporar a *Stevens' power law* como componente básico para condições constantes e contextualizadas (Irtel, 2005).

Há também quem defenda que a psicofísica Fechneriana e aquela de Stevens não são contraditórias mas que representam o mesmo em geometrias diferentes (Koornstra, 2006).

## 7-MÉTODOS ADAPTATIVOS STAIRCASE

A diferença entre os métodos clássicos e os adaptativos, segundo Falmagne (1986), reside no facto de que nos primeiros, o valor dos estímulos apresentados é fixado antes da experiência pelo experimentador, enquanto nos segundos, o valor dos estímulos depende criticamente da resposta do observador, ou seja, o estímulo apresentado no ensaio  $n$  depende de um ou vários ensaios precedentes. Dito de um modo mais formal, o valor do nível do estímulo apresentado numa experiência psicofísica adaptativa no ensaio  $n$  é considerada um processo estocástico<sup>5</sup>, isto é, o valor do estímulo  $x_n$  que é apresentado no ensaio  $n$  depende das respostas dos ensaios precedentes. Uma vez que a resposta do observador toma a forma de um processo estocástico, também o valor do estímulo o é.

Sendo assim, assume-se que o valor do estímulo num ensaio  $n$  seja denotado pela variável aleatória  $X_n$  e a resposta do observador pela variável  $Z_n$ . Se o observador acertar na resposta  $Z_n$  toma a forma  $z_i=1$ , caso erre toma a forma  $z_i=0$ . Por definição de função psicométrica tem-se que:

$$\text{Pr ob}\{Z_n = 1 \mid X_n\} = \Psi(X_n)$$

$$\text{Pr ob}\{Z_n = 0 \mid X_n\} = 1 - \Psi(X_n)$$

isto significa que, para qualquer valor fixo do estímulo a resposta do observador é distribuída binomialmente<sup>6</sup>.

---

<sup>5</sup> Um Processo Estocástico é uma família de variáveis, ou seja, se  $X$  é um processo estocástico, então  $X(t)$  é uma variável aleatória para cada valor de  $t$  pertencente ao conjunto índice  $T$ . Intuitivamente, se uma variável aleatória uni-dimensional é um número real que *varia* aleatoriamente, um processo estocástico é uma função que *varia* aleatoriamente.

<sup>6</sup> Em teoria das probabilidades e estatística, a distribuição binomial é a distribuição de probabilidade discreta do número de sucessos numa sequência de  $n$  tentativas tais que as tentativas são independentes; cada tentativa resulta apenas em duas possibilidades, sucesso ou insucesso (a que se chama de tentativa de Bernoulli); a probabilidade de cada tentativa,  $p$ , permanece constante.

Depois destas definições formais, assume-se que um procedimento adaptativo é dado pela função  $A$  que combina o estímulo  $X_n$  actual e a correspondente resposta  $Z_n$ , no ensaio  $n$  e os ensaios precedentes com probabilidade alvo  $\Phi$ , para obter um valor óptimo do estímulo  $X_{n+1}$ , que é depois apresentado no ensaio seguinte com o valor:

$$X_{n+1} = A(\Phi, n, X_n, Z_n, \dots, X_1, Z_1)$$

Para que o processo estocástico estacione, numa experiência psicofísica, as apresentações consecutivas têm que ser estatisticamente independentes.

Um procedimento psicofísico tem que ser avaliado tendo em conta os custos e benefícios. Ou seja, o número de ensaios é um parâmetro fundamental. Por um lado têm que ser em número elevado para possibilitar uma alta precisão, o que nessas condições traz desvantagens como cansaço e diminuição da atenção por parte do observador.

Nestas tarefas de obtenção de um limiar, nomeadamente nos procedimentos adaptativos, há relevâncias estatísticas a ter em conta que são impostas por:

- tendência ou erro sistemático: numa experiência real o experimentador nunca pode determinar quão grande é a tendência do observador. A validação da tendência poderá ser feita posteriormente por métodos de simulação (Treutwein, 1995);
- precisão: relacionada com a variação nas medidas do limiar nas várias medições (Treutwein, 1995);
- eficiência: relacionada como número de ensaios necessários para se atingir uma determinada precisão escolhida pelo experimentador. Este valor permite fazer uma comparação entres os diversos métodos psicofísicos (Treutwein, 1995).

Far-se-á referência agora aos constituintes básicos de um procedimento adaptativo. Há três questões fundamentais que é necessário colocar quando se pretende fazer um destes procedimentos:

“Quando se deve alterar o valor teste do estímulo e onde o colocar no ensaio seguinte na escala física do estímulo?”

“Quando finalizar a sessão?”

“Qual o valor final estimado do limiar?”

Para cada um dos vários procedimentos adaptativos que existem isto tem que ser pensado em detalhe.

Os procedimentos adaptativos como a *staircase* pertencem ao grupo dos métodos não paramétricos, para os quais o único requerimento relativamente à função psicométrica é que esta seja estritamente monotónica (Treutwein, 1995).

Até García-Pérez em 1998 nenhum estudo sobre a *staircase* de escolha forçada e com degraus fixos (FSS) tinha sido feito. Este método é utilizado por 68% dos psicofísicos uma vez que é associado aos métodos livres de critério e mais eficientes. No entanto geralmente não se faz referência às suas características. Far-se-á referência às conclusões deste estudo uma vez que a *staircase* desenvolvida para este projecto é considerada uma *staircase* de escolha forçada com degraus fixos pré-estabelecidos no início do procedimento.

Existem, segundo García-Pérez, quatro variantes do método *up/down* que serão descritas de seguida. É necessário, no entanto, fazer certas considerações formais antes de continuar.

Define-se como D o conjunto de eventos ou sequências de resposta que levam a um degrau de descida e U o conjunto de eventos que levam a um degrau de subida. Sendo  $\Psi$  a função psicométrica monotónica e crescente. Deste modo, a  $Pr ob(D | x)$  e  $Pr ob(U | x)$  são as probabilidades do acontecimento de um degrau para baixo dado que foi apresentado o estímulo  $x$  e do acontecimento de degrau para cima quando apresentado o estímulo  $x$  respectivamente. Há um nível  $x_0$  onde  $Pr ob(D | x_0) = Pr ob(U | x_0)$ . Tendo em conta os parâmetros U e D e o tamanho dos degraus surgem diversos procedimentos

### Método *up/down* de Dixon & Mood

O primeiro método *up/down* foi desenvolvido por Dixon & Mood em 1948, é o método mais simples em que cada resposta correcta determina um degrau de valor fixo para baixo. Cada resposta errada determina um degrau do mesmo tamanho para cima. Formalmente, se  $\Delta$  indicar o tamanho do degrau e cada resposta correcta for representada por C e cada resposta errada por W:  $D = \{C\}$ ,  $U = \{W\}$ ,  $Pr ob(D | x) = \Psi(x)$  e  $Pr ob(U | x) = 1 - \Psi(x)$ . Então  $\Psi(x_0) = 1 - \Psi(x_0)$  para que  $\Psi(x_0) = 1/2$ .

Dito de outro modo  $Pr ob(D | x) > Pr ob(U | x)$  se  $x > x_0$  e  $Pr ob(D | x) < Pr ob(U | x)$  se  $x < x_0$

### Transformação do Método *up/down* por Wetherill e Levitt

Wetherill e Levitt em 1970 fizeram alterações ao método de Dixon e Mood, método que ficou conhecido como *Transformed up/down Method* onde sugeriram que o valor do estímulo podia depender não só da resposta anterior mas de duas ou mais respostas dos ensaios anteriores consecutivos D e U. Por exemplo, o nível do estímulo é aumentado com uma resposta errada mas é diminuído só depois de duas ou mais respostas correctas (1up/2-down) sendo os degraus de subida e descida do mesmo tamanho. Nesta situação  $Pr ob(D | x)$  e  $Pr ob(U | x)$  tem que ser obtidas através de uma transformação  $f$  de  $\Psi(x)$ . Neste caso a  $Pr ob(D | x) = f(\Psi(x))$  e  $Pr ob(U | x) = 1 - f(\Psi(x))$  de onde,  $\Psi(x_0) = f^{-1}(1/2)$ . Com a mesma implicação anterior  $Pr ob(D | x) > Pr ob(U | x)$  se  $x > x_0$  e  $Pr ob(D | x) < Pr ob(U | x)$  se  $x < x_0$ .

### Método pesado de Kaernbach

Uma outra versão deste método foi feita por Kaernbach -*Weighted up/down Method* em 1991, varia relativamente à versão anterior pelo facto de que o degrau de subida  $\Delta^+$  tem valor diferente do degrau de descida  $\Delta^-$ . García-Pérez tendo em conta o artigo de Kaernbach conclui que:

$$\Psi(x_0) = \frac{\Delta^+}{\Delta^- + \Delta^+}$$

### União dos últimos 2 métodos

Uma outra alternativa é a união do método de Levitt e Kaernbach, que é o caso da *staircase* criada para este projecto onde os valores dos degraus de subida e descida podem ser alterados tal como a número de sucessos (acertos na respostas) antes de variar o valor do estímulo assim como as falhas. Ou seja varia tanto a regra *up/down* como o valor dos degraus. Neste caso a expressão matemática resulta da união das duas anteriores:

$$\Psi(x_0) = f^{-1}\left(\frac{\Delta^+}{\Delta^- + \Delta^+}\right) \text{ Equação 7-1}$$

Relativamente à convergência, ou seja ao valor do limiar, só Dixon e Mood utilizam estimadores de *maximul-lihelihood* para obter o valor de  $x_0$ . Todos os outros utilizam a média do valor dos *reversals* (inversões):

$$M_{lin} = \frac{\sum_{i=1}^N m_i}{N} \text{ onde } N \text{ é o comprimento da } staircase \text{ e } m_i \text{ é o valor do}$$

estímulo no  $i$ -ésimo *reversal* ( $1 \leq i \leq N$ ).

É melhor fazer o cálculo do limiar ignorando os primeiros quatro *reversals* (Klein, 2001).

Existem no entanto outros modos de obter o valor do limiar através de *staircases* FSS nomeadamente *maximu-likelihood estimation* ou os métodos Bayesianos.

No caso da FSS, ao contrário dos métodos clássicos, o valor do limiar não vai corresponder à posição 0.5 correspondente a 50% de percentagem de respostas sim mas vai depender da regra *up/down* utilizada e da relação entre o degrau de subida e descida. São dados exemplos na Tabela 7-1:

One-down/one-up $f(y) = y$		Two-down/one-up $f(y) = y^2$		Three-down/one-up $f(y) = y^3$		Four-down/one-up $f(y) = y^4$	
$\Delta^-/\Delta^+$	Presumed target (%)	$\Delta^-/\Delta^+$	Presumed target (%)	$\Delta^-/\Delta^+$	Presumed target (%)	$\Delta^-/\Delta^+$	Presumed target (%)
0.1892	84.09	0.5488	80.35	0.5488	86.43	0.5488	89.64
0.2599	79.37	0.7393	75.83	0.7393	83.15	0.7393	87.08
0.2845	77.85	0.8415	73.69	0.8415	81.58	0.8415	85.84
0.3333	75.00	1.0000	70.71	1.0000	79.37	1.0000	84.09
0.4142	70.71	1.3000	65.94	1.3000	75.76	1.3000	81.20

Tabela 7-1 –  $\Delta^-/\Delta^+$  é a razão entre os degraus,  $f(y)$  é a transformação aplicada à função psicométrica. Os valores foram obtidos tendo em conta a Equação 6-1. Fonte: Garcia-Pérez, 1998.

García-Pérez conclui então que a convergência assintótica da FSS depende muito mais do tamanho dos degraus do que da regra *up/down*. Verificou também que mesmo para pequenas amostras este método está sujeito a alguma tendência e que a sua precisão é menor do que razoável, mas que no entanto estas características aumentam quando o degrau de subida é maior do que a metade da *spread* da função psicométrica.

Numa *staircase* é fundamental ter em conta:

- regra do *up/down* e do comprimento da *staircase*;
- tamanho dos degraus;
- valores iniciais;
- condições fronteira;
- número de *reversals* usado para obter o limiar;
- número total de *reversals* utilizado.

Antes de continuar convém definir *reversal*. Um *reversal* é uma situação onde há variação de um degrau de subida para um de descida ou vice-versa, como o nome indica é uma zona de inversão ao longo da *staircase* se descia começa a subir e vice-versa.

Depois de feitos estudos e simulações com variações do método *up/down* conclui-se que tanto o método de Levitt como o de Kaernbach são aconselháveis mas que, no entanto, o de Kaernbach, devido ao facto de os degraus de subida e descida terem valores diferentes não estão sujeito às variações que afectam o outro método (García-Pérez, 1998).

Do estudo levado a cabo por Garcia-Pérez surgem algumas recomendações práticas importantes que devem ser tidas em conta quando se utiliza o método da *staircase*, nomeadamente a FSS:

- utilização de degraus de subida altos, com valor entre  $\sigma/2$  e  $\sigma$  (o *spread* da função psicométrica pode não ser precisamente conhecido mas uma aproximação é suficiente);
- a utilização de degraus maiores trás a vantagem de obter *reversals* mais rapidamente:
  - garante-se deste modo que todos os *reversals* virtualmente ocorreram abaixo ou acima do limiar como é suposto.
  - se a *staircase* afundar ou subir demasiado devido a uma sequência de respostas casuais os degraus grandes permitem um retorno à gama do visível.
- utilização de diferentes valores para o degrau de subida e descida sendo que o de descida deve ser menor que o de subida sempre dentro da regra anteriormente referida;
- iniciar a *staircase* com um valor bastante acima do limiar;
- suprimir a fase preliminar e correr assim uma *staircase* maior;
- não utilizar menos de 20 *reversals* nos métodos 1down/1up e 2down/1up. A utilização de um 3down/1up já resolve o problema.
- não descartar informação de nenhum *reversal* a não ser dos dois primeiros e utilizar a médias dos mesmos para obter o limiar.

Foi ainda feito outro estudo por García-Pérez em 2000 onde refere quais as características óptimas para a FSS. Refere aí que a utilização de *staircases* com menos de 30 *reversals* é ineficiente, sendo preferível realizar uma mais longa do que várias curtas.

Nesse artigo faz referência às *staircases* em que o valor do degrau seguinte é decidido tendo em conta o ensaio anterior. São *staircases* que seguem a regra 1/1 e surgem na sequência dos métodos Bayesianos do QUEST, métodos paramétricos em que é necessário conhecer os parâmetros mesmo que

aproximados da função psicométrica. Foi feito um estudo pormenorizado (García-Peréz, 2006) que comparou 4 tipos de FSS *staircases* com a *staircase* que utiliza o método Bayesiano. Nos estudos teóricos verificou-se que a *staircase* Bayesiana mostrou ser mais eficiente. Apesar das diferenças os dois tipos de *staircases* não serem muito significativas. Fez-se ainda subsequentemente uma experiência empírica a três sujeitos onde a FSS de 1up/3down mostrou ter uma melhor prestação porque é menos exigente do que a Bayesiana e logo está menos sujeita a flutuações da atenção por parte do sujeito que realiza o teste (García-Pérez, 2006).

No entanto, os métodos de simulação mostraram ser mais eficiente a *staircase* Bayesiana tanto na situação em que os parâmetros da função psicométrica eram conhecidos como quando eram aproximados (Garzia-Pérez, 2006).

A melhor *staircase* FSS a usar é aquela de 1up/3down quando comparada com a 1up/1down, 1up/2down e 1up/4down. (Garzia-Peréz, 2006).

Em 2001, Kaernbach propôs um modelo de uma tarefa de 2AFC em que é permitido ao observador responder “não sei”. Este modelo é emendado pela teoria de detecção do sinal. O observador irá responder “não sei” quando a diferença entre os estímulos não exceder o critério (García-Pérez, 2001).

Todos estes testes, apesar de tudo, estão sempre sujeitos a viés por parte do observador, até mesmo utilizando os testes da *staircase* aliados a métodos de escolha forçada há sempre variabilidade. Uma solução poderia ser a utilização de uma procedimento adaptativo com a SDT onde seria pedido ao observador para assinalar os diferentes julgamentos feitos para as várias categorias. Assim é permitindo ao experimentador avaliar a categoria das respostas de forma dinâmica em termos de SDT. Isto significaria avaliar a sensibilidade  $d'$  e o critério  $c$  no momento e colocar o novo estímulo de acordo com os resultados da sensibilidade (Treutwein, 1998).

## 8- OBJECTIVO DO TRABALHO

### 8.1- REPRODUÇÃO DA LOCAL SPEED DISCRIMINATION TASK

O objectivo deste trabalho consiste na implementação de um software de estimulação psicofísica para aplicação clínica em oftalmologia. De uma forma mais concreta, consiste na reprodução de um teste de discriminação da velocidade chamado *Motion Battery* que é usado para investigação. Pretende-se portanto a sua reprodução para um software e hardware acessíveis assim como melhorar certas características do mesmo nomeadamente a interface.

O teste implementado LoSp – Local Speed Discriminations task permite realizar uma tarefa psicofísica de discriminação da velocidade local. Cada teste executado permitirá determinar qual o valor mínimo de diferença de velocidade entre 2 pontos situados em duas localizações do campo visual para que um determinado indivíduo consiga detectar essa diferença de velocidades.

A tarefa inclui os 3 componentes básicos de uma tarefa psicofísica:

- estimulação;
- aquisição da resposta;
- cálculo da grandeza em avaliação e a respectiva variabilidade.

A ideia da criação deste software surgiu como consequência de estudos de investigação realizados que mostram que doentes com glaucoma ou hipertensão ocular apresentam défices na percepção do movimento local e global (Faria, 2006).

O glaucoma é uma doença que afecta o nervo óptico e é uma das principais causas de cegueira em Portugal sobretudo nas pessoas mais idosas. Afecta o nervo óptico levando a perda de visão periférica provocando a chama visão em túnel e por fim a cegueira. No entanto, a perda de visão provocada pelo glaucoma é evitável se diagnosticada a tempo. A pressão intraocular

## OBJECTIVO DO TRABALHO

elevada é um sintoma importante para o seu diagnóstico precoce. Com este teste será possível diagnosticar indivíduos com hipertensão ocular permitindo assim uma acção preventiva que no momento é a única “cura” para o glaucoma.

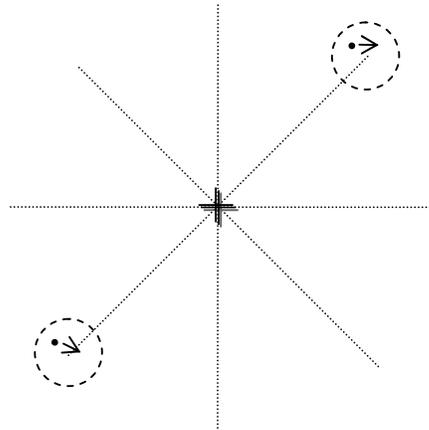
Pretende-se portanto com este projecto desenvolver uma ferramenta que determine de forma objectiva o défice na percepção do movimento, esperando criar assim uma ferramenta de rastreio e diagnóstico precoce, podendo igualmente vir a ter um papel importante na avaliação da resposta a fármacos no que diz respeito à eficácia e níveis de toxicidade.

## 8.2- DESCRIÇÃO DO CONCEITO

Este programa determina o limite de sensibilidade de um indivíduo usando para o efeito uma metodologia psicofísica designada de 2AFC que já foi referida anteriormente neste relatório. Ao indivíduo a quem vai ser aplicado o teste é pedido que se sente em frente a um monitor de computador a uma certa distancia designada de *viewing distance*, determinada pelo experimentador e é-lhe pedido que mantenha o olhar fixo num ponto de fixação situado no centro do ecrã. No decorrer do teste irão aparecer dois pontos em duas zonas distintas e opostas do ecrã que se movem a velocidades diferentes, um chamado estímulo de referência a uma velocidade constante ao longo do teste e um estímulo variável, cuja velocidade varia de acordo com a resposta do observador que realiza o teste. É pedido ao indivíduo que indique qual dos dois pontos se move a maior velocidade, utilizando para o efeito o teclado do computador. A velocidade vai variando ao longo do teste até que a diferença entre a velocidade dos dois pontos se torne imperceptível para o sujeito que realiza o teste. Os dois estímulos pontuais localizam-se num dos 4 meridianos pré-definidos (horizontal ou 0°, vertical ou 90°, 45° e 135°) com uma excentricidade (distância entre o centro do ecrã e a área de estimulação onde se movimenta o ponto) escolhida pelo utilizador.

## OBJECTIVO DO TRABALHO

O movimento dos dois pontos faz-se dentro de uma área dita área de estimulação ou abertura. A direcção do movimento tal como a localização dos pontos - variável e de referência nos meridianos definidos é feito de forma aleatória (ver Figura 8.1).



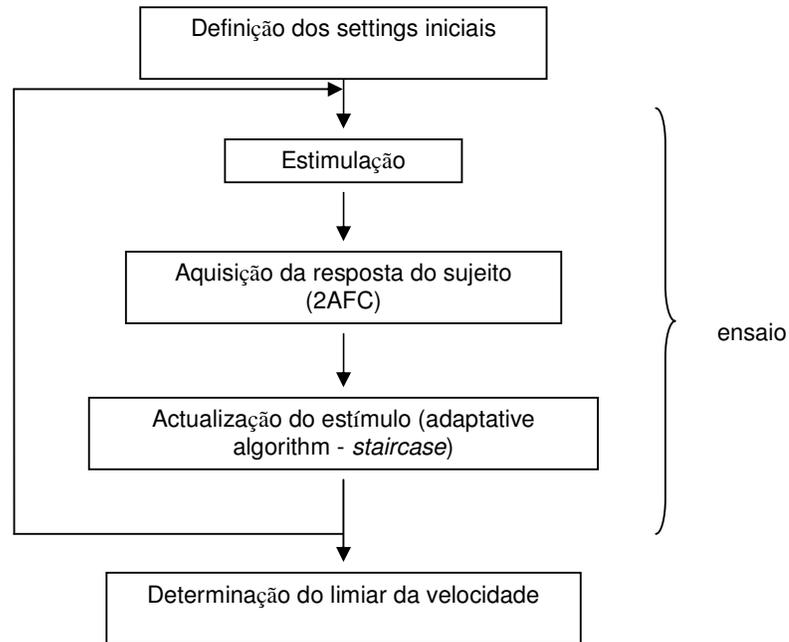
**Figura 8.1 - Esquema do paradigma de estimulação. Os dois estímulos pontuais são mostrados ao indivíduo num dos quatro eixos representados na figura, em posições opostas. Os estímulos movem-se dentro de uma área circular designada abertura.**

O teste é implementado de forma a que, no final da experiência, tenham sido determinados para esse indivíduo os limiares para a sensibilidade à velocidade nas várias zonas do campo visual.

O funcionamento desta tarefa é assegurado pelo algoritmo da *staircase*. É definido o valor da velocidade inicial do estímulo variável e a velocidade do estímulo de referência. A variação da velocidade do estímulo variável segue as leis impostas pelo utilizador para o algoritmo da *staircase* ou seja, no início da experiência são definidos os parâmetros para o funcionamento da experiência de acordo com o que se pretende medir.

A Figura 8.2 seguinte resume o teste em questão:

## OBJECTIVO DO TRABALHO



**Figura 8.2 - Esquema funcional da experiência psicofísica que se implementou.**

O funcionamento e todos os parâmetros do teste serão descritos mais à frente neste relatório.

## 9-SOFTWARE UTILIZADO

Para a realização destes testes foi utilizado o MatLab, uma ferramenta informática, interactiva e de alta performance, orientada à execução de tarefas que envolvam cálculos numéricos. Este software, para além de disponibilizar uma linguagem de programação própria fornece um ambiente de computação com excelentes capacidades gráficas e com um vasto conjunto de funções, organizadas segundo diversas áreas científicas. A versatilidade concebida pela colecção dessas funções, designadas de *toolboxes*, facilita a aplicação de conceitos de uma determinada área científica a problemas reais da engenharia, matemática e ciências.

É de salientar ainda o facto de que este software permitir a elaboração de interfaces gráficas (Vagner, 2006).

No entanto, para a elaboração deste teste, o MatLab *per si* não era suficiente uma vez que não fornecia o controlo de hardware necessário para a apresentação precisa do estímulo no que diz respeito à necessidade de eficiência relacionada, por exemplo, com a apresentação de estímulos durante milissegundos. Um computador realiza sempre inúmeras tarefas em paralelo ao MatLab, como por exemplo, actualização de antivírus, actualização do relógio digital a cada segundo na interface do ambiente de trabalho e o movimento do rato acciona servidores gráficos para o mover na direcção pretendida. O MatLab em si tem que verificar a directoria corrente para qualquer alteração efectuada, além disso há inúmeros sistemas internos que trabalham no background para manter o sistema a correr. Todos eles correm em paralelo e competem pelos recursos do computador especialmente pela memória e processadores de tempo. Se, antes do nosso programa correr, algum dos outros processos ganha a corrida pelos recursos do sistema a apresentação dos estímulos e a execução do processo vai atrasar-se o que se reflectirá na falha de apresentação de *frames* e num tempo de estimulação errado. Este é o grande

## SOFTWARE UTILIZADO

desafio de fazer psicofísica num computador moderno, já que, a grande agressividade por parte dos sistemas operativos “rouba” tempo ao *display* do código. Para superar o problema utilizou-se a Psychtoolbox - PTB uma ferramenta do MatLab criada especialmente para a elaboração de testes psicofísicos que tenta reduzir as interrupções dos outros sistemas. As linguagens de alto nível permitem apenas um controlo rudimentar das transformações vitais de número para cor e da taxa a que as imagens são apresentadas. Este limite é colmatado pela PTB que, com funções simples mas poderosas, nomeadamente a Screen.MEX e o Rush.MEX, interpretadas em C, permite controlar a transformação dos *pixeis* e a sincronização temporal da interface com o ecrã do computador. Permite portanto:

- o acesso às paletes de cores (LUT) e ao *frame buffer*;
- sincronização com o refrescamento vertical;
- suportar tempos da ordem dos milissegundos;
- acesso a comandos de OpenGL;
- facilitar a obtenção de respostas por parte do observador.

Desta forma a PTB “pede” ao sistema operativo para dar ao código o tempo de processamento necessário, imediatamente quando necessário, colocando como prioridade as necessidades do programa em questão acima de todos os outros processos do sistema.

Durante a realização deste projecto surgiu uma nova versão da PTB, a PTB-3, que trouxe novidades relativamente à versão anterior, já que, ao contrário da PTB-2, utiliza os hardwares gráficos mais modernos e como tal a velocidades das operações de desenho já não são determinadas pela velocidade do CPU do computador que está a ser utilizado. A função screen, desta nova versão, utiliza plataformas de livrarias gráficas independentes - OpenGL para todas as opções de desenho e apresentação de estímulos. Isto traz 3 vantagens essenciais:

## SOFTWARE UTILIZADO

- portabilidade;
- desempenho - maior velocidade de desenho dos estímulos quando comparado com as outras versões e permite a utilização de muitas outras funções de desenho não disponíveis nas outras versões;
- paralelismo - são executados os comandos de desenho pelo GPU independentemente e paralelamente à execução de outras funções da PTB e do código de MatLab no CPU.

Estas características permitem, por sua vez:

- desenhar os mesmos estímulos a taxas de refrescamento superiores evitando assim falha na apresentação dos mesmos;
- desenhar estímulos mais complexos e imagens maiores para uma dada taxa de refrescamento do monitor;
- permite criar vários estímulos “*on-the-fly*” que se podem computar numa janela *OffScreen* poupando deste modo tempo os *setup* do ensaio.

A ideia no fundo é computar as imagens ou *frames* e utilizar as funções fornecidas por esta ferramenta para uma apresentação das mesmas de forma mais precisa.

Existem outras rotinas, além das funções específicas - Screen e Rush -, que satisfazem as necessidades das experiências psicofísicas:

- unbuffer keyboard input/output
- rato I/O
- tempo
- sons

Para além de todas estas características, a PTB tem também funções específicas para o BITS<sup>++</sup>, que é um processador de vídeo digital que aumenta a gama dinâmica existente nos sistemas gráficos dos computadores, 8 ou 10 bits, para 14 bits o que permite correr experiências num computador normal com

## SOFTWARE UTILIZADO

uma maior resolução e contraste. Dito de outra forma, faz o re-mapeamento dos vulgares 3\*8 bits dos sinais de vídeo para 3\*14 bits utilizando paletes de cores individuais RGB, isto permite a colocação dos bits disponíveis onde são necessários aumentando substancialmente a gama de variação de luminância possível de utilizar. Tudo isto é extremamente importante quando se pretende realizar testes psicofísicos de sensibilidade ao contraste ou às cores. Apesar de esta característica não estar directamente relacionada com o LoSp é ainda outra característica que acentua as vantagens desta ferramenta psicofísica. Ao utilizar o MatLab aliado a esta ferramenta PTB, que é grátis, está a dar-se ao programa a flexibilidade e versatilidade de poder ser utilizado em qualquer computador normal. Isto é fundamental uma vez que a portabilidade é uma característica importante, deste modo qualquer centro de pesquisa ou até mesmo clínicas podem facilmente utilizar este tipo de equipamentos.

Além da PTB existem outros softwares para psicofísica como por exemplo *PsychoPy*, *Vision Egg* e *Presentation* que também apresentam boas características para a elaboração de testes psicofísicos. Os dois primeiros são, tal como a PTB, plataformas independentes (Pierce, 2006).

## 10- TESTE DOS AJUSTES

Na sequência da elaboração do teste final foi desenvolvido um teste, com as mesmas características, mas desenvolvido com o Método dos Ajustes, neste caso, pede-se ao observador que coloque dois pontos do campo visual, a velocidades diferentes à mesma velocidade utilizando para o efeito o teclado do computador. O experimentador selecciona qual o meridiano em que pretende realizar o teste e instrui o sujeito que o realiza acerca da posição do estímulo de referência e do estímulo variável, escolhida pelo operador, e da sua tarefa – colocar os dois pontos à mesma velocidade. Esta tarefa deve ser realizada para o mesmo meridiano em duas situações: com o estímulo de referência a velocidade inferior ao variável e ao contrário. Desta forma, tendo em conta que se trata de uma tarefa baseada no Método dos Ajustes, não se obtém o valor do limiar mas um intervalo de confusão. O valor dos degraus que permitem a variação da velocidade do estímulo variável assim como o valor das duas velocidades é escolhido pelo utilizador no início do teste, sendo que os primeiros cinco degraus são maiores que os seguintes.

Uma vez que se trata do método dos ajustes, por si subjectivo, espera-se que os resultados, comparativamente ao LoSp, não sejam tão precisos. No entanto não foram realizados testes a comprová-lo já que não fazia parte do âmbito deste projecto. Seria contudo interessante estudar e comparar o resultado dos dois métodos.

De seguida dar-se-á um exemplo de um teste utilizando este método.

Para a realização deste teste pediu-se ao observador para colocar dois pontos, situados em locais opostos do campo visual, neste caso ao longo do meridiano horizontal, à mesma velocidade. O observador coloca-se em frente ao ecrã e antes de iniciar o teste são dadas as instruções. O experimentador informa de seguida o sujeito que realiza o teste acerca da posição tanto do

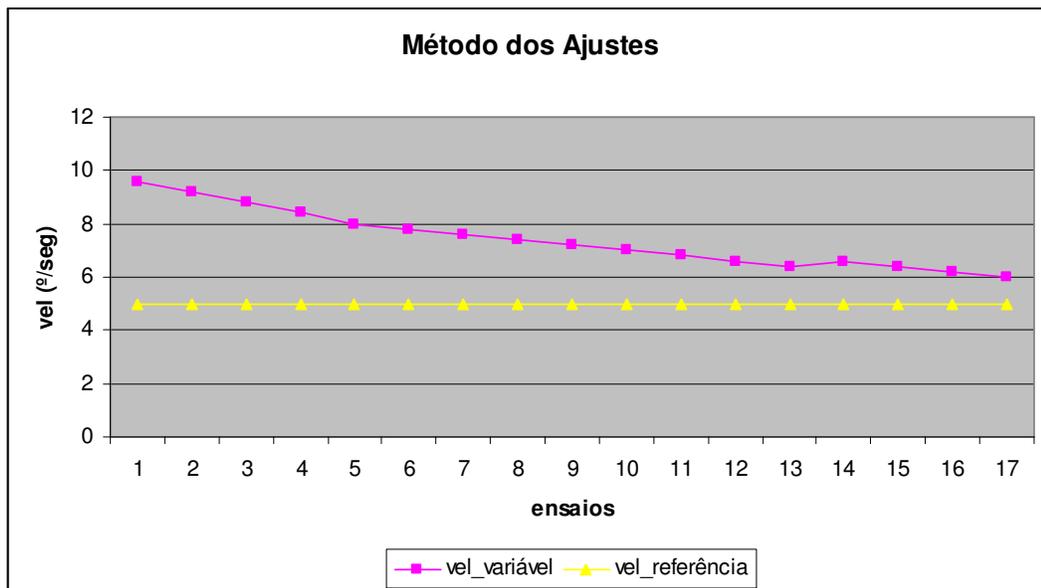
## TESTE DOS AJUSTES

estímulo de referência como do variável. Neste caso o variável encontra-se à direita e o de referência à esquerda. Os dados iniciais deste teste são:

Velocidade de Referência	5°/seg
Velocidade Variável - valor inicial	10°/seg
Primeiro degrau (5 ensaios)	0.4°/seg
Segundo degrau (ensaios restantes)	0.2°/seg

Elucida-se de seguida o sujeito relativamente às teclas a utilizar para fazer variar a velocidade.

Tendo em conta os valores dados, trata-se de uma série descendente, a velocidade inicia a 10°/seg e deve ser ajustada até 5°/seg. É possível observar a performance do observado através do gráfico da Figura 10.1:



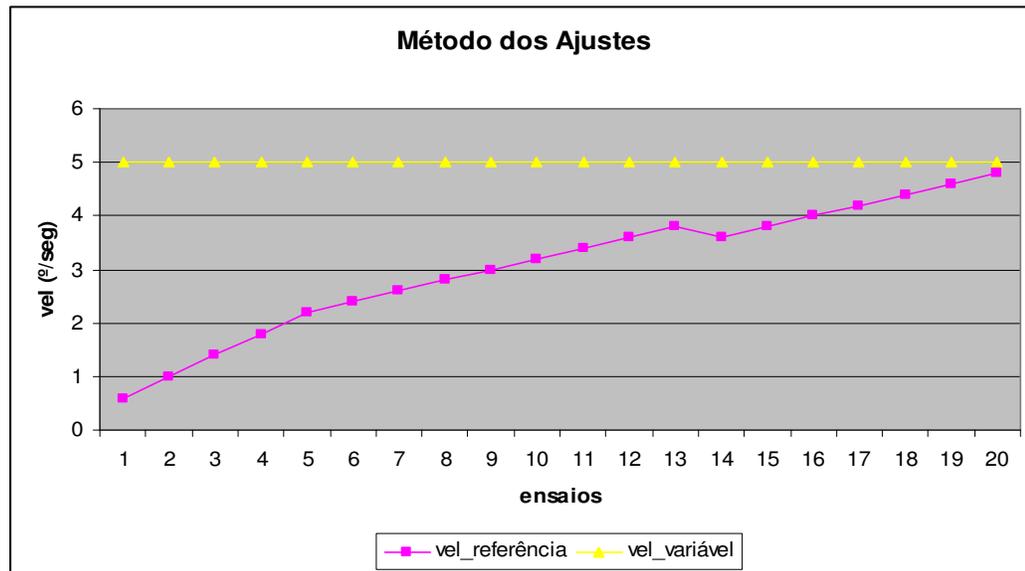
**Figura 10.1** – Gráfico que representa o desempenho do utilizador. Os dados de cada teste são guardados num ficheiro de texto o que permite o seu estudo posterior. Neste caso, a elaboração do gráfico foi feita em Excel.

Verifica-se na Figura 10.1 que o observador diminui a velocidade variável até ao valor de 6°/seg momento em que pensou que os pontos estavam

## TESTE DOS AJUSTES

à mesma velocidade terminando a tarefa. Este teste continua nas mesmas condições mas agora numa série ascendente onde:

Velocidade de Referência	5°/seg
Velocidade Variável - valor inicial	1°/seg



**Figura 10.2** – Gráfico que representa o desempenho do observador com os valores descritos na tabela anterior.

Verifica-se na **Figura 10.2** que o observador aumentou a velocidade até aos 4.8°/seg onde parou a experiência porque pensou que os dois pontos estivessem à mesma velocidade.

O ideal é que a diferença entre o valor da velocidade variável e de referência, no final do teste seja o mais próximo de zero possível. Se assim for o observador cumpriu correctamente o objectivo da tarefa e tem uma discriminação da velocidade muito rigorosa.

No final deste teste que utiliza o método dos ajustes, ao contrário de todos os outros não se obtém um valor preciso do limiar, obtém-se em vez disso um intervalo de confusão. É a partir deste que se tiram conclusões acerca do observador em questão. Neste caso, o observador tem um intervalo de confusão de 1,2°/seg (6-4,8). Este teste tem ainda a característica de fornecer através de som um *feedback* ao sujeito que o realiza.

## 11- DESCRIÇÃO DETALHADA DO LoSp

### 11.1- STAIRCASE

Foi decidido desenvolver este algoritmo da forma mais geral e flexível possível de modo a poder ser incorporado em qualquer teste psicofísico que pretenda utilizar este método. A forma ideal para o fazer foi através da programação orientada a objecto (POO).

A POO traduz-se numa maneira de pensar diferente, porque apesar da escrita do código continuar a ser processual há conceitos que mudam completamente nomeadamente a estrutura e o método computacional. Com este tipo de programação é possível a reutilização do código e da modularidade da escrita (Mário Leite).

A nível de modelo computacional pode dizer-se que, enquanto as metodologias tradicionais utilizam o conceito de um processador numa memória e dispositivos *input/output* para armazenar e exibir as informações, a POO emprega um conceito mais real e concreto - o objecto. Uma definição de objecto pode ser “uma unidade dinâmica, composta por um estado interno privativo (estrutura de dados) e um comportamento (conjunto de operações).

Os conceitos fundamentais neste tipo de programação são: classe, que representa um conjunto de objectos com características afins. Objecto, uma instância de uma classe capaz de armazenar estados dos seus atributos e reagir a mensagens enviadas a ele. Os atributos são dados ou informações do objecto, basicamente, a estrutura de dados que vai representar a classe. Os métodos definem as habilidades do objecto.

Para desenvolver a *staircase* criaram-se os atributos Tabela 11-1e os métodos Tabela 11-2 necessários.

## DESCRIÇÃO DETALHADA DO LoSp

Os atributos criados foram:

reversalsToStop	Número de <i>reversals</i> para a <i>staircase</i> parar – condição fronteira
reversalsToUse	Número de <i>reversals</i> utilizar para calcular o valor do limiar
successStepSize	Tamanho do degrau quando o sujeito que realiza o teste acerta.
failureStepSize	Tamanho do degrau quando o sujeito que realiza o teste se engana
failuresRequired	Respostas erradas antes de inverter o sentido
successesRequired	Respostas certas antes de inverter o sentido
initialValue	Valor inicial
maximumValue	O valor máximo
maximumTrials	O valor máximo de ensaios – valor fronteira
minimumValue	O valor mínimo – valor fronteira.

**Tabela 11-1: Atributos da *staircase* criada.**

Os métodos criados foram:

LinStaircase (constructor)	Cria um objecto de uma classe.
get	Permite o acesso as propriedades da classe a partir do objecto especificado e faz o <i>return</i> do valor das mesmas.
set	Permite o acesso às propriedades da classe, alterando-as. Método privativo.
Initialise	Inicializa a <i>staircase</i> para que comece a correr, a <i>staircase</i> não inicia sem esta função e se inicializada duas vezes alerta para o erro.
setResponse	Método que permite receber como entrada a resposta do indivíduo para uma procedimento adaptativa e faz o <i>update</i> na <i>staircase</i> correspondente.

## DESCRIÇÃO DETALHADA DO LoSp

Terminate	Termina a <i>staircase</i> , quando atingidas as condições fronteira impostas.
getTrial	Função que permite obter os dados de um ensaio específico: o valor do ensaio, resposta do utilizador e se aquele corresponde a um <i>reversal</i> ou não.
getAllTrials	Função que permite obter para todos os ensaios a resposta do utilizador, valor da velocidade e a existência ou não de um <i>reversal</i> num determinado ensaio.

**Tabela 11-2: Métodos da *staircase* criada.**

Foi feito um estudo cuidadoso das características da *staircase* de forma a tentar torná-la o mais versátil possível ou seja, construí-la de modo a que os seus parâmetros pudessem ser alterados. No algoritmo criado todas as propriedades podem ser alteradas (ver Figura 11.4):

FailuresRequired e SuccessRequired ditam a regra *up/down* descrita no capítulo 6.

Existem ainda outras propriedades, nomeadamente o valor corrente, o valor de *reversals* e os ensaios até ao momento que não são parâmetros de entrada e podem ser consultados através do método `getTrial`.

Caso se pretenda realizar uma experiência utilizando uma *staircase* descendente, onde valor da velocidade inicial variável é muito superior à velocidade de referência, o valor dos degraus a introduzir é positivo. Ao contrário, se se quer realizar uma *staircase* ascendente tem que se colocar os valores dos degraus negativos.

O experimentador é responsável por introduzir os valores que caracterizam este procedimento adaptativo.

Tendo em conta o que foi escrito acerca de procedimentos adaptativos nomeadamente FSS pode concluir-se que esta *staircase* abrange todos os parâmetros mencionados e apresenta grande flexibilidade.

## 11.2- PROGRAMA - MATLAB & PTB-3

A *staircase* foi elaborada com base na programação orientada ao objecto mas a restante tarefa foi elaborada através dos mecanismos que o MatLab oferece e as funções que a PTB tem ao dispor para estes testes. Durante a realização deste projecto, depois da realização do teste dos ajustes surgiu uma nova versão da PTB, a PTB-3 que resolveu utilizar-se apesar das diferenças relativamente à primeira. Foi portanto necessário rever todo o código feito até ao momento e criar outro método dos ajustes no novo formato. Simultaneamente fizeram-se as alterações necessárias ao código base e continuou a desenvolver-se introduzindo a *staircase*.

Depois de criado o teste e de incorporada a *staircase* no mesmo fez-se uma interface de modo a facilitar a sua utilização sem que fosse necessário alterar o código base.

Uma vez que já tinha sido previamente feito um levantamento de requisitos para o projecto (ver Anexo), onde esses parâmetros já tinham sido decididos, baseando-nos nele resolveu dar-se ao utilizador a oportunidade de variar os parâmetros relativos ao *setup*, à tarefa e à *staircase*.

SETUP (ver Figura 11.3):

- tamanho do ecrã: altura e largura
- viewing distance
- tamanho do ponto de fixação.

TAREFA (ver Figura 11.2):

- excentricidade
- duração da estimulação
- tamanho do estímulo
- tamanho da área de estimulação
- escolha do meridiano

## DESCRIÇÃO DETALHADA DO LoSp

Os dados relativos à *staircase* já foram referidos quando se abordou de forma pormenorizada a sua construção.

### INTERFACE DE ENTRADA:

Onde o utilizador define os parâmetros:

- dados pessoais
- tarefa (task)
- setup
- staircase*

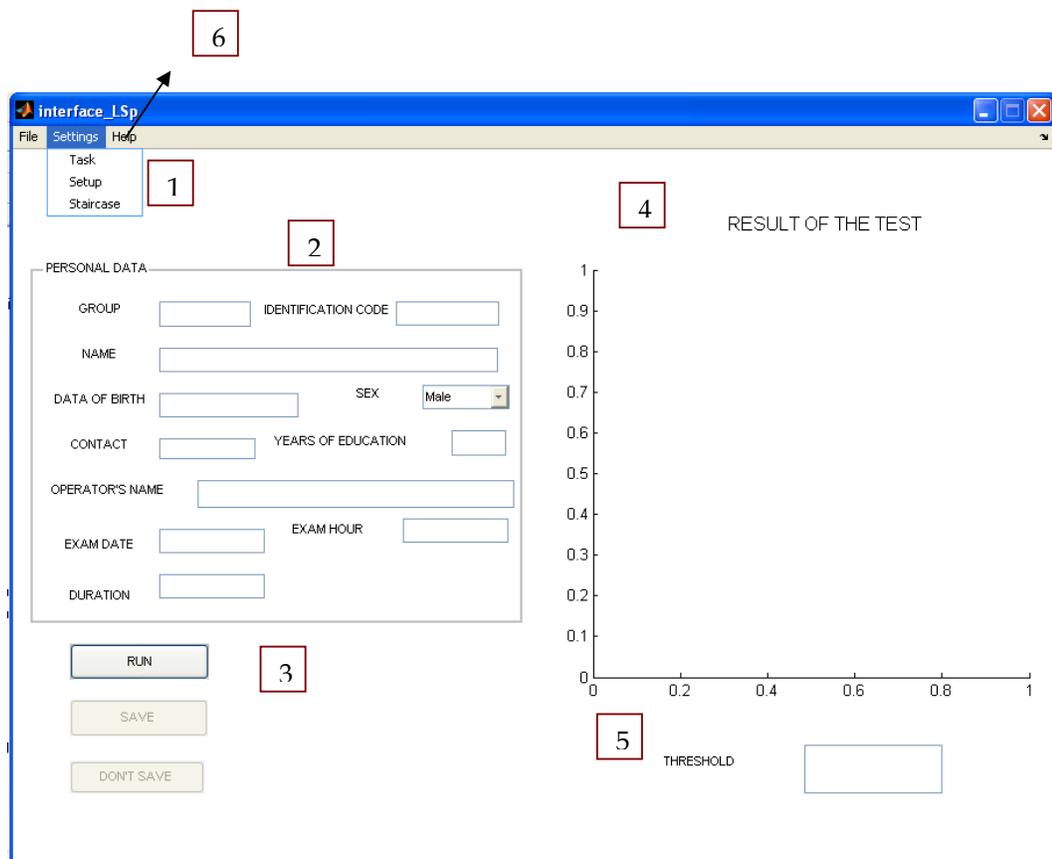


Figura 11.1 – Interface de entrada do programa criado – LoSp.

1 – Definições dos *Settings*

2 – Definição dos Dados Pessoais e do Experimentador

3 – Botões

4 – Gráfico dos Resultados – Performance do Observador

5 – Valor do Limiar

6 – Ajuda

## DESCRIÇÃO DETALHADA DO LoSp

Escolhendo uma das opções em 1 é possível alterar os parâmetros da tarefa, como se pode ver nas figuras seguintes:

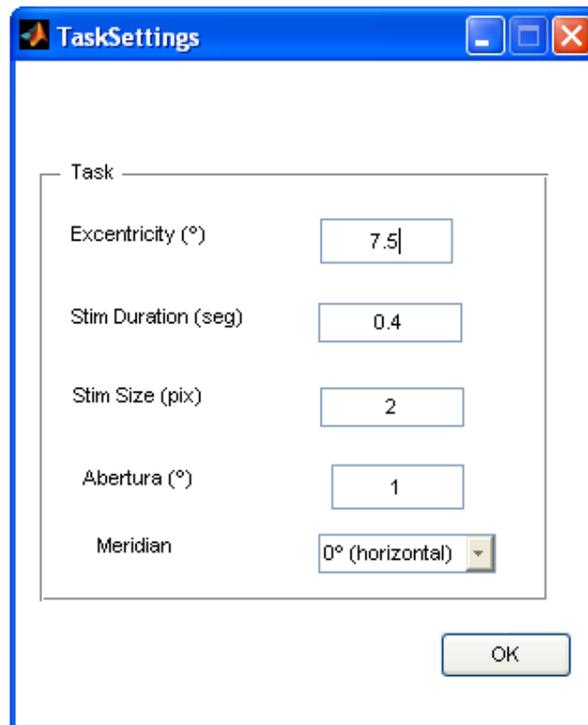


Figura 11.2 – Settings relativos à tarefa.

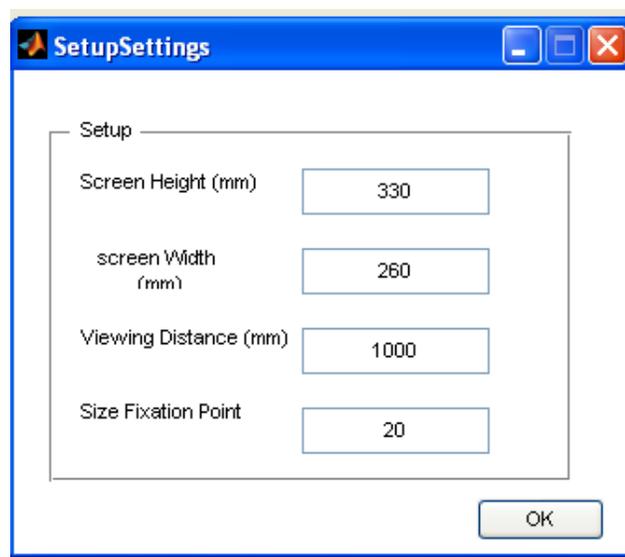


Figura 11.3 – Settings relativos ao Setup.

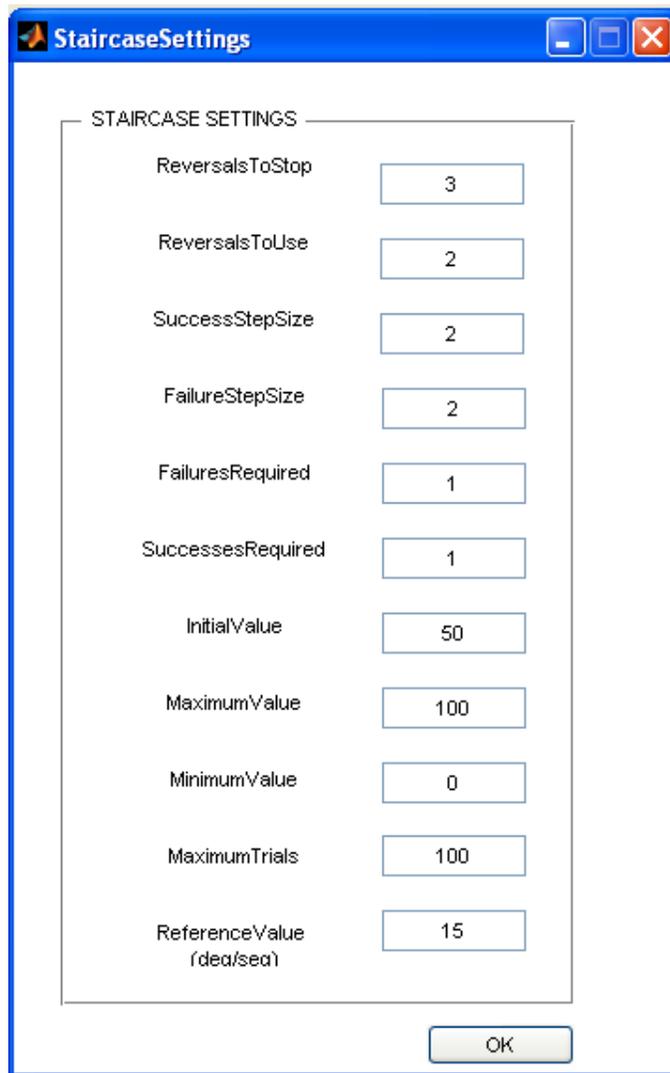


Figura 11.4 – Settings relativos à *Staircase*.

No local assinalado com o número 2 são inseridos os dados tanto do sujeito que realiza o teste como do operador que o realiza.

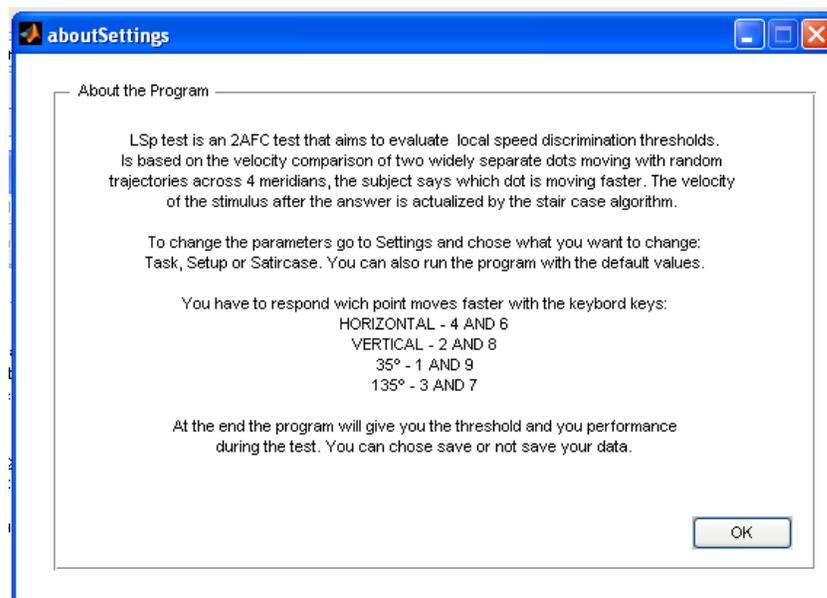
Na zona identificada com o número 3 encontram-se, na interface de entrada, activo somente o botão RUN, estando inactivos os botões SAVE e DON'T SAVE que ainda não podem ser utilizados. Só se encontrarão activos na interface final. Ao operador é dada a hipótese de correr o teste já com os valores

default, clicando no botão RUN após a introdução dos dados pessoais ou pode alterar qualquer um dos parâmetros da forma anteriormente descrita.

Na zona 4 aparecerá, na interface final o gráfico relativo à performance do observador, no eixo dos  $xx'$  são indicados o número de ensaios e no eixo dos  $yy'$  o valor da velocidade variável ao longo dos vários ensaios.

Na zona 5 aparecerá o valor do limiar, também na interface final.

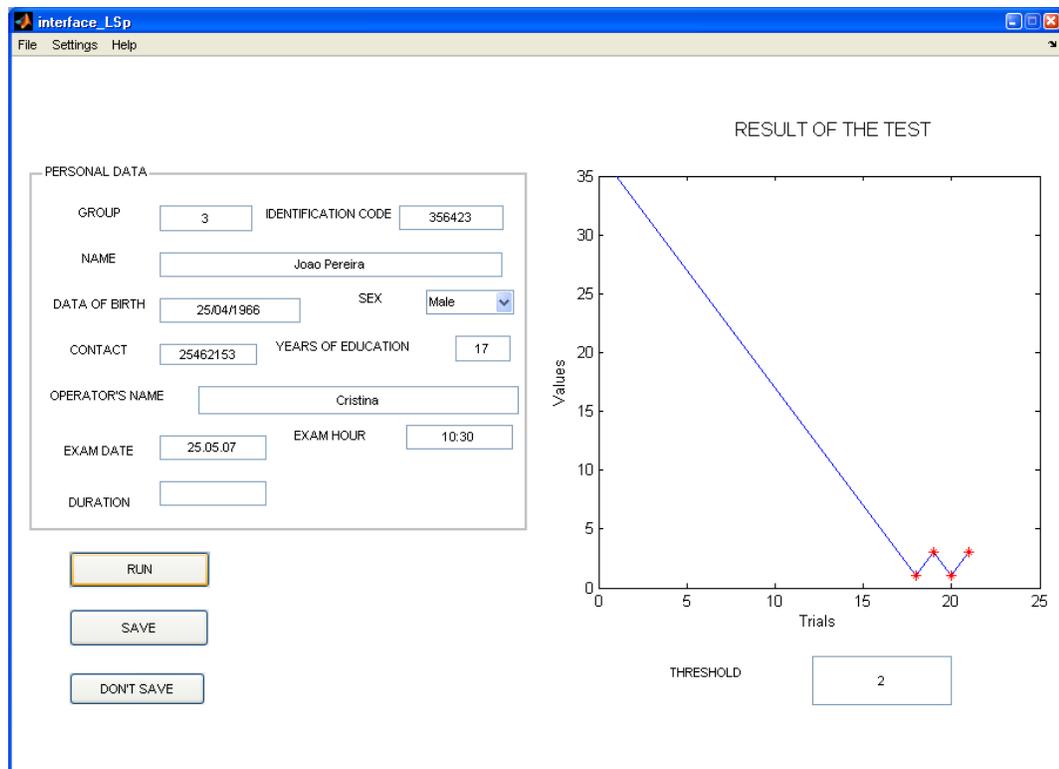
O local representado com o número 6 é relativo à opção *help*, clicando aí o operador pode ler as características essenciais do teste:



**Figura 11.5 – Ecrã que aparece quando se vai ao menu Help na Interface.**

Na Figura 11.6 pode ver-se o exemplo de uma interface final depois de realizado um testes. Pode ver-se o gráfico que resume a performance do observador. A vermelho estão representados os *reversals*, neste caso 4, também se pode verificar que o valor do limiar que se encontra no local anteriormente representado pelo numero 5. Nesta interface, os botões para SAVE e DON'T SAVE encontram-se activos, sendo da responsabilidade do operador, tendo em conta a performance do observador guardar ou não os dados relativos a esse teste em questão. Os dados são guardados num ficheiro de texto e podem ser depois tratados, por exemplo, em Excel.

## INTERFACE - SAÍDA



**Figura 11.6 – Interface final. Pode ver-se o gráfico da *Staircase*, o valor do limiar. Nesta interface já estão activos todos os botões.**

## 12- CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

Com este trabalho pode concluir-se que os testes psicofísicos são um ótimo método de diagnóstico nomeadamente a nível da visão, tendo também a vantagem de serem não invasivos e fáceis de aplicar.

Espera-se que este teste tenha as mesmas características do teste do *Motion Battery* para discriminação da velocidade local, uma próxima etapa poderia ser essa verificação, nomeadamente a nível de pessoas com hipertensão ocular.

Poderiam também ser testados os dois testes (LoSp e Método dos Ajustes) criados e comprovar ou não aquilo que se espera relativamente à fiabilidade dos resultados.

Poder-se-ia aumentar a performance do teste LoSp com a utilização simultânea de várias *staircases* e a incorporação da teoria de detecção do sinal. Apesar disso, e depois do que já foi referido acerca da psicofísica e em particular acerca dos procedimentos adaptativos, pode concluir-se que, o facto deste teste utilizar a *staircase* associada a uma tarefa de escolha forçada o torna bastante fiável, já que a tendência, o viés psicológico e a taxa de adivinhação neste teste estão de certa forma diminuídos.

Seria também importante fazer uma base de dados com os resultados dos testes, desta forma facilitar-se-ia a elaboração de estudos nessa área.

Cada vez é mais necessária a “inter ajuda” entre métodos no sentido em que os métodos psicofísicos, se usados em conjunto com outros, nomeadamente a ressonância magnética e a electrofisiologia podem ajudar a compreender o comportamento e a localizar estruturas no cérebro.

Existem hoje em dia inúmeros testes visuais baseados na psicofísica para o diagnóstico das mais variadas doenças. Este será outro potencial teste a ser utilizado.

## CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

Os testes psicofísicos podem sempre sofrer evolução de modo a tornarem-se cada vez mais precisos e acima de tudo mais fáceis de realizar por parte do sujeito.

Caso se obtenham os resultados esperados com este teste, será um ótimo meio para o diagnóstico precoce do glaucoma que todos os oftalmologistas e instituições de saúde poderiam ter.

## 13- REFERÊNCIAS

### *Artigos*

Dzhafarov, E. N. (2001). Fechnerian psychophysics. In N. J. Smelser & P. B. Baltes (Eds.) *International encyclopedia of the social and behavioral sciences*, 8 (pp. 5437-5440). New York: Pergamon Press.

Ehrenstein WH, Ehrenstein A. (1999) Psychophysical methods. In: Windhorst U, Johansson H (eds): *Modern Techniques in Neuroscience Research*, pp 1211-1241. Berlin: Springer-Verlag.

Heeger, David (1997) Signal Detection Theory.

García-Pérez, Miguel A. (1998). Forced-choice staircase with fixed step sizes: asymptotic and small-sample properties. *Vision Research* **38**, 1861-1881.

García-Pérez, Miguel A. (2000). Optimal setups for forced-choice staircase with fixed step sizes. *Spatial Vision* **13**, 431-448.

García-Pérez, Miguel A. (2002). Properties of some variants of adaptive staircase with fixed step sizes. *Spatial Vision* **15**, 303-321.~

García-Pérez, Miguel A., Quintana-Alcalá, Rocío (2007). A comparison of fixed-step-size and Bayesian staircases for sensory threshold estimation. *Spatial Vision* **20**, 197-218

Jr., Harvey L.O. (2006). Detection Theory: Sensory and Decision Processes.

Jung R. (1972). Neurophysical and psychophysical correlates in vision research

Kaernbach, 1991 Adaptive threshold estimation with unforced-choice tasks. *Perception & Psychophysics*, **63** (8), 1377-1388

Klein, Stanley A. (2001). Measuring, estimating, and understanding the psychometric function: A commentary. *Perception & Psychophysics* **63**, 1421-1455

Koornstra, M. J. (2006) Psychophysical Response Theory, Part I: Fechnerian and Stevens' psychophysics represent the same in different geometries.

Lazara, Richard G. (1994) Weber's Law Modeled by the Mathematical Description of a Beam Balance *Mathematical Biosciences* ,122~89-94

Leek, Marjorie 2001. Adaptive procedures in psychophysical research. *Perception & Psychophysics* **63**, 1279-1292.

Leite Mário, Júnior Nelson A. S. R. Programação Orientada a Objecto uma Abordagem Didáctica

Robert, R. R., Maxion R. A. (2004) Proper Use of ROC curves in Intrusion/Anomaly Detection,

Saberi, K., Green, D. M., (1996). Adaptive psychophysical procedures and imbalance in the psychometric function. *J. Acoust. Soc. Am.* **100**

Scheere, (1992). Fechner's inner psychophysics: its historical fate and present status.

Sekuler and Blake R. (1994) *Perception*, 3<sup>rd</sup> ed. McGraw-Hill, New York

Faria, Pedro , et all, (2006) Desenvolvimento de métodos biofísicos de estudo do processamento da informação visual nos sistemas magno, conio e parvocelular: aplicação na detecção precoce do glaucoma.

Snodgrass JG. (1975). Psychophysics. In: *Experimental Sensory Psychology*. B Scharf. (Ed.) pp. 17-67.

Spillmann & Ehrenstein (1996) From neuron to Gestalt: Mechanisms of visual perception. *Comprehensive human psychology*, **1**.

Treutwein, B., (1995). Adaptive Psychophysical Procedures. *Vis Res* **35**: 2503-22

Zwislocki Jozef J., Relkin Evan M. On a psychophysical transform-rule up and down method converging on a 75% level of correct response. *PNAS*

E. Batschelet, *Introduction to Mathematics for Life Scientists*, Springer-Verlag, New York, 1979, pp. 157-162.

### ***Livros***

Irtel, Hans. (2005). Psychophysical Scaling, vol. 3, 1628-1632. In *Encyclopedia of Statistics in Behavioral Science*. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester

Norton, Thomas T., Corliss, David A., Bailey, James E. 2002, The Psychophysical Measurement of Visual Function Cap. 1 - Principles of Psychophysical Measurement. Butterworth Heinemann. ISBN 0-7506-9935-3.

Morais Vagner, Vieira Cláudio, (2006). Matlab 7&6 Curso Completo. FCA

### ***Páginas Web***

Psychtoolbox Wiki: Psychtoolbox-3 Tutorial (08/11/06)

<http://psychtoolbox.org/wikka.php?wakka=PsychtoolboxTutorial>

<http://www.crsLtd.com/catalog/bits%2B%2B/index.html>

Geoff Martin (2006) Psychometric Function

<http://www.tonmeister.ca/main/textbook/node352.html>

# ANEXO

Análise de Requisitos LoSp - Local Speed Discrimination Task.

	LoSp – Local speed discrimination Task	Ref	LoSp.2006.11.28/1
		Ver	1.0
		Data	2006.11.28

---

# Análise de Requisitos

LoSp - Local Speed Discrimination Task

Novembro de 2006

# Informações relativas ao documento

Título: Análise de Requisitos do projecto “LoSp – Local Speed Discrimination Task”

Referência: LoSp.2006.11.28/1

Versão: 1.0

Data: 2006.11.28

## Historial de revisões

Nome	Data	Motivo para alteração	Revisão

Preparado por: Joana Sampaio; Emília Neto

Aprovado por: Miguel Castelo-Branco

# 1 Introdução

## 1.1 Propósito

Este documento pretende fazer um levantamento de requisitos que irá servir como base à implementação de um software de estimulação psicofísica para aplicação clínica em Oftalmologia.

Esta análise de requisitos deverá ser disponibilizada aos programadores que irão desenvolver a aplicação bem como a outras entidades que venham a participar no projecto, desde que seja pertinente divulgá-lo.

## 1.2 Âmbito

LoSp, o produto que irá ser implementado, permitirá realizar uma tarefa psicofísica de discriminação de velocidade local. Cada teste executado com este programa irá determinar qual o valor mínimo de diferença de velocidade entre dois pontos situados em duas localizações do campo visual, para que um determinado indivíduo consiga detectar essa diferença de velocidades.

A aplicação deverá incluir os três componentes básicos de uma tarefa de psicofísica: estimulação, aquisição da resposta do indivíduo e cálculo da grandeza em avaliação e respectiva variabilidade.

A ideia da criação deste software surge como consequência de estudos de investigação realizados recentemente que mostram que doentes com glaucoma, ou com hipertensão ocular apresentam um défice na percepção de movimento local e global [1]. Pretende-se com o projecto desenvolver uma ferramenta que determine de uma forma objectiva esse défice, esperando criar uma nova ferramenta de rastreio e diagnóstico precoce nestas doenças, podendo igualmente vir a ter um papel importante na avaliação da resposta a fármacos no que diz respeito a eficácia e níveis de toxicidade.

Este software deverá ser executado num PC-IBM usual com sistema operativo Windows.

## 1.3 Referências

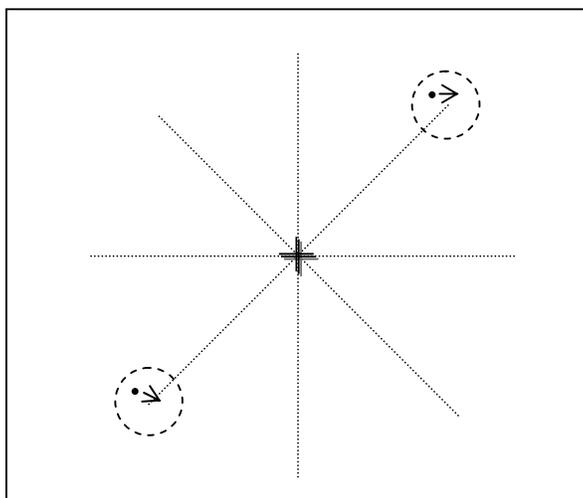
[1] Faria P, Silva MF, Castelo-Branco M. Local motion discrimination deficits in ocular hypertension, EVER 2006, e3442.

## 1.4 Resumo

No capítulo 2 desta análise de requisitos faz-se uma descrição pormenorizada do projecto, incluído conceitos essenciais para a sua implementação. As especificações de requisitos, são listadas na secção 3. Os parâmetros de entrada/saída encontram-se nos pontos 3.1 e 3.3, enquanto os requisitos funcionais são enumerados na secção 3.2

## 2 Descrição do Conceito

O programa em causa irá determinar o limite de sensibilidade à velocidade de um indivíduo usando para isso uma metodologia de psicofísica designada “escolha forçada entre duas alternativas”. Ao indivíduo a quem vai ser aplicado o teste é pedido que se sente em frente a um monitor de computador e mantenha o olhar fixo num ponto de fixação situado no centro do ecrã. No decorrer do teste irão aparecer dois pontos em duas zonas distintas e opostas do ecrã que se movem a velocidades diferentes. É pedido ao indivíduo que indique qual dos dois pontos se move a maior velocidade, utilizando para o efeito uma caixa de respostas com dois botões. A velocidade vai variando ao longo do teste até que a diferença de velocidades entre os dois pontos seja imperceptível. Os dois estímulos pontuais localizam-se sobre um de quatro meridianos pré-definidos (horizontal, vertical, 45° e 135°) com uma excentricidade escolhida pelo utilizador. O movimento dos dois pontos faz-se dentro de uma área limitada do ecrã definida como abertura. A direcção do movimento é aleatória (ver Figura 1).



**Figura 1 – Esquema do paradigma de estimulação. Os dois estímulos pontuais são mostrados ao indivíduo num dos quatro eixos representados na figura, em posições opostas. Os estímulos movem-se dentro de uma área circular designada abertura.**

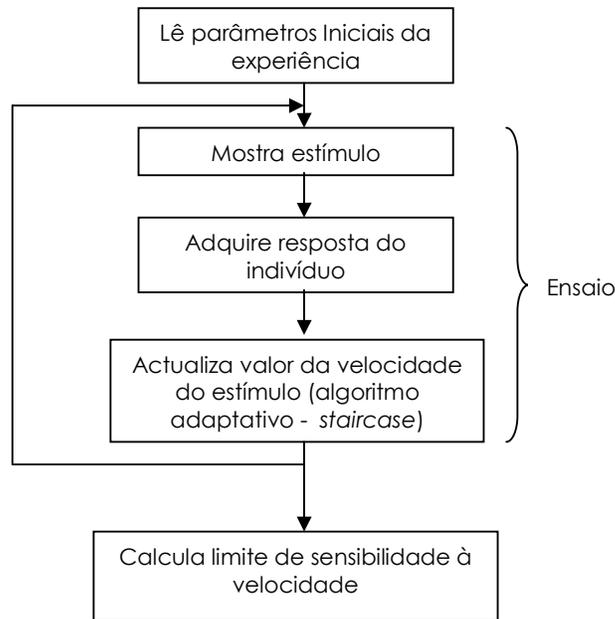
O teste é implementado de forma que no final da experiência tenham sido determinados, para esse indivíduo, os valores de sensibilidade à velocidade em várias zonas do campo visual.

A implementação desta tarefa deverá garantir o seguinte funcionamento. É definida uma velocidade de referência que será a velocidade fixa de um dos estímulos pontuais. A velocidade do outro estímulo pontual variará de acordo com as respostas do indivíduo da seguinte forma: a sua velocidade inicial deverá ser muito inferior à velocidade de referência. (valor dado como entrada pelo operador). Enquanto o indivíduo der uma resposta certa (indicar correctamente qual dos estímulos se move a maior velocidade) então aumenta-se a velocidade, aumentando o grau de dificuldade da resposta. Quando a resposta for incorrecta, a velocidade do estímulo variável diminui de novo, tornando a diferença entre as duas velocidades mais perceptível. O critério de variação da velocidade do estímulo com as respostas do indivíduo obedece a uma estrutura denominada *staircase* cujos parâmetros podem ser alterados pelo operador e que passaremos a descrever.

Numa experiência psicofísica como a que estamos a descrever, a uma sequência amostragem-aquisição de resposta chama-se ensaio. A *staircase* é o conjunto de regras que

define qual o valor da velocidade a apresentar em cada ensaio. Começa-se por estabelecer uma velocidade inicial, que como já referimos deve ser muito inferior à velocidade do estímulo de referência. Enquanto a resposta dada pelo utilizador for correcta, a velocidade do estímulo aumenta em um degrau preestabelecido. Após um número de respostas incorrectas seguidas (Falhas requeridas) a variação da velocidade é invertida (-degrau). A velocidade continuará a decrescer até que o indivíduo dê  $n$  respostas correctas seguidas (em que  $n$  = sucessos requeridos).

O teste termina depois de se dar o número de inversões definido nos parâmetros iniciais (número de inversões). A Figura 1 mostra um fluxograma da experiência que descrevemos.



**Figura 2 Esquema funcional da experiência psicofísica que se pretende implementar**

O valor de limite de sensibilidade é determinado pela média do valor da velocidade nas últimas inversões. O número de valores usados é também um parâmetro de entrada da estrutura.

A *staircase* limita também o valor máximo e mínimo de velocidades admissíveis num dado teste, bem como o número máximo de ensaios que este poderá ter.

O gráfico da figura mostra um exemplo de uma *staircase* onde foram feitos 17 ensaios em que o valor do estímulo varia em 10 degraus. Neste caso são necessárias duas respostas erradas seguidas para que haja uma inversão no sentido de facilitar a tarefa (ver primeira inversão) e o número de sucessos requeridos é apenas 1.

FE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
10																	
11																	
12												N					
13							N			<u>N</u>						N	
14						<u>N</u>		S		N					<u>N</u>		
15				S		S						<u>N</u>		S			
16			N										S				
17		S															
18	S																
19	S																

**Figura 3 – exemplo de algoritmo de staircase**

Este software será desenvolvido em linguagem de programação Matlab, com uma ferramenta específica para implementação de testes psicofísicos chamada Psychtoolbox.

O *setup* de experimentação consiste num PC com dois monitores, um para o operador e outro dedicado à interface com o indivíduo, onde serão mostrados os estímulos, assim como uma caixa de respostas.

# 3 Especificação de requisitos

## 3.1 Interfaces

### 3.1.1 Parâmetros de entrada:

Parâmetros do setup:

- 3.1.1.1 Comprimento do ecrã de estimulação (cm)
- 3.1.1.2 Largura do ecrã de estimulação (cm)
- 3.1.1.3 Distância do individuo ao ecrã de estimulação (cm)
- 3.1.1.4 Frame rate (Hz)
- 3.1.1.5 Resolução do ecrã: n<sup>o</sup>. píxeis no comprimento
- 3.1.1.6 Resolução do ecrã: n<sup>o</sup>. píxeis na Largura

Características do ponto de fixação

- 3.1.1.7 Localização em x (graus)
- 3.1.1.8 Localização em y (graus)
- 3.1.1.9 Largura (graus)
- 3.1.1.10 Comprimento (graus)
- 3.1.1.11 Espessura (píxeis)
- 3.1.1.12 Cor (RGB)

Parâmetros da tarefa:

- 3.1.1.13 Localização do ponto: Posição em x (mm e/ou graus)
- 3.1.1.14 Localização do ponto: Posição em y (mm e/ou graus)
- 3.1.1.15 Tamanho: n<sup>o</sup>. píxeis em x
- 3.1.1.16 Tamanho: n<sup>o</sup>. píxeis em y
- 3.1.1.17 Abertura – área circular em que o ponto se desloca (graus)
- 3.1.1.18 Velocidade do estímulo de referência (graus/s)
- 3.1.1.19 Tempo de estimulação (s)

Parâmetros da “staircase”:

- 3.1.1.20 Valor mínimo de velocidade (graus/s)
- 3.1.1.21 Valor máximo de velocidade (graus/s)
- 3.1.1.22 Número máximo de ensaios
- 3.1.1.23 Valor inicial da velocidade do estímulo variável (graus/s)
- 3.1.1.24 Sucessos requeridos para que haja inversão
- 3.1.1.25 Falhas requeridas para que haja inversão

- 3.1.1.26 Número de inversões – condição de paragem da *staircase*
- 3.1.1.27 Número de inversões usadas no cálculo do limiar final
- 3.1.1.28 Tamanho do degrau (dB)

Dados pessoais do indivíduo a quem é aplicado o teste:

- 3.1.1.29 Código de identificação
- 3.1.1.30 Nome
- 3.1.1.31 Data Nascimento
- 3.1.1.32 Sexo
- 3.1.1.33 Grupo (controlo, glaucoma, Hipertensão Ocular, Parkinson, Corpus Lewis )
- 3.1.1.34 Contacto (Número de telefone)
- 3.1.1.35 Anos de escolaridade

Interface com o indivíduo

- 3.1.1.36 Resposta (Botão de uma caixa de respostas - direita/esquerda)
- 3.1.2 Parâmetros de saída:

O resultado de cada teste deve ter a seguinte informação:

- 3.1.2.1 Nome do Operador que aplicou o teste
- 3.1.2.2 Data de realização do exame
- 3.1.2.3 Hora de realização do exame
- 3.1.2.4 Duração do exame
- 3.1.2.5 Valor de limite de sensibilidade à velocidade
- 3.1.2.6 Gráfico da evolução da *staircase*

## 3.2 Requisitos funcionais do software

O programa deverá permitir executar cada uma das seguintes acções:

### 3.2.1 Executar teste

A principal função deste programa é determinar o valor de limite de sensibilidade à velocidade para um indivíduo. A interface com operador deve permitir escolher os parâmetros de entrada da tarefa e executar o teste de uma forma simples, clara e rápida.

### 3.2.2 Guardar resultado

O resultado de cada teste executado com este software deve poder ser guardado para posteriormente ser visualizado ou exportado. O armazenamento dos testes deverá ser guardado numa base de dados para esse fim. A informação a guardar são os parâmetros de entrada da tarefa, dados pessoais do indivíduo e o valor de limite de sensibilidade à velocidade determinado.

### 3.2.3 Visualizar resultado

Os testes guardados na base de dados, referentes a testes anteriormente efectuados e guardados, devem estar disponíveis na interface do Operador.

### 3.2.4 Imprimir relatório

O Operador deve ter possibilidade de imprimir um relatório com um resumo da informação relativa a um teste. Esse relatório deve ter informação acerca dos parâmetros da tarefa usados e qual o valor de limite de sensibilidade à velocidade calculado. Além disso o relatório poderá ou não mostrar a curva de tendência gerada pela staircase.

### 3.2.5 Exportar resultado de testes anteriormente realizados

Deve ser possível exportar os dados de um teste armazenado na base de dados num formato standard que permita abri-los numa folha de cálculo ou software específico para análise estatística (formato Excel ou ficheiro de texto com dados delimitados por TAB, por exemplo).

### 3.2.6 Alterar parâmetros

A interface com o Operador deve permitir alterar todos os parâmetros definidos nas secções 3.1.1 e 3.3

### 3.2.7 Guardar conjunto de parâmetros

Deve ser possível ao operador guardar um conjunto de parâmetros da tarefa e da *staircase*, permitindo assim realizar exactamente a mesma tarefa a um grupo de indivíduos, em momentos diferentes. Cada conjunto de parâmetros deverá ser guardado com um nome escolhido pelo Operador e guardado num ficheiro específico para esse fim.

## 3.3 Performance – *Missing frames*

O programa deverá ser capaz de detectar falhas na amostragem das imagens (*missed frames*) e permitir mostra-las novamente e/ou enviar uma mensagem de aviso ao operador. Para isso o sistema terá os seguintes parâmetros de entrada

### 3.3.1 Re-do missed frames (enable/disable)

### 3.3.2 Warn missed frames (enable/disable)