NICOLA BLOISE

Investigação da possibilidade de correlação dos potenciais transcutâneos visuais evocados com o alcance do campo da vista humana.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pos-Graduação Interunidades em Bioengenharia (Escola de Engenharia de São Carlos, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto e Instituto de Química de São Carlos) da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Bioengenharia.

Área de Concentração: Bioengenharia

Orientador:

Prof. Dr. Orivaldo Lopes da Silva

São Carlos SP

2008

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

B652i Bloise, Nicola
Investigação da possibilidade de correlação dos potenciais transcutâneos visuais evocados com o alcance do campo da vista humana / Nicola Bloise ; orientador Orivaldo Lopes da Silva. -- São Carlos, 2008.

Dissertação (Mestrado-Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração Interunidades em Bioengenharia) -- Escola de Engenharia de São Carlos, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto e Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2008.

1. Visão. 2. Campo visual. 3. PVE. 4. Campimetria. I. Título.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho

Ao SENHOR de todas as coisas, o Inefável Arquiteto dos Mundos, que me dotou de inata curiosidade para olhar e ver as maravilhas da criação.

Às montanhas onde nasci pela lição de humildade e grandeza que infundiram em meu coração.

À memória de meus pais por me ter forjado ser humano.

À minha Esposa

Ao meu orientador Dr. Orivaldo Lopes da Silva que fraternalmente acreditou em minha capacidade de realização.

AGRADECIMENTOS

À Vida que me deu oportunidade de poder manifestar minha vontade de compreender nem que sejam apenas alguns significados da existência.

Ao meu orientador Prof. Dr. Orivaldo Lopes da Silva que teve paciência comigo mesmo quando as coisas aparentemente andavam mais lentamente.

Aos Professores Dr. Nivaldo Parizotto e ao Dr. Jose Marcos Alves que participaram da banca de minha qualificação, pelas preciosas sugestões e arguições com que me brindaram.

Aos meus familiares, pai, mãe, esposa, irmão, cunhadas, sogra, sobrinho, o gato Frederico e o cachorro Lobo, que me proporcionaram um ambiente movimentado.

À minha querida amiga Ana Elisa Serafim Jorge , voluntária que se submeteu ao sacrifício de ajudar-me e servir de cobaia, me proporcionando a possibilidade de coletar os dados.

À Secretária da Bioengenharia Sra. Janete Ferreira Rodrigues dos Santos, pelo carinho e apoio que sempre me proporcionou.

Ao meu fraterno amigo Jesulino B. Dos Santos pelo estímulo e incentivo ao estudo na área de Bioengenharia.

Ao meu amigo Alexandre Barros por não me deixar na mão na hora do aperto, ao realizar o VI (Virtual Instrument) com o Programa LabView da NI, para efetuar a aquisição dos dados.

A Marcelo Manuel Oliveira pelo apoio na realização de alguns aparatos da parte eletrônica do arranjo experimental.

Aos funcionários do Programa de Pos-Graduação Interunidades Bioengenharia - USP pela acolhida.

À USP que me acolheu em seu Campus de São Carlos onde pude realizar um de meus sonhos.

**“SEPARABIS
TERRAM AB
IGNE,
SUBTILE A
SPISSO,
SUAVITER,
CUM MAGNO
INGENIO”.**

**Hermes Trimegisto
(Tabula Smeragdina)**

BLOISE, N. ***Investigação da possibilidade de correlação dos potenciais transcutâneos visuais evocados com o alcance do campo da vista humana.*** 2008. 83f. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pos-Graduação Interunidades em Bioengenharia – Escola de Engenharia de São Carlos/ Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto / Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos 2008.

RESUMO

Este trabalho descreve o desenvolvimento de um instrumento automático para medida de campo visual do olho humano, baseado na ocorrência de potenciais visuais evocados. O principal objetivo do estudo foi demonstrar que os potenciais visuais evocados (P100) observados na região occipital podem ser correlacionados à visão de flashes de fontes luminosas pontuais distribuídas sobre uma calota com a forma de um elipsóide deformado. Aplicou-se ao domo hemisférico uma distribuição de fontes luminosas pontuais que descrevem a forma do campo visual humano (limitado a 60° acima, 70° abaixo do eixo central, limitado a 60° no lado nasal e 105° no lado temporal de cada olho). A ausência de potenciais visuais evocados por flashes luminosos é utilizada como indicador de perda da sensibilidade da retina. Detalhes do desenvolvimento deste instrumento e os resultados preliminares são apresentados.

Palavras-chave: Campimetria, Campo visual, PVE, Visão.

BLOISE, N. ***Inquiry about the possibility of correlation among the visual transcutaneous evoked visual potentials and the reach of the human visual field.*** 2008. 83f. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pos-Graduação Interunidades em Bioengenharia – Escola de Engenharia de São Carlos/ Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto / Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos 2008.

ABSTRACT

An instrument for automatic in vivo evaluation of the human visual field boundaries based on the evoked visual potentials was developed. The main objective of this study is to demonstrate that evoked potentials (P100) over the occipital area can be correlated to the vision of punctual light flashes from a deformed ellipsoid-shaped calotte. A punctual light sources distribution that follows the human visual field (boundaries lying 60° upward, 70° downward from the central axis, limited to 60° in the nasal side and 105° on the temple side of each eye) was applied to the hemispherical dome. The absences of light flashes evoked potentials are used as an indicator of lack the sensivity of the retina. The details of the development of this instrument and preliminary results for in vivo eyes are presented.

Keywords: Campimetry, Visual field, EVP, Vision.

Lista de Tabelas

2.1	Valores de índices de refração de alguns meios materiais	16
2.2	Valores de índices de refração de um cristal tipo Flint para diferentes luzes monocromáticas	17
2.3	Índices de refração das partes óticas constituintes do olho Humano	20
6.1	Coordenadas angulares da posição dos LEDs	50
6.2	Sequência de a_{11} até a_{77} de linha após linha	63

Lista de Figuras

2.1 Exemplo de refração	16
2.2 Índice de refração	19
2.3 Esquema da anatomia do olho humano	20
2.4 Trajetória de raio luminoso no olho humano	21
3.1 Anatomia do Globo ocular	24
3.2 Esquema geral da córnea	25
3.3 Esquema geral da retina	27
3.4 Distribuição de cones e bastonetes	27
3.5 Estrutura da retina	28
3.6 Esquema do sistema visual	29
3.7 Campo visual médio	30
4.1 Diagrama do Sistema Internacional 10 – 20	32
4.2 Diagrama de onda sinusoidal típica	33
4.3 Gráfico de um EEG	34
4.4 Eixos oculares	37
4.5 Variação da acuidade visual por região da fóvea	38
4.6 Variação da resolução visual com o contraste da cena	38
4.7 Variação da acuidade visual com o brilho da cena e a abertura pupilar	38
4.8 Resposta espectral do olho	39
5.1 Os pontos Fz, Pz, O1 e O2 do SI 10-20 assinalados na figura, são as pontos escolhidos para a colocação dos eletrodos.	41
6.1 Ângulo visual em relação à linha do horizonte	43
6.2 Ângulo visual em relação ao meridiano	43
6.3 Alcance angular do Campo Visual humano	44
6.4 Representação da limitação do Campo Visual humano	45
6.5 Octantes	46
6.6 Cúpola ou Calota	47

6.7 Matriz quadrada 7x7 dos pontos luminosos	48
6.8 Transformação da matriz quadrada 7x7 sobre elipsóides	48
6.9 Adaptação das linhas (em vermelho) e colunas (em azul) da matriz quadrada 7x7 dos pontos luminosos em uma matriz sobre linhas elipsóides.	49
6.10 Diagrama de exemplo das coordenadas da posição dos LEDs.	51
6.11 Diagrama do arranjo mecânico	52
6.12 Representação dos picos standards	53
6.13 Diagrama do arranjo experimental	54
6.14 Cúpola ou calota com horizonte e meridiano	54
6.15 Posicionamento da web-cam	55
6.16 Diagrama do dispositivo de alojamento dos LEDs	55
6.17 Escalpo	56
6.18 Eletrodos	56
6.19 Diagrama da interface de acionamento dos LEDs	58
6.20 Placa Pré-amplificador e circuito equivalente INA 128	58
6.21 Placa e circuito equivalente OPA 177	59
6.22 Diagrama Terminal do cabo da DAQ	60
6.23 Diagrama de uma DAQ	61
6.24 Diagrama Plataforma de tratamento dos dados	62
7.1 Vista lateral do arranjo mecânico	65
7.2 Vista frontal do arranjo mecânico	65
7.3 Vista do suporte móvel do arranjo mecânico	66
7.4 Vista frontal da cúpola com apoios da frente e do queixo	66
7.5 Vista da furação da calota com a inserção do suporte dos LEDs	67
7.6 Conexão dos elementos da Matriz	67
7.7 Cabo de interconexão da Matriz	68
7.8 Pré-amplificador	68
7.9 Blindagem do pré-amplificador	69
7.10 Amplificador	69
7.11 Blindagem amplificador	69

7.12 Cabos de conexão	70
7.13 Interface de controle da Matriz	70
7.14 DAQ NIPCI6221	71
7.15 Terminal	71
7.16 Diagrama da parte do Vi responsável pelo comando de acendimento dos LEDs	72
7.17 Diagrama da parte do Vi responsável pela aquisição e armazenamento dos dados.	72
7.18 Tela de apresentação do VI	73
7.19 Matriz 7x7 dos resultados da análise, referentes ao Flash de cada LED da posição A11 ate A77 da Matriz dos LEDs na Cúpula, na posição O1 no escalpo.	74
7.20 Gráfico dos sinais obtidos em O1 e dos sinais de ruído de fundo, na posição A ₁₃	75
7.21 Gráfico dos sinais obtidos em O1 e dos sinais de ruído de fundo, na posição A ₃₁	75
7.22 Gráfico dos sinais obtidos em O1 e dos sinais de ruído de fundo, na posição A ₇₄	75
7.23 Matriz 7x7 dos resultados da análise, referentes ao Flash de cada LED da posição A11 ate A77 da Matriz dos LEDs na Cúpula, na posição O2 no escalpo.	76
7.24 Gráfico dos sinais obtidos em O2 e dos sinais de ruído de fundo, na posição A ₃₂	77
7.25 Gráfico dos sinais obtidos em O2 e dos sinais de ruído de fundo, na posição A ₅₄	77
7.26 Gráfico dos sinais obtidos em O2 e dos sinais de ruído de fundo, na posição A ₅₄	78
7.27 Fixação dos eletrodos de aquisição dos dados no escalpo da voluntária.	79
7.28 Posição da cabeça da voluntária durante o ensaio.	79
7.29 Posição da câmara.	80

SUMÁRIO

Lista de Tabelas

Lista de Figuras

Resumo

1 Introdução	14
2 Fundamentos de Óptica Geométrica	15
2.1 Introdução	15
2.2 Raio luminoso	15
2.3 Dióptro	15
2.4 Refração	16
2.4.1 Índice de refração absoluto e relativo.	16
2.4.1.1 Obtenção dos índices relativos.	17
2.5 Lei de Snellius – Descartes	18
2.5 Diagrama óptico do olho humano.	20
2.5.1 Os índices de refração relativos dos meios ópticos dos componentes dos olhos humanos	20
3 O Sentido da Visão	23
3.1 Introdução	23
3.2 Anatomia do Sistema Visual	24
3.2.1 Globo ocular	24
3.2.1.1 Córnea	25
3.2.1.2 Humor Aquoso	25
3.2.1.3 Cristalino	26
3.2.1.4 Humor Vítreo	26
3.2.1.5 Retina	26
3.2.2 Percurso do sinal	28
3.3 Campo Visual	30
4 Potenciais evocados	31
4.1 Histórico	31
4.1.1 EEG Eletroencefalograma	32
4.2.1 Eletrodos	32
4.2.2 Apresentação gráfica de EEG	33

4.3 Definição de Potenciais Evocados	35
4.3.1 Classificação dos Potenciais Evocados	35
4.3.2 Filtros	35
4.4 Estrutura óptica do Olho Humano	36
4.4.1 Eixo óptico e Eixo Visual	36
4.4.2 Acuidade Visual	37
4.4.3 Adaptação e Sensibilidade	39
5 - Potenciais Visuais Evocados (VEPs)	40
5.1 VEPs	40
5.1.1 Natureza dos VEPs	40
5.2 Registro dos VEPs	40
5.3 VEPs objetos do estudo	41
6 – Materiais e Métodos	42
6.1 Introdução	42
6.2 Campo Visual	42
6.2.1 Vista Lateral	43
6.2.2 Vista em Planta	43
6.2.3 Vista tridimensional	44
6.2.4 Limitação da Borda do Campo Visual	45
6.2.5 Correspondência de coordenadas angulares	45
6.3 Simulação do Campo Visual	46
6.5.1 Construção da calota	46
6.5.1.1 Obtenção dos pontos luminosos	47
6.5.1.2 Disposição dos LEDs	47
6.5.1.3 Adaptação da Matriz 7x7	48
6.6 Construção da Estrutura de sustentação da Calota	51
6.7 Aquisição de dados	52
6.7.1 Diagrama do arranjo experimental	53
6.7.1.1 Calota semi-esférica	54
6.7.1.2 Câmara digital	55
6.7.1.3 LEDs	55
6.7.1.4 Escalpo	56
6.7.1.5 Fz eletrodo de referência	56

6.7.1.6 Eletrodo Rz (Posição PZ)	57
6.7.1.7 Eletrodo Occipital na posição O1	57
6.7.1.8 Eletrodo Occipital na posição O2	57
6.7.1.9 Interface de acionamento dos LEDs	57
6.7.1.10 Pré-amplificador do Sinal de O1,O2 e Rz	58
6.7.1.11 Amplificador	59
6.7.1.12 Terminal do cabo da DAQ	59
6.7.1.13 DAQ da NI National Instruments	60
6.7.1.14 Plataforma de tratamento dos dados	61
6.8 Sequência de disparo e aquisição de dados	62
6.8.1 Ajuste da posição do olho	62
6.8.2 Disparo da sequência de acendimento dos LEDs	62
6.8.3 Registro do estímulo	63
6.8.3.1 Canais	64
6.8.3.1.1 Tratamento	64
6.8.3.2 Interpretação	64
7 Resultados	65
7.1 Construção do arranjo mecânico	65
7.2 Construção da cúpola	66
7.2.1 Furação cúpola para alojamento dos LEDs	67
7.2.2 Interligação dos LEDs	67
7.2.3 Cabo de interconexão da Matriz	67
7.3 Construção dos pré-amplificadores	68
7.4 Construção do amplificador	69
7.5 Cabos de conexão	70
7.6 Construção da interface	70
7.7 Aquisição da DAQ	70
7.8 Aquisição do terminal	71
7.9 Aquisição do software	71
7.9.1 VI (Virtual Instrument)	71
7.10 Dados obtidos	73
7.10.1 Parâmetros da sequência de FLASHS	73
7.10.2 Análise dos Dados obtidos	73

7.10.3 Resultado da análise dos dados	74
7.10.4 - Resultados obtidos	80
8 Conclusões	81
8.1 Proposta para o futuro	81

Introdução

O cérebro humano responde a qualquer estímulo, específico e deliberado, com uma descarga eletroquímica síncrona por parte de uma população de neurônios associados ao órgão ativado, ou parte dele. Os potenciais associados a essas descargas, chamados potenciais evocados, PEs, podem ser detectados e registrados com eletrodos adaptados ao escalpo e conectados a um equipamento apropriado. Entre o estímulo e o aparecimento da variação de potencial característica associada, se verifica um tempo de latência chamada de curta se não ultrapassar 100ms, caso dos PEs associados a estímulo visuais. São verificadas outras flutuações de potencial associadas aos processos neurofisiológicos e oriundos de zonas outras que não as associadas à visão que representa nosso interesse. Essas flutuações são o pano de fundo, ou melhor, dizendo, o ruído de fundo, que serve de base e sobre o qual deve se destacar a flutuação associada ao estímulo específico. Para evidenciar os picos associados ao estímulo podem ser usados filtros e amplificadores lineares apropriados e técnicas de manejo da relação sinal/ruído, de modo a ressaltar o sinal específico e transformá-lo em uma informação capaz de servir de marcador ao processo de levantamento do campo visual. Utilizando 4 (quatro) eletrodos aplicados em regiões específicas, usando um de referência, dois associados cada um à lateralidade da região occipital e o quarto para aquisição do sinal de ruído de fundo, se pretende conseguir um método eficaz de registro objetivo do estímulo visual associado à flutuação do potencial evocado. (Kohn A.F et al, 2000)

Objetivo

Investigar experimentalmente a validade do uso da existência de picos de potenciais transcutâneos visuais evocados e transitórios, usualmente denominados T-VEP, que aparecem no córtex estriado de um cérebro humano, na cissura calcarina, após um tempo de latência de cerca de 100ms após o estímulo desencadeado por um feixe luminoso transitório, que atinge a retina dos olhos. Estas ondas de potencial transcutâneo são denominadas P100. Estes T-VEP são captados por eletrodos localizados no escalpo, segundo o Sistema Internacional 10--20, e registrados em um equipamento específico seguindo assim uma técnica não invasiva.

Justificativa

A motivação deste trabalho se deve à possibilidade de utilizar meio não invasivo e eficaz para permitir exame de alcance do campo visual humano de forma objetiva e com certa velocidade compatível ao conforto do paciente, tendo em vista que atualmente se requer um tempo relativamente longo de fixação do olhar do paciente, em ponto assinalado do espaço em frente à face. Outrossim, os métodos atuais requerem participação ativa do paciente, bem como sua atenção concentrada por longo período de tempo, o que causa desconforto e possibilita um levantamento do campo visual inexato.

2 Fundamentos de Óptica Geométrica

2.1 Introdução

Chamamos de luz uma pequena parte do espectro da radiação eletromagnética com frequências situadas entre $3,84 \times 10^{14}$ e $7,69 \times 10^{14}$ Hz que, ao ser absorvida pelas células fotossensíveis do olho presentes na retina, nos traz as sensações de claridade e de cor, sendo que a cada frequência se associa uma cor determinada, indo do violeta para a frequência mais alta, ao vermelho para a mais baixa. Em primeira aproximação, devido a que as dimensões envolvidas são muito maiores que o comprimento de onda da luz no estudo proposto, podemos expressar as leis da óptica usando uma linguagem puramente geométrica, sem prejuízo dos resultados a serem obtidos. A este ramo da óptica, que se caracteriza por não levar em consideração o comprimento de onda da luz, denominamos Óptica Geométrica.

2.2 Raio luminoso

A um feixe estreito de radiação que segue a mesma trajetória denominamos raio luminoso. Consideramos que o feixe segue a mesma trajetória se a divergência do feixe for desprezível em relação às dimensões envolvidas no contexto que considera este feixe. Este conceito nos permite o tratamento geométrico das trajetórias dos raios e suas modificações.

2.3 Dióptro

A radiação luminosa pode se propagar através de vários meios (materiais) e ela transparentes, inclusive no vácuo. A velocidade de propagação da luz através do meio é característica de cada material. Uma superfície que separa dois meios distintos é chamada dióptro e, dependendo de sua geometria, altera a trajetória de um raio luminoso ao passar de um meio transparente a outro com velocidade de propagação distinta.

2.4 Refração

Ao desvio de trajetória que um raio luminoso sofre ao atravessar um dióptro entre meios distintos, chamamos de refração e à relação entre as velocidades de propagação da luz características dos meios, chamamos de índice de refração (n) entre um meio e outro.

Figura 2.1 Exemplo de refração.

2.4.1 Índice de refração absoluto e relativo.

Quando um dos meios que formam o dióptro for o vácuo, o índice de refração entre eles é chamado absoluto e quando não, de índice de refração relativo. O índice usual é um índice de refração médio, pois as velocidades consideradas na sua determinação são uma média das velocidades das várias cores que compõem um raio luminoso, pois que cada cor transita com uma velocidade distinta.

A seguir uma tabela de índices de refração absolutos de alguns meios:

Tabela 2.1 Valores de índices de refração de
alguns meios materiais

Meio material	Índice de refração (n)
Ar	1,00
Água	1,33
Vidro	1,50
Glicerina	1,90
Álcool Etilico	1,36
Diamante	2,42
Acrílico	1,49

O índice de refração absoluto de um raio luminoso monocromático (de uma mesma cor) através de um cristal, é mostrado na tabela a seguir:

Tabela 2.2 Valores de índices de refração de um Cristal tipo Flint para diferentes luzes monocromáticas.

Luz monocromática	Índice de refração (η) do cristal
Violeta	1,94
Azul	1,60
Verde	1,44
Amarela	1,35
Alaranjada	1,30
Vermelha	1,26

2.4.1.1 Obtenção dos índices relativos.

Consideremos dois meios distintos 1 e 2 e v_1 e v_2 as velocidades de propagação da luz através da cada meio, c é a velocidade de propagação da luz no vácuo. Os índices absolutos são:

$$\eta_1 = \frac{c}{v_1} \quad 2.1$$

$$v_1 = \frac{c}{\eta_1} \quad 2.2$$

$$\eta_2 = \frac{c}{v_2} \quad 2.3$$

$$v_2 = \frac{c}{\eta_2} \quad 2.4$$

De 2.2 e 2.4 inferimos que entre os meios 1 e 2 temos:

$$\eta_{1,2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\frac{c}{\eta_1}}{\frac{c}{\eta_2}} = \frac{c \eta_2}{c \eta_1} = \frac{\eta_2}{\eta_1} \quad 2.5$$

Sendo então o índice de refração relativo entre os meios 1 e 2:

$$\boxed{\eta_{1,2} = \frac{\eta_2}{\eta_1}}$$

2.5 Lei de Snellius – Descartes

As leis que regem o fenômeno da refração foram estudadas independentemente pelo holandês Willebröd Snell (1580 -1626), professor na Universidade de Leiden, que publicou seus estudos em 1703, mesmo tendo feito a descoberta em 1621 e pelo francês René Descartes (1596-1650), filósofo, cientista e matemático, algumas vezes chamado "o pai da filosofia moderna" (Rev. Bras. Ens. Fis. 2006)

O enunciado da lei de Snellius – Descartes nos diz:

A razão entre o seno do ângulo de incidência (α) e o seno do ângulo de refração (β) é constante, e esta constante é igual ao índice de refração relativo η_{21} , para um dado comprimento de onda.

$$\eta_{21} = \frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen } \beta} = \frac{\eta_2}{\eta_1} \quad 2.6$$

onde conforme diagrama da Fig 2.1:

α ângulo de incidência (ângulo que o raio incidente faz com a normal N)

β ângulo de refração (ângulo que o raio refratado faz com a normal N)

η_{21} índice de refração relativo

η_2 índice de refração do meio 2

η_1 índice de refração do meio 1

Fig. 2.2 N é a normal ao dióptro pelo ponto de contato dos raios luminosos; a e b são reios luminosos oriundos de uma mesma fonte, paralelos e próximos; A e B são os pontos de contato dos raios luminosos a e b com o Dióptro; A' é o ponto geometricamente correspondente ao ponto de contato A e B' ao ponto de contato B; α é o ângulo de incidência dos raios luminosos em relação à normal N e β o ângulo de emergência; o Dióptro separa os meios 1 e 2; η_1 e η_2 são os índices de refração dos meios 1 e 2.

O trânsito, durante o movimento dos raios luminosos a e b, do ponto A' ao ponto B e do ponto A ao ponto B' é síncrono, e, se dá durante um tempo t, inferimos que:

$$\overline{A'B} = v_1 t \quad 2.7$$

v_1 é a velocidade de trânsito do raio luminoso no meio 1

$$\overline{AB'} = v_2 t \quad 2.8$$

v_2 é a velocidade de trânsito do raio luminoso no meio 2

$$\text{sen} \alpha = \frac{v_1 t}{\overline{AB}} \quad 2.9$$

$$\text{sen} \beta = \frac{v_2 t}{\overline{AB}} \quad 2.10$$

$$\frac{\text{sen} \alpha}{\text{sen} \beta} = \frac{\frac{v_1 t}{\overline{AB}}}{\frac{v_2 t}{\overline{AB}}} = \frac{v_1 \overline{AB}}{v_2 \overline{AB}} = \frac{v_1}{v_2} \quad 2.11$$

De 2.2 e 2.4 inferimos que

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\frac{c}{\eta_1}}{\frac{c}{\eta_2}} = \frac{\eta_2 c}{\eta_1 c} = \frac{\eta_2}{\eta_1} \quad 2.12$$

$$\boxed{\frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen } \beta} = \frac{\eta_2}{\eta_1}} \quad 2.13$$

Podemos inferir deste enunciado que com uma geometria apropriada se pode dirigir os raios luminosos que atravessam um dióptro para posições convenientes às necessidades e as imagens formadas serem conforme as exigências.

2.5 Diagrama óptico do olho humano.

Fig.2.3 Esquema da anatomia do olho humano com seus componentes ópticos principais

2.5.1 Os índices de refração relativos dos meios ópticos dos componentes dos olhos humanos são os seguintes:

Tabela 2.3 - Índices de refração das partes ópticas constituintes do olho humano.

Componente Óptico	Índice de Refração
Córnea	1.376
Humor Aquoso	1.336
Humor vítreo	1.336
Cristalino	1.406

2.6 Usando o conceito de Snellius_Descartes e dos Dióptros, podemos verificar os subseqüentes desvios de trajetória de um raio luminoso que atinge a córnea do olho humano, partindo do ponto A e que transita através dos vários meios até atingir a retina no ponto A', conforme diagrama na Figura 2.3:

Fig. 2.4 Trajetória de raio luminoso no olho humano: A é a origem do raio luminoso; N1 normal à superfície externa da córnea; N2 normal à superfície interna da córnea; N3 normal à superfície externa do cristalino; N4 normal à superfície interna do cristalino; A' imagem do ponto A formada na retina.

O raio luminoso sofre um desvio ao cruzar o dióptro formado pela superfície externa da córnea entre a mesma e o ar externo, sofre um novo desvio ao cruzar o dióptro formado pela superfície interna da córnea entre a mesma e o humor aquoso, um outro desvio ainda ao cruzar o dióptro formado pela superfície externa do cristalino entre o mesmo e o humor aquoso e um último desvio ao cruzar o dióptro formado pela superfície interna do cristalino entre o mesmo e o humor vítreo (não consideramos aqui a trajetória no interior do cristalino onde a mesma sofre mudanças devido à estrutura em folhas do cristalino e no todo podem ser representadas pela mudança total ocasionada pelo índice de refração indicado). Assim, qualquer fonte pontual de luz que se encontre no âmbito do campo visual do olho, terá imagens

correspondentes formadas sobre a retina, com coordenadas polares associadas simétricas.

O Sentido da Visão

3.1 Introdução

Dando voz a Sócrates e a Glauco, personagens de um dos diálogos, Platão constrói um arrazoado onde sustenta que “... o demiurgo, que fez os sentidos, modelou com muito mais esmero a faculdade de ver e de ser visto”. Ele diz: “o sentido da visão e a faculdade de ser visto estão ligados por um laço de uma espécie bem mais preciosa do que todos os outros sentidos”. Fica claro que Platão associa a visão diretamente à luz e que seria o órgão do conhecimento, e a coloca um patamar acima dos outros sentidos (PLATÃO, 2002,). Notamos que a preocupação com o sentido da visão e o organismo que a proporciona, é antiga e se propaga ao longo dos tempos. Também Leonardo da Vinci 1452-1519 andou estudando o assunto, mais fácil seria perguntar-se o que ele não estudou, e poeticamente diz: “... Que povos, que línguas poderão descrever completamente sua função! O olho é a janela do corpo humano pela qual ele abre os caminhos e se deleita com a beleza do mundo. O olho mede a distância e o tamanho das estrelas; encontra os elementos e suas localizações; ele... deu origem à arquitetura, à perspectiva, e à divina arte da pintura” (Da Vinci, 1503). O sentido da visão nos proporciona, naturalmente, a integração da consciência com o espaço e dimensões ao redor e para realizar o feito não há um organismo isolado para realizá-lo, nele se nota a intervenção de uma plêiade de organismos e mecanismos até a tomada de consciência da imagem externa e sua significância.

A percepção do mundo que nos cerca por parte do ser humano, como eventos visuais, não depende apenas do como e do quando, nem do quanto desse mundo, ela também depende da natureza das imagens formadas pelos olhos e da interpretação delas por parte do cérebro deste ser humano.

Este processo, denominado visão, é formado por uma complexa sequência de eventos que unem o fato que o desencadeia à tomada de consciência dele por nossa parte.

O que dispara o processo é um delicado e versátil instrumento óptico capaz de formar imagens, controlar o fluxo de luz que com ele interage e se movimenta para visar o objeto de interesse, o olho.

3.2 Anatomia do Sistema Visual

3.2.1 Globo ocular

A luz interage com o sistema visual através do globo ocular que apresenta uma estrutura de interfaceamento entre a fonte dos fótons e o cérebro(Nappi M. **“Elementi di Percezione Visuale”**, Dipartimento di Matematica e Informatica Università degli Studi di Salerno), dando formato de sinais elétricos à imagem formada em sua estrutura. O olho anatomicamente apresenta uma estrutura conforme a Fig 3.1

Fig. 3.1 Anatomia do Globo ocular (adaptado de RDC, 1988 e Kolb et al., 1996)

Os meios ópticos do olho são a córnea, o humor aquoso, o cristalino e o humor vítreo, a retina é a estrutura que transforma a imagem que sobre ela se forma em sinais elétricos.

3.2.1.1 Córnea

A córnea, situada no pólo anterior do globo ocular, ocupa aproximadamente 16,5% da superfície do globo ocular, tem uma espessura entre 400 μm e 700 μm , apresenta seu vértice mais fino que as bordas e sua estrutura apresenta várias camadas distintas como mostra a Figura 3.2, sendo:

1. O Epitélio, com espessura entre 39 μm e 45 μm , serve de capa protetora da córnea contra moléculas de grande porte, água e as substâncias tóxicas.
2. A Membrana de Bowman é formada principalmente por fibrilas de colágeno e tem espessura entre 8 μm e 14 μm .
3. O Estroma se apresenta como o tecido mais espesso com 500 μm ocupando 90% da córnea.
4. A Membrana de Decemet é uma fina e forte camada de fibras de colágeno, ela age como uma barreira protetora da córnea contra infecções e ferimentos
5. O Endotélio é uma camada de células hexagonais com espessura média de 6 μm e funge de membrana reguladora das trocas entre o humor aquoso e a córnea.

Figura 3.2: Esquema geral da córnea (Dos Santos J.B.. Dissertação de Mestrado EESC/USP, 2004)

3.2.1.2 Humor Aquoso

O humor aquoso é um líquido transparente, composto de sais e proteínas como globulinas e albumina, que preenche a câmara anterior do olho (Dos Santos J.B., 2004).

3.2.1.3 Cristalino

Os tecidos do cristalino não apresentam vascularização e são transparente, esses tecidos apresentam diferentes índices de refração e são contidos em uma cápsula elástica, que é ligada indiretamente ao músculo ciliar e desempenha importante papel no processo de acomodação. A contração ou expansão deste músculo altera o perfil do cristalino que por sua vez altera o seu poder refrativo (Dos Santos J.B., 2004).

3.2.1.4 Humor Vítreo

O humor vítreo é formado por um gel transparente que preenche a câmara posterior do olho e é composto principalmente de água com 98% a 99, 7% sais e proteínas solúveis. O compõem também proteínas fibrosas, principalmente colágeno, que formam sua estrutura (Dos Santos J.B., 2004).

3.2.1.5 Retina

A retina é uma membrana transparente fortemente vascularizada e com ramificações nervosas que tem papel no interfaceamento entre a imagem e o cérebro. Se apresenta numa espessura que varia de 50 μm - na fóvea - a 600 μm na região próxima à papila e grosso modo se notam, para fins didáticos, 10 camadas tendo cada uma delas funções ópticas e biológicas distintas (Figura 3.3) São elas:

1. Epitélio pigmentado
2. Camada de fotorreceptores
3. Membranas limitadoras externas
4. Membranas limitadoras internas
5. Camada nuclear externa
6. Camada nuclear interna
7. Camada Plexiforme externa
8. Camada Plexiforme Interna
9. Camada de células ganglionares
10. Camada de fibras nervosas

(Dos Santos J.B., 2004).

Figura 3.3 Esquema geral da retina (Dos Santos J.B.. Dissertação de Mestrado EESC/USP, 2004)

Figura 3.4: Distribuição de cones e bastonetes (Dos Santos J.B.. Dissertação de Mestrado EESC/USP, 2004)

A luz que atravessa o meio transparente constituído pela córnea, humor aquoso, cristalino e humor vítreo, atinge a retina e dela é transmitida sob a forma de sinal eletroquímico para o córtex por feixes de axônios que formam o nervo óptico. Após a detecção da luz, os foto-receptores transmitem a informação aos neurônios adjacentes, que realizam um pré-processamento da imagem formada na retina (codificação de cores, interação entre cones e bastonetes, etc). Entre esses neurônios contam-se as células bipolares que recebem a informação luminosa transduzida pelos fotos-receptores e as células ganglionares que se concentram em torno da fóvea, (embora estejam ausentes na fóvea). As células ganglionares recebem os sinais produzidos pelas células bipolares, e transmitem potenciais de ação que se propagam através dos axônios até ao corpo geniculado lateral, já no cérebro.

As células fotos-receptoras se apresentam em duas formas, como bastonetes que são cerca de 100 milhões, distribuídos pela retina com diferentes densidades e numa região a aproximadamente 20° do centro da fóvea se apresentam na máxima concentração (Figura 3.4). As outras células são os cones que também estão distribuídos pela retina como um todo e sua maior concentração ocorrem na fóvea. Um outro ponto de vista da estrutura da retina está na figura 3.5.

Figura 3.5 Estrutura da retina Diagrama das componentes celulares da retina. (Silva A. et al, 1998)

É a partir destas células que saem os axônios que vão formar o nervo ocular na saída do olho, e onde se forma "ponto cego".

3.2.2 Percurso do sinal

A informação visual captada pela retina e traduzida em sinais elétricos sai do olho através do nervo óptico que emerge do "ponto cego". O nervo óptico é constituído por pequenas fibras mielinizadas, conduz os sinais e se encaminha ao longo de cerca de 50mm para uma região designada quiasma óptico. Os axônios provenientes do hemisfério nasal da mácula em cada olho se cruzam no quiasma óptico e passam para o trato óptico contralateral, ao passo que as fibras provenientes de células

que recebem imagens do hemicampo temporal não se cruzam no quiasma óptico, prosseguindo no trato óptico ipsilateral (Figura 3.3).

Figura 3.6 Esquema do sistema visual. Os hemicampos nasais da retina cruzam-se no quiasma óptico e radiam para o corpo geniculado contralateral, prosseguem até ao lobo occipital. Os hemicampos temporais seguem no lado ipsilateral até ao lobo occipital ipsilateral. A representação dos campos visuais é realizada na cissura calcarina, no extremo do lobo occipital. Aí, a representação macular (centro da fóvea) é grande quando comparada com a representação do resto da retina. (Silva A. et al, 1998)

Após a passagem pelo quiasma óptico, os tratos ópticos seguem, em cada hemisfério cerebral, até ao corpo geniculado lateral, uma região nuclear constituída por neurónios (Silva A. et al, 1998). Daí a informação codificada em sinais eléctricos, é encaminhada através de radiações ópticas até ao córtex estriado na cissura calcarina (Polat U. et al. 1998). Nessa região do cérebro, onde o córtex se organiza em camadas de neurónios que processam a informação visual segundo características concretas, é feito um processamento mais elaborado das imagens registradas na retina, como formas e orientações, cores, contrastes e movimentos. A região do córtex estriado dedicado à representação do centro do campo visual é maior do que para o resto do campo visual. A interpretação das imagens observadas não é feita de imediato. Assim, é possível observar, através de diversas técnicas, que outras regiões do córtex estão envolvidas nessa atividade após a chegada dos potenciais de ação ao córtex visual, algo que ocorre algumas dezenas ou centenas de milissegundos após a chegada desses

potenciais de ação. A partir daí a imagem se torna consciente e desencadeia uma reação a ela adequada.

Figura 3.7 Campo visual médio (Dos Santos J.B.. Dissertação de Mestrado EESC/USP, 2004)

3.3 Campo Visual

No plano horizontal o campo visual tem um alcance de aproximadamente 165° sendo que, 105° relativos ao lado temporal e 60° relativos ao lado nasal, valores estes que variam entre indivíduos, pois depende da distância entre as pupilas, da extensão da retina e da obstrução provocada pelo nariz, Figura 3.7. No plano vertical o campo visual apresenta ângulo médio de 140° e assim como na direção horizontal apresenta uma região onde os campos do olho esquerdo e direito se sobrepõem. Nesta região de campo binocular a sensibilidade, a acuidade e a capacidade estereoscópica da visão são potencializadas.

4 Potenciais evocados

4.1 Histórico

Devemos ao fisiologista inglês Richard Caton (1842-1926), um médico que clinicava em Liverpool, a conclusão de que a atividade elétrica do cérebro pode ser medida, após a descoberta do alemão Dubois-Reymond, que demonstrou que correntes elétricas podiam ser detectadas no exterior de nervos periféricos que transmitiam, simultaneamente, impulsos nervosos (Silva A. et al. 1998).

Os potenciais pós-sinápticos, ou seja a despolarização dos potenciais de membrana, nas membranas sinápticas dos neurônios são alvo da transmissão dos impulsos nervosos que podem ter uma influência excitatória. São alterações locais que podem individualmente ou por somação atingir o limiar de excitabilidade para desencadear os potenciais de ação¹ (Descritores em Ciências da Saúde, <http://decs.bvs.br/cgi-bin/wxis1660.exe/decserver>, Acesso em 24/10/2007), são mudanças abruptas no potencial de membrana, que percorrem a membrana celular de células excitáveis em resposta a estímulos excitatórios². (Descritores em Ciências da Saúde, <http://decs.bvs.br/cgi-bin/wxis1660.exe/decserver>, Acesso em 24/10/2007) que ocorrem nos neurônios, assim como as diferenças de potencial nas membranas das células gliais, constituem a base da atividade elétrica do cérebro. Esta atividade é passível de ser detectada e medida devido ao elevado número de células e a sua disposição no encéfalo. Os sinais detectados são oriundos de uma sobreposição da atividade de várias células. Deve-se notar que os potenciais de ação pouco contribuem para o registro eletroencefalográfico (EEG) e de potenciais evocados (PEs), porque a sua duração é entre 1 e 2 ms (Lira B. M. et al. 2000) Os potenciais pós-sinápticos passíveis de serem avaliados são os que têm uma duração típica de 10 a 250ms e constituem, quando em ativação síncrona, a maior contribuição elétrica para o EEG e PEs (Hallen O., 1978).

1 Potencial de ação é uma onda de descarga elétrica que percorre a membrana de uma célula.

2 Impulsos transmitidos entre uma célula nervosa e outra célula através de sinapses. Em algumas sinapses, a transmissão é puramente elétrica e em outras é mista elétrico-química.

Pode-se ver pela figura 4.1a e 4.1b/, que o "primeiro" eletrodo é colocado a uma distância do násio (localizado abaixo da testa e imediatamente acima do nariz) igual a 10% da distância total desde o násio até ao ínio (uma protuberância óssea localizada no meio da nuca). Em seguida, colocam-se todos os outros, espaçados de 20% da distância násio-ínio; o último eletrodo ficará colocado a 10% do ínio. Fazendo o mesmo na linha que liga os pontos pré-auriculares (localizados em frente do canal auditivo) direito para o esquerdo, obtém-se a projeção superior da figura 4.1. O ponto onde se cruzam as duas linhas chama-se vértex. Preenchendo o resto da cabeça tal como se observa na projeção lateral da mesma figura, obtemos uma distribuição dos eletrodos reconhecida internacionalmente como Sistema Internacional 10-20 para a colocação de eletrodos no escalpo. Os eletrodos são identificados por letras, as quais indicam a área do cérebro em que estão situados, assim, Fp, F, C, T, O, A, P, referem-se, respectivamente, às seguintes áreas corticais: fronto-polar, frontal, central, temporal, occipital, auricular, e parietal. Também são assinalados por números que além de distinguirem eletrodos na mesma região cortical os diferenciam também pelo lado do cérebro, sendo que os números pares corresponde o hemisfério direito e aos números ímpares o hemisfério esquerdo (Silva A. et al, 1998).

4.2.2 Apresentação gráfica de EEG

Figura 4.2 Diagrama de onda sinusoidal típica. (www.wikipedia.org, Acesso em 12/07/2006)

Figura 4.3 Gráfico de um EEG. (www..wikipedia.org, Acesso em 12/07/2006)

Graficamente a representação de um EEG toma forma conforme figura 4.2. Na maioria dos adultos, o padrão EEG de vigília consiste em ondas sinuosoidais (figura 4.2), na frequência de 8-12 Hz que são mais proeminentes nas áreas occipitais. Este é conhecido como ritmo alfa, o qual é bloqueado pela abertura ocular, atividade mental ou sonolência. Frequências superiores a 12 Hz são chamadas ritmo beta e são normalmente encontradas sobre as regiões frontais. Atividade lenta também pode normalmente ser achada e é conhecida como ritmo delta (1-3 Hz) ou teta (4-7 Hz). Os potenciais elétricos registrados no escalpo correspondem às suas atividades sinápticas. Nem todos os neurônios produzem atividade elétrica no EEG. Os que produzem são principalmente as células piramidais⁴, que são a minoria e são capazes disso por 2 razões: elas estão dispostas paralelamente umas às outras e perpendicularmente à superfície do córtex cerebral. As suas ramificações dendríticas são bastante assimétricas, superficiais, e produzem no momento da atividade excitatória dos plexos, um pico de onda. Uma eletro negatividade apical e o resto do pólo oposto positivo forma um dipolo e, portanto, dá uma diferença de potencial que será mostrada no EEG. Assim, a atividade do EEG, provém essencialmente das correntes sinápticas das células piramidais que apresentam a disposição dipolar e paralela ideal para amplificar seus potenciais (Silva A. et al, 1998). Na figura 4.3 um exemplo de EEG

4 Células da camada periférica dos hemisférios cerebrais ou seja neurônios de forma característica piramidal que excitam tanto os vizinhos locais quanto os distantes.

Definição de Potenciais Evocados

Os potenciais evocados (PEs) são sinais elétricos característicos que ocorrem devido a estímulos específicos e dependendo do órgão estimulado, apresentam uma onda e uma latência que os caracteriza e constituem a resposta a um ou mais estímulos.

4.3.1 Classificação dos Potenciais Evocados

Os PEs podem ser divididos em auditivos, visuais, cognitivos e sensoriais e com base no tempo de latência, que é o tempo que separa o estímulo do aparecimento de um potencial característico. Temos os potenciais de curta latência, que ocorrem até por volta dos 50ms; os potenciais de média latência, que vão de 50ms até cerca de 100ms; e, finalmente, os de longa latência, com tempos mais longos que 100ms. Estes intervalos não são rígidos, e indicam apenas a ordem de grandeza.

Os potenciais de curta e de média latência (até 100ms após o estímulo) nos permitem analisar as respostas físicas mais imediatas do organismo. Os potenciais de longa latência envolvem processos neurofisiológicos mais complexos, relacionados com a interpretação de estímulos.

4.3.2 Filtros

Flutuações ambientes de potencial elétrico na atividade de fundo do cérebro originam um "ruído de fundo", captado nos eletrodos, como perturbações no contato dos eletrodos com o escalpo. Este ruído pode ser eliminado com o recurso de filtros especializados e serve de linha de base às flutuações devidas aos estímulos.

4.4 Estrutura óptica do Olho Humano

O olho humano quando estiver com o cristalino em repouso, possui poder dióptrico médio de 60 D, levando em conta um olho emétrepe⁵; estas 60D se distribuem entre os elementos ópticos dos olhos, onde 43 D na córnea, no cristalino depende do estado de acomodação e varia em média entre 17 D e 30 D, e fazendo par dióptrico com a córnea permite focalizar objetos a distâncias diferentes de 25 cm ao infinito. Há um outro componente do olho que influencia sobremaneira o desempenho óptico do olho, a íris. Seus movimentos de expansão e contração permitem alterar a profundidade de foco, controlar a quantidade de luz que entra no olho e realizando o papel do diafragma de uma câmara fotográfica, varia sua abertura entre f/2.5 e f/17 (Dos Santos J.B., 2004).

Estes dados são experimentais, pois *in vivo* se torna extremamente difícil realizar medidas fidedignas em cada componente do olho.

4.4.1 Eixo Óptico e Eixo Visual

Os dióptros dos sistemas ópticos convencionais alinham o centro de curvatura de cada superfície refratora sobre um eixo chamado eixo óptico, porém, o olho não é um sistema óptico centrado, seu sistema não se organiza sobre um eixo óptico verdadeiro e podemos estimar um eixo óptico do olho se redefinirmos o conceito como sendo o eixo que cruza , com o menor erro possível, os centros das esferas que melhor representam as superfícies oculares (Dos Santos J.B., 2004)..

Para que uma imagem seja focalizada sobre a fóvea, um raio luminoso deve percorrer um caminho paralelo a um eixo dito eixo visual que forma com o eixo óptico do olho um ângulo de aproximadamente 5° como mostra a figura 4.1

5 Um olho é considerado emétrepe quando as imagens se formam sobre a retina nitidamente, ou seja o cristalino focaliza sobre a retina as imagens oriundas seja no ponto distal que no proximal

Figura 4.4: Eixos oculares

Numa definição mais rigorosa este eixo além de passar pela fóvea também passa pelo ponto nodal do olho

4.4,2 Acuidade Visual

Levando em conta que o espaçamento das células fotossensíveis na fóvea é de aproximadamente $2.5\ \mu\text{m}$ podemos inferir que o poder de resolução nesta região do olho seja em frequência espacial, de 200 ciclos/mm. Devido aos vários efeitos sobre a imagem como , difração, aberrações oculares, degradação oriunda da variação de densidade das células fotossensíveis e o provável desalinhamento destas com a orientação da imagem formada, necessário se faz, introduzir um fator de correção atualmente aceito como sendo 0.55. Este fator reduz a resolução espacial do olho para 110 ciclos/mm o que torna o olho humano capaz de identificar frequências espaciais de 7,5 ciclos/mm em um objeto colocado a 250 mm de distância (Vassiliev A.et al. 2002).

A acuidade visual depende também de fatores outros, como o brilho e o contraste dos componentes da cena observada e também da região da

retina sobre a qual se formou a imagem. As figuras 4.2, 4.3, 4.4 ilustram essas relações.

Figura 4.5: Variação da acuidade visual por região da fóvea (Dos Santos J.B.. Dissertação de Mestrado EESC/USP, 2004)

Figura 4.6: Variação da resolução visual com o contraste da cena (Dos Santos J.B.. Dissertação de Mestrado EESC/USP, 2004)

Figura 4.7: Variação da acuidade visual com o brilho da cena e a abertura pupilar (Dos Santos J.B.. Dissertação de Mestrado EESC/USP, 2004).

4.4.3 Adaptação e Sensibilidade

Dependendo da quantidade de luz ambiente, nossa íris expande ou contrai o diâmetro da pupila e uma menor ou maior iluminância dos objetos que compõem a cena transformada em imagem, influencia a adaptação da retina no processo da visão em que, quando da redução da iluminância, os cones são substituídos pelos bastonetes no processo. Outrossim, a sensibilidade do olho também depende do comprimento de onda da luz. Em condições normais de iluminância o processo visual é dominado pelos cones já que são mais sensíveis a comprimentos de onda situados entre 400 nm e 700 nm com máxima eficiência em 555 nm. Nestas condições é possível ver cores e a resposta espectral do olho é denominada fotópica. Porém, se os níveis de iluminância forem reduzidos os bastonetes que são mais sensíveis a comprimentos de onda situados entre 380 nm e 630 nm com máxima eficiência em 507 nm, assumem o processo visual. Nestas condições não se podem distinguir cores e a resposta espectral do olho é denominada escotópica (figura 4.5).

Figura 4.8: Resposta espectral do olho (Dos Santos J.B.. Dissertação de Mestrado EESC/USP, 2004)

5 - Potenciais Visuais Evocados (VEPs)

5.1 VEPs

Os VEPs são potenciais desencadeados no escalpo em virtude de estímulos visuais aplicados, tais como *flashes*. As primeiras medições, porém, foram realizadas no córtex estriado de animais, por causa da fraca amplitude de resposta medida sobre o escalpo (tipicamente inferiores a 10 μ V) (Altner H. et al. 2002).

5.1.1 Natureza dos VEPs

Os VEPs, são a resposta cortical à estimulação visual. Nesta classe de potenciais evocados destacam-se duas categorias, de acordo com a taxa de estimulação: potenciais evocados transientes (T-VEPs) e quiescentes (S-VEPs, do inglês *steady-state VEP*). Em geral, quando se fala de VEPs, faz-se referência aos T-VEPs, por serem o tipo de resposta evocada que apresentam uma boa reprodutibilidade e representam nosso interesse. Estes são potenciais do tipo "campo próximo" (do inglês *near field*), por ser necessário captá-los próximo das fontes dipolares: a resistência elétrica entre a superfície cortical e o escalpo é muito elevada, o que ocasiona uma queda acentuada da amplitude de sinal com a distância (Silva A. et al, 1998).

5.2 Registro dos VEPs

Para registrar VEPs, é necessário colocar eletrodos no escalpo do paciente, habitualmente em número mais reduzido do que os requeridos para estudos electroencefalográficos. Visto o córtex estriado se situar na região occipital, são aí colocados três eletrodos ativos: Oz, O1 e O2; a referência é usualmente um eletrodo colocado em Fz.

Figura 5.1: Os pontos Fz, Pz, O1 e O2 do SI 10-20 assinalados na figura, são os pontos escolhidos para a colocação dos eletrodos.

Os eletrodos ativos correspondem a canais de aquisição de dados. Os T-VEPs consistem em deflexões de potencial positivas e negativas, designadas por letras maiúsculas seguidas de um número que aproxima a latência média em milissegundos.

5.3 VEPs objetos do estudo

As ondas de nosso interesse são as P100 (onda positiva que ocorre por volta dos 100ms) são provocados pela alteração transiente na atividade do cérebro em face de um estímulo intermitente. A amplitude de resposta é pequena (apenas alguns micro volt) quando comparada com a atividade de fundo, que ronda os 30 μV no caso das ondas alfa. Porém, as respostas destacam-se da atividade de fundo ao repetir o estímulo numa frequência de até 5Hz (Silva A. et al, 1998).

6 – Materiais e Métodos

6.1 Introdução

Uma das formas de interação entre uma pessoa e o espaço adjacente ou afastado é através do sentido da visão. Este sentido nos proporciona a avaliação da localização geométrica dos vários elementos que compõem o entorno, com maior ou menor acurácia, bem como a geometria de seus contornos. O conhecimento, ou melhor, o reconhecimento do entorno nos permite localizar os objetos situados no entorno e no afastado em dois espaços correspondentes:

No espaço interno ou mental, residente em nossa mente, com seus elementos registrados e catalogados em nossa memória, espaço esse que poderia ser denominado Campo Mental.

No espaço externo, que tem sua organização e existência independente de nossa consciência, espaço esse, que abarcado pelo sentido da Visão, pode ser denominado Campo Visual.

Há uma correspondência entre os dois campos, o que nos permite tomar consciência do nosso entorno e avaliar as probabilidades de interação.

O instrumento proposto pretende aproveitar essa correspondência usando de princípios basilares da óptica, mecânica, instrumentação eletrônica e recursos computacionais, para atingir o desiderato.

6.2 Campo Visual

O Campo Visual humano percebido por ambos os olhos sofre a limitação imposta pela geometria do rosto e pela posição dos olhos em relação à face. Essa limitação se deve apenas a condições geométricas e ópticas, nos proporcionando uma visão binocular em uma região limitada do ângulo de visão.

6.2.1 Vista Lateral

Em uma vista lateral podemos avaliar a seguinte condição geométrica:

Figura 6.1 Ângulo visual em relação à linha do horizonte

6.2.2 Vista em Planta

Em uma vista de planta a condição geométrica percebida é a seguinte:

Figura 6.2 Ângulo visual em relação ao meridiano (Dos Santos J.B.. Dissertação de Mestrado EESC/USP, 2004)

6.2.3 Vista tridimensional

Tridimensionalmente podemos representar os ângulos de visão como segue:

Figura 6.3 Alcance angular do Campo Visual humano. (www.images.google.com.br, Acesso em 28/10/2007)

Notamos que o Campo Visual Humano apresenta uma limitação angular de 60° superiormente em relação ao plano horizontal que passa pela linha do horizonte visual e de 70° inferiormente ao mesmo referencial.

No que tange à geometria em relação a um plano vertical que passa pelo centro da distância entre os olhos e no sentido antero-posterior da face, notamos que em cada olho, a limitação angular no trato nasal é de 60°

e a limitação no trato temporal se estende a 105° . Essa condição geométrica nos proporciona uma visão binocular limitada a 120° no total, correspondendo à sobreposição dos ângulos dos tratos nasais.

6.2.4 Limitação da Borda do Campo Visual

Levando em conta uma linha imaginária que contornasse o campo visual, se nos apresentaria como uma sobreposição de dois hemi-elipsóides compreendidos em um ângulo de 60° por 180° o hemi-elipsóide superior e 70° por 180° o hemi-elipsóide inferior. Os 15° sobressalentes em cada lado são simétricos segundo um plano vertical que englobe a face e seja orientado no sentido lateral

Figura 6.4 Representação da limitação do Campo Visual Humano

6.2.5 Correspondência de coordenadas angulares

Sob o ponto de vista óptico, a correspondência entre as coordenadas angulares de um ponto no campo visual humano e as coordenadas angulares de seu correspondente sobre a retina do olho se dá em forma simétrica, de forma que, se apropriarmos ao campo visual os octantes I, II, III e IV e à retina os octantes V, VI, VII, e VIII, um ponto luminoso A no octante I de coordenadas α e β qual seja $A(\alpha, \beta)$, terá sua imagem incidindo sobre a retina no ponto A' no octante VII e suas coordenadas angulares serão α' e β' qual seja $A(\alpha', \beta')$, sendo α' corresponde a α e β' corresponde a β . O mesmo se dá com um ponto no octante II com seu correspondente no octante VIII, ao octante III corresponde o octante V e ao octante VII corresponde o octante VI conforme figura a seguir,

Figura 6.5 Octantes

6.3 Simulação do Campo Visual

Para simular em laboratório o campo visual lançou-se mão do ponto proximal, que conceitua que num olho normal, com 60 Dioptrias, um objeto colocado a 250mm de distância do olho, forma uma imagem real, invertida e nítida sobre a retina focalizada pela acomodação do cristalino. De posse desse conceito estimamos que uma calota semi-esférica com raio 250mm, sobre a qual pudessem ser colocados pontos luminosos, poderia simular o Campo Visual Humano.

6.5.1 Construção da calota

Para a construção da calota moldou-se uma manta de fibra de vidro colocada sobre um molde apropriado e fixada com resina de poliéster, tomando cuidado de prover à semi-esfera uma borda para enrijecer a estrutura.

A calota foi pintada com a cor cinza fosco 50% uniformemente para evitar aparecimento de pontos de interesse que possam desviar a atenção e os suportes dos LEDs pretos, evitando assim o aparecimento de desvio de atenção ou focalização de visualização durante o ensaio.

Figura 6.6 Cúpula ou Calota

6.5.1.1 Obtenção dos pontos luminosos

Para a obtenção de pontos luminosos com coordenadas angulares conhecidas nos octantes correspondentes ao Campo Visual, lançou-se mão da aplicação de LEDs de alta intensidade que emitissem uma luz branca azulada, pois seria registrada facilmente pelas células da retina, visto que tanto células em bastonetes, seja em cones registram essa cor de luz devido à característica de sua fisiologia (Fiorentini A. et al. 1996).

6.5.1.2 Disposição dos LEDs

Os pontos luminosos obtidos pela aplicação de LEDs sobre a calota deveriam obedecer uma disposição que simulasse o Campo Visual Humano com sua característica limitação, conforme a seção 6.2.4. Optou-se por uma estrutura matricial de 49 pontos luminosos dispostos segundo uma matriz 7x7, por conveniência construtiva e simplicidade de elaboração dos circuitos de comando.

Acrescentou-se um 50º LED emissor de luz verde, colocado numa posição sobre a linha do meridiano, 5º abaixo da linha de horizonte. Este ponto corresponde à posição da fóvea na retina e esta colocado de forma a fixar a atenção da pessoa numa postura de relaxamento dos músculos que movimentam o globo ocular.

Figura 6.7 Matriz quadrada 7x7 dos pontos luminosos

6.5.1.3 Adaptação da Matriz 7x7

Uma matriz quadrada sobre uma calota semi-esférica não tem coerência de sobreposição e optou-se por deformar essa matriz para que simulasse a limitação do Campo Visual, conforme a seção 6.2.4, e ao mesmo tempo estivesse acomodada sobre uma superfície esférica. A configuração obtida é mostrada na figura a seguir,

Figura 6.8 Transformação da matriz quadrada 7x7 em um arranjo sobre elipsóides

Observamos que a distribuição dos LEDs se deu em 5 camadas, distribuindo de fora para dentro na 1ª 16 LEDs, na 2ª 12 LEDs, na 3ª 11, na 4ª 7 LEDs e na 5ª 3 LEDs. Cada camada se organiza sobre o

acoplamento de duas semi-elipses que correspondem à limitação do campo visual conforme a seção 6.2.4 e o LED de referência está orientado com 5° , que corresponde à posição angular da fóvea na retina.

O arranjo das linhas e colunas da matriz assume a seqüência mostrada na figura a seguir:

Figura 6.9 Adaptação das linhas (em vermelho) e colunas (em azul) da matriz quadrada 7x7 dos pontos luminosos em uma matriz sobre linhas elipsoides.

Quanto ao ângulo sólido sob o qual a retina registra a fonte luminosa oriunda de um LED, como se tratam de LEDs com diâmetro de 5mm e sendo que os olhos vão estar a 250mm de distância no centro da calota, temos $\varphi = 31,416 \cdot 10^{-5}$ esferoradianos (obtidos da relação da superfície de um círculo de diâmetro 5mm, ou seja $19,625\text{mm}^2$, e a superfície de um esferoradiano sobre uma esfera de 250mm de raio, ou seja 62500mm^2) e a intensidade luminosa de 44cd com uma corrente de 20 mA.

A posição de cada LED foi definida conforme a tabela a seguir:

Tabela 6.1 Coordenadas angulares da posição dos LEDs**Coordenadas dos LEDs**

a_{ij}	Azimute	Sítio	a_{ij}	Azimute	Sítio
a 1 1	163°	22°	a 2 1	174°	0°
a 1 2	145°	39°	a 2 2	144°	25°
a 1 3	121°	51°	a 2 3	118°	40°
a 1 4	90°	55°	a 2 4	90°	44°
a 1 5	59°	51°	a 2 5	62°	40°
a 1 6	35°	39°	a 2 6	36°	25°
a 1 7	17°	22°	a 2 7	6°	0°
a 3 1	158°	0°	a 4 1	140°	354°
a 3 2	133°	17°	a 4 2	123°	356°
a 3 3	111°	29°	a 4 3	110°	18°
a 3 4	90°	33°	a 4 4	88°	22°
a 3 5	69°	29°	a 4 5	67°	15°
a 3 6	47°	17°	a 4 6	58°	350°
a 3 7	23°	0°	a 4 7	40°	354°
a 5 1	128°	332°	a 6 1	169°	338°
a 5 2	109°	331°	a 6 2	150°	333°
a 5 3	104°	352°	a 6 3	117°	303°
a 5 4	90°	11°	a 6 4	90°	304°
a 5 5	76°	352°	a 6 5	63°	303°
a 5 6	76°	328°	a 6 6	30°	333°
a 5 7	52°	332°	a 6 7	11°	338°
a 7 1	160°	317°			
a 7 2	129°	313°			
a 7 3	139°	299°			
a 7 4	90°	290°			
a 7 5	41°	299°			
a 7 6	51°	313°			
a 7 7	20°	317°			

As coordenadas foram obtidas realizando matematicamente a projeção de cada ponto correspondente a cada a_{ij} sobre a superfície esférica da cúpula.

Figura 6.10 Diagrama de exemplo das coordenadas da posição dos LEDs.

6.6 Construção da Estrutura de sustentação da Calota

O posicionamento da calota com a concavidade voltada para a face da pessoa, é garantido por uma estrutura metálica dedicada. Estrutura essa que apoiada em um pedestal com rodízios, lhe permite ser movimentada pelo ambiente. Além disso há a possibilidade de ajuste de altura por meio de um sistema telescópico com trava e ajuste lateral para passar da observação de um globo ocular à do outro sem movimentar a cabeça, esse ajuste possui também um ajuste fino que permite regular com precisão milimétrica a lateralidade.

Figura 6.11 Diagrama do arranjo mecânico

6.7 Aquisição de dados

Uma vez que o fenômeno sensorial visual tenha sido desencadeado pelo flash de luz, proporcionado por um dos LEDs alojado na calota, transcorrido um tempo em torno de 100ms, aparecerá no escalpo uma flébil variação de potencial entre 4 e 6 μV , proporcionada pela despolarização das células piramidais presentes na superfície do encéfalo, células essas que liberam micro-correntes associadas à chegada dos sinais dos VEPs.

São esses sinais que nos interessam, mas, devido à flebilidade deles se faz necessário amplificá-los para que possam ser registrados e servirem ao nosso propósito, o de registrar a associação de um flash de luz que se dá no campo visual humano e o aparecimento de um sinal no escalpo devido ao VEP associado. O aspecto e os padrões do sinal esperado gerado por um estímulo tipo flash (Harding G.F.A.et al. 1996) são representados na figura 6.12.

The normal flash VEP.

Figura 6.12 Representação dos picos standards. (Harding G.F.A.et al. 1996).

6.7.1 Diagrama do arranjo experimental

O arranjo experimental foi desenvolvido e construído para coletar os sinais de VEPs provocados no escalpo por um flash pontual de luz no Campo Visual, pré-amplificá-los, amplificá-los, acondicioná-los, adquiri-los e tratá-los na plataforma de processamento.

Também foi instalado um sistema de verificação da posição do olho em relação à calota semi-esférica através de uma câmara digital colocada no vértice da calota, onde há um orifício apositamente localizado, e focalizada na posição do centro da calota, que coincide com a posição do olho.

Um diagrama desse arranjo está apresentado na figura a seguir.

Figura 6.13 Diagrama do arranjo experimental

6.7.1.1 Calota semi-esférica

A calota semi-esférica foi construída para simular o campo visual na posição proximal com um raio de 250mm. Foi construída com uma manta de fibra de vidro reforçada com resina poliéster e com um ombro de 35mmx4mm de reforço em volta de toda a borda da calota perpendicularmente à tangente na borda.

Nela há furos para o alojamento dos LEDs, furos esses para alojar os LEDs para gerar os Flash e organizados de forma a simular o perímetro do Campo Visual Humano nas bordas limitadas bem como pontos do espaço interno a esse perímetro.

Figura 6.14 Cúpula ou calota com horizonte e meridiano

6.7.1.2 Câmara digital

A câmara digital tem formato esférico e é alojada numa base que possibilita sua rotação para alinhamento. Essa câmara tem por finalidade permitir o alinhamento do eixo óptico de cada olho com o eixo principal da linha de visada da calota. Conectada à plataforma de processamento, permite esse ajuste visualmente através de imagem formada na tela do monitor dessa plataforma de processamento.

Figura 6.15 Posicionamento da web-cam

6.7.1.3 LEDs

Os LEDs escolhidos como fonte luminosa para a geração de um flash pontual, são LEDs de luz azulada NSPW500DS de alta intensidade e fixados na calota por meio de um dispositivo apropriado.

Figura 6.16 Diagrama do dispositivo de alojamento dos LEDs

6.7.1.4 Escalpo

O escalpo é a superfície cutânea que recobre o alto da cabeça humana provida de vilosidades (cabelos), onde se verifica o fenômeno do aparecimento de Potenciais Evocados, desencadeados pela incidência de um flash luminoso sobre a retina do olho.

Figura 6.17 Escalpo (www.images.google.com.br, Acesso em 15/07/2006)

6.7.1.5 Fz eletrodo de referência

O eletrodo de referência é um eletrodo de EEG de prata-cloreto de prata, que tem por finalidade servir de *base-line* aos outros eletrodos para captar as flutuações dos EVPs no escalpo. O eletrodo Fz é fixado na região frontal conforme o padrão Sistema Internacional 10-20, durante a realização do ensaio. Essa posição, assim como a O1, O2 e Rz foram escolhidas de acordo com as práticas de EEG (Kooijman Aart et al).

Figura 6.18 Eletrodos. (www.images.google.com.br, Acesso em 15/07/2006)

6.7.1.6 Eletrodo Rz (posição Pz)

O eletrodo Rz, de prata-cloreto de prata para EEG, se destina ao registro dos ruídos de fundo (oriundos do ritmo alfa) (a colocar na posição Pz), que se tornam mais acentuados à medida que a iluminação ambiente é reduzida, atingindo o nível máximo na escuridão. Esse eletrodo ocupa uma posição sobre a linha meridiana ligeiramente acima da linha que une o O1 ao O2.

6.7.1.7 Eletrodo Occipital na posição O1

O eletrodo O1 também é um eletrodo de prata-cloreto de prata de EEG e é fixado na posição O1 segundo o Sistema Internacional 10-20 durante a realização do ensaio.

6.7.1.8 Eletrodo Occipital na posição O2

Também o eletrodo O2 é do tipo de EEG de prata-cloreto de prata e ocupa a posição O2 no Sistema Internacional 10-20.

6.7.1.9 Interface de acionamento dos LEDs

Essa interface possibilita a compatibilização do acionamento de cada LED com a saída da DAQ (placa de aquisição de dados), uma vez que não é possível acionar diretamente os LEDs com a placa DAQ por incompatibilidade de impedância.

Figura 6.19 Diagrama da interface de acionamento dos LEDs

6.7.1.10 Pré-amplificador do Sinal de O1,O2 e Rz

O sinal elétrico oriundo da comparação do potencial de FZ com o de O1, O2 e Rz, com um valor entre 3 e 6 μV , para poder ser reconhecido, sofre um pré-condicionamento de amplificação de 50 vezes através de um amplificador linear modelo INA128 da Texas Instruments seguindo o seguinte esquema,

Figura 6.20 Placa do circuito do pré-amplificador e circuito equivalente do INA 128 da TI

6.7.1.11 Amplificador

Os sinais de Rz, O1 e O2, pré-amplificados, são condicionados, definitivamente, cada um, no amplificador linear que os amplifica 2000 vezes, baseado em três CIs OPA177 da Texas Instruments, cada um num canal dedicado, seguindo o esquema,

Figura. 6.21 Placa do circuito do amplificador e circuito equivalente do OPA 177 da TI

6.7.1.12 Terminal do cabo do Sistema de aquisição (DAQ)

A conexão entre cada canal do amplificador e a DAQ se dá através de um terminal apropriado da extensão do cabo da DAQ NIPCI 6221, terminal esse, CB-68LP, fornecido pela National Instruments com um cabo blindado, SH68-68-EP, para conexão.

Além do mais, esse terminal também propicia a conexão da interface de acionamento dos LEDs e a DAQ para efetuar o disparo do flash pontual de luz em cada LED.

Figura 6.22 Diagrama Terminal do cabo da DAQ

6.7.1.13 Sistema de aquisição (DAQ) da National Instruments

O propósito de uma placa de aquisição de dados (DAQ) é medir uma grandeza física como a voltagem, corrente, luz, temperatura, pressão ou som. Com base em um PC a DAQ usa uma combinação de hardware, software e computador para formar um sistema de aquisição de dados que automatize a medida e torne os dados passíveis de análise.

Uma DAQ compartilha a meta de adquirir, analisar e apresentar a informação oriunda de um sinal de um sensor. Para uma medida via sensor, o sistema DAQ pode incorporar os seguintes componentes: Sensor (transdutor), Condicionador de sinal, Dispositivo de aquisição e Software.

Figura 6.23 Diagrama de uma DAQ (The Measurement and Automation, NI Catalog 2006)

A DAQ permite, além dos canais de aquisição dos sinais, o controle direto da sequência de acendimento de cada elemento da matriz de LEDs através da Interface de acionamento descrita no Item 6.7.1.9.

6.7.1.14 Plataforma de tratamento dos dados

Os dados adquiridos de forma “crua” são conformados e digitalizados, registrados e posteriormente interpretados para verificar a validação do sistema. O equipamento que permite esse tratamento é um PC Pentium III 850 com 256 Mb de memória RAM e um HD de 60 Gb, Monitor Spectrum 5En, Teclado universal e mouse. A plataforma é provida de um Software LabView da National Instruments, que permite a configuração do PC como um Instrumento Virtual apto à necessidade do projeto.

A versão do Software é a LabView 8 acrescida do LabView Signal Express que permite configurar a DAQ diretamente.

Figura 6.24 Diagrama Plataforma de tratamento dos dados

6.8 Sequência de disparo e aquisição de dados.

6.8.1 Ajuste da posição do olho

Ao proceder à investigação de um olho, mister se faz ajustar a posição do centro de sua pupila com o eixo óptico da calota, de forma a que o olho ocupe uma posição que possa ver a simulação do campo visual numa posição com o cristalino desacomodado na posição de repouso e o LED de cor verde seja focalizado sobre a fóvea. Tal ajuste se dá pelo deslocamento alto-baixo com o afrouxamento da presilha da coluna e pelo deslocamento lateral pelo afrouxamento da trava do dispositivo de deslizamento. A verificação e o ajuste fino são conseguidos pela observação direta da posição da pupila através de uma câmara digital colocada no vértice da calota e com uma mira cruciforme sobre sua objetiva. A imagem assim obtida é apresentada no monitor da plataforma de processamento devidamente integrada ao Instrumento Virtual por meio de um Drive propositalmente desenvolvido.

Após a operação de aquisição dos dados referentes a um olho, se procede da mesma forma com o outro olho.

6.8.2 Disparo da sequência de acendimento dos LEDs

A definição da sequência de acendimento dos LEDs bem como o número de repetições de acendimento a que cada LED deve ser submetido é definida pelo teclado da plataforma de processamento. Foram previstas 10 (dez) seqüências típicas:

Tabela 6.2 1ª-Sequência de a_{11} até a_{77} seguindo a seqüência de linha após linha.

Coordenadas dos LEDs, Coordenadas angulares em graus							
Sequência	A_{ij}	Azimuth	Sítio	Sequência	A_{ij}	Azimuth	Sítio
1	a_{11}	163	22	26	a_{45}	67	15
2	a_{12}	145	39	27	a_{46}	58	350
3	a_{13}	121	51	28	a_{47}	40	354
4	a_{14}	90	55	29	a_{51}	128	332
5	a_{15}	59	51	30	a_{52}	109	331
6	a_{16}	35	39	31	a_{53}	104	352
7	a_{17}	17	22	32	a_{54}	90	11
8	a_{21}	174	0	33	a_{55}	76	352
9	a_{22}	144	25	34	a_{56}	76	328
10	a_{23}	118	40	35	a_{57}	52	332
11	a_{24}	90	44	36	a_{61}	169	338
12	a_{25}	62	40	37	a_{62}	150	333
13	a_{26}	36	25	38	a_{63}	117	303
14	a_{27}	6	0	39	a_{64}	90	304
15	a_{31}	158	0	40	a_{65}	63	303
16	a_{32}	133	17	41	a_{66}	30	333
17	a_{33}	111	29	42	a_{67}	11	338
18	a_{34}	90	33	43	a_{71}	160	317
19	a_{35}	69	29	44	a_{72}	129	313
20	a_{36}	47	17	45	a_{73}	139	299
21	a_{37}	23	0	46	a_{74}	90	290
22	a_{41}	140	354	47	a_{75}	41	299
23	a_{42}	123	356	48	a_{76}	51	313
24	a_{43}	110	18	49	a_{77}	20	317
25	a_{44}	88	22				

6.8.3 Registro do estímulo

Foi escolhido registrar o evento dos P100 por se tratar de picos com relativa expressão e significância na verificação da correlação entre Potenciais Visuais Evocados e um flash pontual no Campo Visual Humano. O Instrumento Virtual gerado com o LabView permite armazenar a variação temporal dos sinais gerados pelo evento do flash, no intervalo entre 80ms e 120ms do disparo e após somatória de 10 repetições do mesmo evento do flash, na mesma posição para garantir que o sinal sobressaia do ruído de fundo.

6.8.3.1 Canais

Para efetuar o registro dos eventos foram escolhidos como pontos de aplicação dos eletrodos, o Fz, o O1 e o O2, segundo o Sistema Internacional 10-20. Adicionalmente um outro ponto ao longo do meridiano Z, acima da linha que une o O1 e o O2, que chamaremos Rz colocado na posição Pz, foi utilizado para registrar o ruído branco, ou seja o ruído provocado pelo ritmo alfa. Cada um dos eletrodos O1, O2 e Pz serão referenciados ao Fz e, se necessário, combinados de maneira a estimar a influência do sinal de Pz nos sinais de O1 e O2 para verificar a influência da presença do ruído branco na relação sinal-ruído em O1 e O2.

6.8.3.1.1 Tratamento dos dados

Os sinais, após serem adquiridos e registrados, terão o valor de cada ponto da amostragem, elevado ao quadrado de maneira a que se tenha sempre sua apresentação como positivos. Isso após a adição das repetições da aquisição do mesmo flash pontual.

6.8.3.2 Interpretação

Examinando o conjunto dos registros, a ocorrência do pico no intervalo de tempo esperado, entre 80ms e 120ms, nos garante a validação do sistema proposto. Esse exame tem implementação após a aquisição de todos os 49 eventos associados a cada flash pontual oriundo de cada LED.

7 Resultados

7.1 Construção do arranjo mecânico

O arranjo mecânico foi construído com chapa metálica de SAE 1010/1020, tubos do mesmo material e fitas idem, conforme imagens a seguir e conforme desenhos referentes a um projeto mecânico adrede preparado:

Figura 7.1 Vista lateral do arranjo mecânico

Figura 7.2 Vista frontal do arranjo mecânico

Figura 7.3 Vista do suporte móvel do arranjo mecânico

7.2 Construção da cúpula

A cúpula ou calota semi-esférica foi construída com uma manta de fibra de vidro aglomerada com resina de poliéster, usando como molde um balão esférico de buna e aplicando uma borda de reforço após a solidificação. A calota foi pintada com esmalte automotivo cinza 50% para evitar interferência na luminosidade dos LEDs.

Figura 7.4 Vista frontal da cúpula com apoios da frente e do queixo.

7.2.1 Furação cúpula para alojamento dos LEDs

Os furos de alojamento dos suportes dos LEDs foram realizados obedecendo o posicionamento conforme a Tabela 6.1.

Figura 7.5 Vista da furação da calota com a inserção do suporte dos LEDs

7.2.2 Interligação dos LEDs

A matriz 7x7 dos LEDs acomodada sobre linhas parabolóides, foi interligada com cabos e conectada com o sistema através de um conector DB25 fêmea.

Figura 7.6 Conexão dos elementos da Matriz

7.2.3 Cabo de interconexão da Matriz

A interconexão entre a cúpula e a interface é realizada por meio de um cabo com terminal DB25 macho na extremidade da cúpula.

Figura 7.7 Cabo de interconexão da Matriz

7.3 Construção dos preamplificadores

Os pré-amplificadores foram construídos artesanalmente sobre uma placa de circuito de fenolite e acondicionados em caixas de polietileno, com dimensões reduzidas 32x24x15mm LAP. Para evitar interferências as caixas são envolvidas em folha de alumínio como blindagem. Estes pré-amplificadores têm a finalidade de condicionar os flébeis sinais de EVP para que possam ser amplificados e reconhecidos.

Figura 7.8 Pré-amplificador

Figura 7.9 Blindagem do Pré-amplificador

7.4 Construção do amplificador

O amplificador de três canais foi construído sobre uma placa de circuitos de fenolite e acondicionado em uma caixa de polipropileno, com dimensões de 120x80x45mm LAP. O amplificador tem por finalidade amplificar os sinais condicionados pelos pré-amplificadores, de maneira a serem reconhecidos pela DAQ.

Figura 7.10 Amplificador

Figura 7.11 Blindagem do Amplificador

7.5 Cabos de conexão

Os cabos de conexão foram realizados com cabos blindados e terminais de engate rápido.

Figura 7.12 Cabos de conexão

7.6 Construção da interface

A interface de controle da matriz 7x7 dos LEDs, foi montada sobre uma placa de circuitos de fenolite. Esta interface tem por finalidade o acionamento de cada LED sob comando do Instrumento Virtual através do terminal da DAQ.

Figura 7.13 Interface de controle da Matriz

7.7 Aquisição da DAQ

Foi especificada e adquirida uma DAQ NIPCI 6221 da National Instruments, cujas características a tornam conveniente ao experimento.

Figura 7.14 DAQ NIPCI 6221

7.8 Aquisição do terminal

Foi especificado e adquirido um terminal CB-68LP da National Instruments necessário à interligação da DAQ e o equipamento do arranjo experimental.

Figura 7.15 Terminal

7.9 Aquisição do software

Foi adquirido um exemplar do Software LabView 8 para a geração de um Instrumento Virtual que possibilite o controle do arranjo experimental e sua operação.

7.9.1 VI (Virtual Instrument)

Recorrendo ao software LabView, foi elaborado um Vi apto à aquisição dos dados e ao comando de acendimento dos LEDs em seqüência essa elaboração se deu conforme os seguintes diagramas:

Figura 7.16 Diagrama da parte do Vi responsável pelo comando de acendimento dos LEDs

Figura 7.17 Diagrama da parte do Vi responsável pela aquisição e armazenamento dos dados.

Figura 7.18 Tela de apresentação do VI

7.10 Dados obtidos

7.10.1 Parâmetros da sequência de FLASHES

Os parâmetros que definiram o *setup* da atuação do VI (Virtual Instrument) de aquisição dos dados, elaborado com o Programa LabView da NI, são os seguintes:

Tempo de LED Ligado (TLL)	55ms
Tempo de LED Desligado (TLD)	5ms
Número de Pulsos (NP)	10p
Tempo de aquisição dos dados (TAD)	200ms
Frequência da aquisição de dados	1000Hz
Número de ciclos realizados por sessão	49
Tempo total de aquisição dos dados	39200ms (39,2s)

7.10.2 Análise dos Dados obtidos

A análise dos dados obtidos durante a sessão do experimento foi realizada utilizando uma planilha eletrônica do programa Excell da MS. A análise foi realizada em duas etapas, durante a primeira foi realizado um gráfico de todos dos dados obtidos para cada ciclo de duração de 200ms, em seguida realizando observação direta dos dados representados em uma janela de tempo entre 80ms e 120 ms decorridos a partir do início do ciclo (tempo característico para o aparecimento dos EVP P100), foi realizado um gráfico parcial dos dados contidos no intervalo de tempo da janela de tempo escolhida.

7.10.3 Resultado da análise dos dados

Após observação acurada de cada gráfico correspondendo a cada ciclo, foi escolhida uma sequência representativa do Evento P100 e comparado com a representação clássica dos EVPs P100 conforme Figura 6.12, dados colhidos pelo eletrodo na posição O1.

Figura 7.19 Matriz 7x7 dos resultados da análise, referentes ao Flash de cada LED da posição A11 ate A77 da Matriz dos LEDs na Cúpula, na posição O1 no escalpo.

Comparando os sinais obtidos na posição O1 com os sinais obtidos na posição Pz onde foi localizado o eletrodo Rz dos ruídos de fundo, obtivemos os gráficos amostra das posições A₁₃, A₃₁ e A₇₄, por representarem os típicos resultados obtidos, estes gráficos são apresentados na Figura 7.20, Figura 7.21 e Figura 7.22.

Figura 7.20 Gráfico dos sinais obtidos em O1 e dos sinais de ruído de fundo, na posição A₁₃

Figura 7.21 Gráfico dos sinais obtidos em O1 e dos sinais de ruído de fundo, na posição A₃₁

Figura 7.22 Gráfico dos sinais obtidos em O1 e dos sinais de ruído de fundo, na posição A₇₄

Estes resultados se referem aos sinais obtidos na posição O1 durante o ensaio com os flashes incidindo sobre o olho esquerdo da voluntária.

Os dados referente à posição O2 foram analisados com o mesmo procedimento e foram obtidos os seguintes gráficos:

Figura 7.23 Matriz 7x7 dos resultados da análise, referentes ao Flash de cada LED da posição A11 ate A77 da Matriz dos LEDs na Cúpula, na posição O2 no escalpo.

Também comparando os sinais obtidos na posição O2 com os sinais obtidos na posição Pz onde foi localizado o eletrodo Rz dos ruídos de fundo, obtivemos os gráficos amostra das posições A32 e A54 por representarem os típicos resultados obtidos, estes gráficos são apresentados na Figura 7.24 e Figura 7.25.

Figura 7.24 Gráfico dos sinais obtidos em O2 e dos sinais de ruído de fundo, na posição A₃₂

Figura 7.25 Gráfico dos sinais obtidos em O2 e dos sinais de ruído de fundo, na posição A₅₄

Podemos notar que na Figura 7.22 os EVPs P100 em ambas as posições O1 e O2 incluindo o Pz do eletrodo de Ruídos de fundo Rz , ficam caracterizados os EVPs

Figura 7.26 Gráfico típico dos sinais obtidos em O1, O2 e dos sinais de ruído de fundo Rz.

Consolidando os dados obtidos:

1- Condições de contorno

Da iluminação ambiente - A experiência foi realizada num horário conveniente quando a luz solar esteve ausente, luzes ambientes apagadas de maneira a não interferir com os resultados prejudicando a relação sinal/ruído. A única iluminação foi a dos flashes dos LEDs e a contínua do LED de referência.

Das condições da visão da voluntária - A boas condições da visão da voluntária foram atestadas com uma verificação por parte de um profissional habilitado conforme laudo Anexo II.

Dos Parâmetros de aquisição - Os parâmetros do setup (Hadjizeno C. 1999) do VI (Virtual Instrument) foram acertados conforme segue:

Tempo de LED Ligado (TLL)	55ms
Tempo de LED Desligado (TLD)	5ms
Número de Pulsos (NP)	10pulsos
Tempo de aquisição dos dados (TAD)	200ms
Número de amostras adquiridas por ciclo	200amostras
Frequência da aquisição de dados	1000Hz
Número de ciclos realizados por sessão	49
Magnificação do sinal no Pré-amplificador	50x
Magnificação do sinal no Amplificador	2000x

Do número de fontes luminosas pontuais – Conforme descrição da construção da cúpula, a distribuição de fontes luminosas pontuais sobre a superfície hemisférica da mesma, obedeceu uma reconfiguração de uma matriz 7x7 de 49 LEDs.

Do ajuste da posição ergonômica da voluntária durante o experimento – O arranjo experimental foi ajustado a uma posição confortável para a voluntária através dos dispositivos mecânicos incorporados ao projeto do arranjo, ou seja:

A posição do queixo

A posição da frente

A altura do aparato em relação ao rosto da voluntária em posição sentada

Figura 7.27 Fixação dos eletrodos de aquisição dos dados no escalpo da voluntária.

Figura 7.28 Posição da cabeça da voluntária durante o ensaio.

A posição do centro da cúpula em relação ao centro do olho da voluntária, com o uso de uma web-cam de geometria esférica acoplada apositamente ao fundo da cúpula.

Figura 7.29 Posição da câmara.

7.10.4 - Resultados obtidos

Da origem dos dados – Os dados analisados foram obtidos a partir dos sinais oriundos dos eletrodos colocados no escalpo da voluntária, na posição O1, O2 e Pz, todos referenciados à posição Fz, sendo que da posição O1 foram registrados os sinais oriundos da irradiação ipsilateral esquerda do nervo óptico e da posição O2 a irradiação transversa, ainda da posição Pz (Rz) foram registrados os sinais oriundos de ruído de fundo (ritmo alfa), atenuado pela fraca luminosidade presente no ambiente.

Da consistência dos resultados - Após a análise dos dados obtidos, realizando extratos de 40 (quarenta) pontos do universo de 200 pontos em cada ciclo de flashes, tendo como ponto central 100 ± 20 ms, concluiu-se que a presença da transição típica dos EVPs P100 em mais de 96% dos casos confere à proposição do experimento uma boa confiabilidade empírica.

8 Conclusões

Os resultados obtidos no ensaio realizado, com eletrodos na posição Fz , O1, O2 e Pz para a captação de resultados pelo VI (Virtual Instrument) apositamente elaborado, com acionamento em sequência de LEDs azulados pelo VI, nos mostram a validade da proposta do trabalho. Indicam também que a metodologia proposta leva ao estabelecimento de uma tecnologia não invasiva e confortável na investigação do campo visual humano, conseguindo assim um avanço significativo sobre as técnicas atuais de natureza subjetiva. Também foi comprovada a validade do acendimento dos LEDs via DAQ, a captação da imagem do olho via web-cam e as diferentes movimentações do aparato mecânico do arranjo experimental. Para a realização do experimento foi obtida a aprovação do Comitê de Ética em Pesquisas em Seres Humanos, conforme Anexo.

Proposta para o futuro

Claro está que este trabalho não esgota o assunto e nos propomos aprofundar a investigação e quiçá realizar um dispositivo que possa realizar a avaliação do campo visual humano de maneira rápida, eficiente e cômoda num futuro próximo.

Para tanto propomos incluir no sistema um detector automático de desvio da posição central do olho durante a avaliação, usando um sistema de visão computacional.

Também reputamos necessário o desenvolvimento de um aplicativo para reconhecimento automático dos P100, devido às suas características de forma.

Propomos também a incorporação de um aparato de realidade virtual que substitua a cúpula, objetivando proporcionar sensível conforto a quem se submeter à avaliação do campo visual.

Bibliografia

A. Fiorentini, M.C. Morrone, V. Porciatti. **“Visual Ageing: Unspecific Decline of the Responses to Luminance and color”** Vision Research , 1996; 36(21)

A. Vassiliev, C. Bonnet M. Mihailova. **“On the delay in processing highspatial frequency visual information: Reaction time and VEP latency study of the effect of local intensity of stimulation”** Vision Research , 2002; 42(7)

Aart Kooijman, Colin Barber, Kazuo Kawasaki &, Mitchell Brigell, Chair; Michael Bach. **“Guidelines for Calibration of Stimulus and Recording Parameters Used in Clinical”** Electrophysiology of Vision ISCEV

A.F. Kohn, G.M.Manzano, L.M.Lucchesi, F.A. Bueno,^aM. Ruiz, R.R.L. Cisi, S. Miqueleti, S. Pompeia. **“Sistema análise simultânea de quatro potenciais evocados visuais, multicanais, utilizando equipamento comercial e processamento off line”** Revista Brasileira de Engenharia Biomédica, Dezembro 2000

Ana Silva A., João Batista, Vítor Carvalho **“Potenciais Evocados”** Departamento de Física da Faculdade de Ciências de Lisboa Maio de 1998

C. Hadjizeno, I.J. Murray, N.R.A. Parry. **“Spatio-temporal tuning of VEPs:effect of mode of stimulation”** Vision Research , 1999; 39(21)

Da Vinci , **Codice Atlantico** 1503

G.F.A. Harding, H. Spekreijse, J.V. Odom, W. Spileers. **“Standards for Visual Evoked Potentials”** Vision Research , 1996; 36(21)

Gert van Tonder, Sadanori Oka, Yochimichi Ejima. **“VEP study on visual processing of figural geometry”** Vision Research , 2001; 41(28)

Glaucio M. Franco **“Potencial Evocado cognitivo em adultos normais”** Arq. Neuro-Psiquiatr. v.59 n.2A São Paulo jun. 2001

H. Altner, J. Dudel, °J. Grüsser, M. Zimmerman, R. Klinke, R.F. Schimidt, U.Grüsser-Cornhels. **“ Fisiologia Sensorial”** E.P.U., SPRINGER, EDUSP São Paulo

J. B. Dos Santos J.B.. **“Sensor de frente de onda para uso oftalmológico”** Dissertação de Mestrado EESCUSP, 2004

Luccas FJC, Braga NIO, Fonseca LC, Frochtengarten ML. **Recomendações para o Registro e Interpretação do Mapeamento Topográfico do Eletroencefalograma e Potenciais Evocados Sensoriais. Parte I: Aspectos Gerais.** Brazilian Journal of Epilepsy and Clinical Neurophysiology 1996

Marcus Lira Brandão, Mario Yukio Osaki, Norberto C. Coimbra.
“Change in the potentials induced by fear-evoking stimulation”
 Physiology & Behavior, October 2000

Michele Nappi, Ph.D. **“Elementi di Percezione Visuale 1 (HVS: Human Visual System)”** Dipartimento di Matematica e Informatica
 Università degli Studi di Salerno

O. Hallen. **“ Neurofisiologia Pratica”** EDUSP, SPRINGER, 1978

PLATÃO, **Diálogos** 2002, Livro VI

Rev. Bras. Ens. Fis. vol.28 no.4 São Paulo 2006

R.F. Schmidt. **“ Neurofisiologia”** EDUSP, SPRINGER, 1979

U. Polat, A.M. Norcia. **“Elongated physiological summation pools in the human visual cortex”** Vision Research , 1998; 38(23)

<http://images.google.com.br/>

<http://www.wikipedia.org/>

<http://atlas.ucpel.tche.br/~nicolau/anato.htm>

[http://www.infopedia.pt/\\$hans-berger](http://www.infopedia.pt/$hans-berger)