

---

**TÓPICOS EM PERCEPÇÃO E PROCESSAMENTO VISUAL DA FORMA: ACUIDADE VISUAL VERSUS SENSIBILIDADE AO CONTRASTE**

**TOPICS IN PERCEPTION AND VISUAL PROCESSING OF FORM: VISUAL ACUITY VERSUS CONTRAST SENSITIVITY**

---

Natanael Antonio dos Santos\*

**RESUMO**

A acuidade visual e a função de sensibilidade ao contraste são medidas clássicas utilizadas para avaliar a capacidade do sistema visual humano. Estas duas funções são os principais indicadores dos aspectos críticos da percepção e do processamento visual da forma ou do detalhe espacial. O objetivo principal deste trabalho é levantar e discutir alguns aspectos teóricos e experimentais básicos relacionados à acuidade visual e à função de sensibilidade ao contraste. A acuidade visual estima a habilidade do sistema visual para discriminar detalhes espaciais, enquanto a função de sensibilidade ao contraste estima a percepção de qualquer padrão em função de sua frequência espacial.

**PALAVRAS-CHAVE**

Percepção visual da forma; Sistema visual humano; Acuidade visual; Função de sensibilidade ao contraste.

**Acuidade Visual**

Não existe uma definição única sobre a acuidade visual (AV), pois há diferentes tipos de AV, cada um dependendo da tarefa específica ou do detalhe a ser discriminado, que quase sempre envolve diferença de brilho entre um objeto ou parte de um objeto e seu fundo. Entretanto, a AV se refere à capacidade do sistema visual de discriminar detalhes finos de objetos ou, ainda, o limite perceptual que considera como distintos dois pontos muito próximos (DEL RIO, 1980).

Em termos perceptuais, a AV pode ser melhor definida como sendo a capacidade de resolução do sistema visual como um todo. Em outras palavras, a resposta de detecção e reconhecimento de um padrão se dá a partir da imagem projetada na retina, codificada e processada através das conexões entre as estruturas nervosas que compõem o sistema visual. Desta forma, o processamento pode ser melhor compreendido levando em consideração as observações de Gwiazda et al. (1989) e Woodhouse; Barlow (1982). Esses autores citam, por exemplo, a acuidade de Vernier para ilustrar o envolvimento de outras estruturas do sistema visual além da retina. Na acuidade de Vernier, as resoluções chegam a ser da ordem de apenas 5 s de arco ("s", segundo). Entretanto, o espaçamento entre os dois receptores mais próximos na retina é da ordem de 25 s de arco, o que não explicaria uma resolução de 5 s sem considerar processamento cortical, por exemplo, interpolação.

A acuidade de Vernier (ou acuidade de localização) testa a habilidade do sistema visual julgar a posição de objetos, como por exemplo linhas, no campo visual. Assim, ela pode ser definida como o menor desalinhamento detectável entre duas barras verticais dispostas longitudinalmente (DEL RIO, 1980; GWIAZDA et al., 1989; MUSSAP; LEVI, 1997).

## **FUNÇÃO DE SENSIBILIDADE AO CONTRASTE**

A função de sensibilidade ao contraste (FSC) é considerada uma das descrições mais completas do sistema visual (WILSON et al., 1990). Ela fornece um sumário rápido e proveitoso da resposta global do sistema visual humano (SVH) para padrões de frequências espaciais e caracteriza o processo pelo qual o sistema visual transforma informações das várias frequências do estímulo que chega (input) em estímulo percebido (output).

Frequência espacial é o número de ciclos (períodos ou listras claras e escuras) por unidade de espaço, que em percepção visual da forma foi convencionalmente denominado de ciclo por grau de ângulo visual (cpg). Por exemplo, uma frequência espacial de 2 cpg teria duas listras claras e duas escuras por grau de ângulo visual.

A sensibilidade ao contraste é definida na literatura como a recíproca da quantidade mínima de contraste necessária para detectar um padrão qualquer (por exemplo, uma grade) de uma frequência espacial específica (CORNSWEET, 1970; WOODHOUSE; BARLOW, 1982). Em outras palavras, a FSC é o inverso da curva de limiar de contraste (1/FSC). Assim, o contraste para cada frequência espacial é ajustado com um procedimento psicofísico até que o SVH possa discriminar um padrão de frequência espacial de um outro com um campo homogêneo de luminância média. Neste sentido, o SVH possui alta sensibilidade quando precisa de pouco contraste para detectar um estímulo e baixa sensibilidade quando o SVH precisa de alto valor de contraste para detectar um estímulo qualquer. Em síntese, a FSC (ou 1/FSC) normalmente estima a visibilidade de qualquer padrão (ou objeto) como uma função de sua frequência espacial.

O contraste, no caso da FSC, é calculado pela relação entre a luminância máxima e a luminância mínima, representado matematicamente da seguinte forma:  $C = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max} + L_{min}}$ . Deste modo, o contraste é sempre um valor que varia entre “zero” e “um” (contraste máximo). Enquanto, a luminância média é a luminância máxima somada à luminância mínima dividida por dois (isto é, luminância média =  $\frac{L_{max} + L_{min}}{2}$ ).

A FSC, naturalmente, tem formato geral bem definido. Isto é, apresenta sensibilidade máxima nas frequências intermediárias ou médias, aproximadamente no centro da curva, com atenuações nas frequências baixas e altas, extremos da curva.

## **ALGUNS ASPECTOS QUE AFETAM A AV E A FSC**

Medidas clássicas como a AV e a FSC podem ser influenciadas por fatores internos (por exemplo, fisiológicos como topografia da retina e idade) e/ou pelas condições físicas de teste (por exemplo, luminância, iluminância e distância). Cruz e Rios (1998) e Bicas (2002) discutem outros aspectos importantes na mensuração da AV.

Topografia ou organização neuronal da retina: Os receptores são distribuídos heterogeneamente na retina, de modo que a maior concentração e o menor espaçamento entre os receptores, por exemplo, ocorrem na fóvea. A fóvea é uma área central da retina formada apenas por cones e é, também, a região de maior resolução espacial. Por outro lado, à medida que se afasta da fóvea, a concentração de cones reduz significativamente, ao mesmo tempo em que aumenta a concentração de bastonetes. Desta forma, a partir de 10° da fóvea a concentração de cones é mínima, enquanto que a partir de 20° da fóvea a concentração de bastonetes é máxima. A organização dos receptores se reflete não só nas conexões entre receptores e células ganglionares na retina, mas também entre as conexões

celulares da retina, do núcleo geniculado lateral e do córtex visual estriado. Por exemplo, na fóvea, região de máxima acuidade visual, a relação entre cones e células ganglionares é de um para um (1:1), enquanto que na periferia, onde a concentração de bastonetes é muito maior do que a de cones, uma célula ganglionar pode se conectar a vários receptores. A organização da retina resulta em valores de acuidade e sensibilidade ao contraste diferentes, dependendo do local ou da excentricidade em que a medida é feita. Segundo Woodhouse e Barlow (1982), o ângulo visual mínimo resolvível aumenta quase linearmente com a excentricidade da retina até cerca de 25° da fóvea. Depois de 25°, o ângulo visual resolvível aumenta mais rapidamente. Em síntese, a nossa percepção visual da forma é reduzida à medida que se afasta da fóvea para a periferia da retina. Ângulo visual é o ângulo segundo o qual o observador vê o objeto e a partir do qual se define o termo limite de AV.

Idade: A FSC parece variar com o envelhecimento do SVH. Por exemplo, Owsley et al. (1983) realizaram um estudo detalhado utilizando voluntários de várias faixas etárias (20, 30, 40, 50, 60, 70 e 80 anos) e controlando a influência de patologias que afetam a FSC. O objetivo foi tentar avaliar apenas o efeito da idade na mensuração da FSC. Os resultados demonstraram prejuízos nas frequências espaciais médias e altas, principalmente, por volta dos 60 anos de idade.

Luminância e iluminância: são grandezas fotométricas relacionadas à luz. A luminância se refere à quantidade de luz refletida de um objeto ou superfície, enquanto a iluminância se refere à quantidade de luz que incide sob uma superfície. A luminância não depende da distância da fonte ao olho, enquanto que a iluminância depende, pois a iluminância diminui com o aumento da distância.

A luminância é fundamental para a percepção visual da forma ou do detalhe espacial, pois é a variação dos níveis de luminância que determina o contraste ou a luminância média que determina o brilho perceptivo. Neste sentido, o aumento ou a diminuição da luminância de um objeto em relação à luminância de fundo, que o cerca, produz um fenômeno denominado de contraste.

A definição de contraste normalmente adotada no teste da AV com optotipos é: luminância de fundo - luminância dos optotipos / luminância de fundo (DEL RIO, 1980; NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES-NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1980). Estes trabalhos recomendam que a luminância de fundo seja  $85 \pm 5$  cd/m<sup>2</sup> (candela por metro quadrado é uma unidade de luminância) e que os optotipos tenham um contraste de no mínimo 0,85. Isto implica que, na AV, o contraste entre os optotipos e o fundo da cartela é sempre muito alto. Optotipo é nome que se dá a qualquer objeto ou figura que se utilize para medir a AV.

O formato geral da FSC depende do nível de luminância utilizado em sua medida. Por exemplo, a sensibilidade do SVH é melhor em nível de luminância absoluta alta. Nesse caso, a curva padrão para pacientes normais apresenta faixa de sensibilidade máxima para grade senoidal nas frequências intermediárias (por exemplo, entre 3-5 cpg) e atenuação ou diminuição de sensibilidade nas frequências espaciais baixas e altas (extremos da curva). No caso de níveis de luminância absoluta baixo, a sensibilidade diminui e a faixa de máxima sensibilidade se desloca para a esquerda, isto é, para as frequências mais baixas (DE VALOIS; DE VALOIS, 1988). Em resumo, o formato geral da FSC depende do nível de luminância absoluta das condições de teste.

Por sua vez, a iluminação é um fator relevante à proporção que o fluxo total de raios luminosos, que devem se dirigir ao olho, precisa ter intensidade suficiente para garantir a realização do teste em condições normais de visão fotóptica ou diurna. Assim, a diminuição da intensidade luminosa acarreta uma diminuição na AV, enquanto o aumento na iluminação aumenta a AV. De certa forma, o nível ótimo de iluminação depende do grau de simplicidade ou complexidade do detalhe do objeto que se quer mensurar a acuidade. Além disso, a AV parece ser máxima quando o comprimento de onda está em torno de 570 nm (nanômetro), que equivale à luz amarela de sódio (DEL RIO, 1980).

Distância: Segundo Cruz (1986), o próprio conceito de AV como o inverso do ângulo visual em minutos de arco implica a invariância do valor da AV em diferentes distâncias de medida. No estudo da visão, ângulo visual é aquele cuja tangente é dada pela altura do estímulo visual dividida pela distância deste estímulo a um ponto situado a sete milímetros atrás do cristalino (CORNSWEET, 1970). Naturalmente, a dimensão da imagem projetada na retina depende do tamanho do objeto que a originou e da distância a que este se encontra do observador. Assim, objetos de diferentes tamanhos podem ocupar o mesmo ângulo visual, à medida que se encontrem a distâncias proporcionais do observador: uma mesma imagem “x” pode representar um objeto grande visto de longe, ou um objeto pequeno visto de perto. Outras informações relacionadas a medidas e notações da AV podem ser encontradas em Bicas (2002).

A distância geralmente adotada na literatura, quando se trata de estudos com optotipos, varia entre 5 e 6 metros. Estas distâncias são suficientemente grandes para que os raios procedentes de um objeto cheguem ao olho de forma quase paralela (DEL RIO, 1980).

Quanto à FSC, vimos acima que esta é uma função da frequência espacial, que é definida em ciclos por grau de ângulo visual. Assim, a frequência espacial de um determinado estímulo depende da distância em que ele é apresentado ao voluntário, pois o ângulo visual varia com a distância. Conseqüentemente, a distância de teste para se medir a FSC depende, principalmente, da faixa de frequência espacial que se deseja estudar.

### **TESTES OU OPTOTIPOS PARA AVALIAR A AV**

Desde que foi introduzido por Snellen (1862), os optotipos passaram por numerosas sugestões com o intuito de aperfeiçoar o seu formato. Atualmente, existe uma quantidade muito variada de testes para avaliar a AV, como, por exemplo, os testes de letras e/ou números, testes direcionais, testes de figuras, optotipos bicromáticos, acuidade de grades, acuidade de Vernier, dentre outros que poderão ser utilizados para mensurar a acuidade. Del Rio (1980) e Sloan (1955) fornecem revisões amplas sobre os aspectos teóricos de vários testes encontrados na literatura.

Existem também os optotipos de passa-alta (FRISÉN, 1987) e optotipos de tamanho fixo e contraste variado (PELLI et al., 1988). Entretanto, o relatório da National Academy of Sciences-National Research Council (1980) recomenda optotipos direcionais para estimar a AV. Esta recomendação se deve ao fato do uso de cartelas compostas por letras e/ou números exigirem conhecimentos do alfabeto. Além do mais, as letras não apresentam o mesmo grau de dificuldade para serem identificadas. Neste sentido, aqui serão feitas algumas considerações apenas sobre os principais optotipos direcionais.

Uma cartela de optotipos, geralmente, é composta por fileiras de objetos ou figuras (por exemplo, letras, números, figuras, dentre outros) de tamanhos progressivamente menores. De maneira que os optotipos são construídos individualmente com aberturas especificadas para serem visualizadas e detectadas a uma determinada distância. Neste caso, o voluntário é simplesmente questionado para reconhecer as aberturas dos objetos. A acuidade é registrada como uma fração cujo numerador é a distância em metros (ou pés) entre a cartela de optotipos e o olho, e como denominador a distância em que a abertura dos optotipos discriminados subentende “um” minuto de arco. No caso dos optotipos direcionais, a menor abertura que o sistema visual consegue resolver é tomada como a AV. A acuidade é normalmente medida em relação ao desempenho de um observador normal. Sendo assim, uma acuidade 6/6 indica que um observador é capaz de resolver e identificar determinados objetos a uma distância de seis metros, e que um observador normal também os discrimina na mesma distância. A designação 6/6 é equivalente a 20/20, uma vez que seis metros é equivalente a 20 pés. Assim, 6/6 (ou 20/20) representa a AV normal e 6/18 (20/60) representa a AV de um observador que consegue ler a seis metros o que uma pessoa normal lê a 18 metros, ou seja, a sua acuidade é 1/3 do valor normal, só sendo capaz de discriminar uma abertura de três minutos de arco.

Comentários: Nominalmente, acuidade normal é “um”, o que corresponde à habilidade de resolver um padrão cuja dimensão crítica subtende “um” minuto de arco. Porém acuidades mais altas são encontradas em condições de laboratório (CRUZ, 1986).

### **OPTOTIPOS DIRECIONAIS**

Os testes direcionais, geralmente, são compostos por um mesmo optotipo, que varia em quatro posições de base (para cima, para baixo, direita e esquerda) e em tamanho de linha para linha.

A principal vantagem dos testes direcionais em relação aos demais é que os direcionais podem ser utilizados indiscriminadamente, incluindo crianças e adultos não-alfabetizados. Entre os optotipos mais conhecidos estão: anel de Landolt, “C” de Márquez, “E” de Rasquin e o “E” de Snellen.

O anel de Landolt é um círculo incompleto apresentado em várias direções diferentes para que, em cada apresentação, seja identificado o sentido da abertura. Este é considerado um optotipo básico e recomendado como modelo padrão pelo relatório da National Academy of Sciences-National Research Council (1980). O optotipo de Márquez é um “C” quadrado incompleto com abertura idêntica à do anel de Landolt. O optotipo de Rasquin é constituído por um “E” com os três traços iguais; este é bastante semelhante ao “E” de Snellen, que, de acordo com Del Rio (1980), é o optotipo mais empregado na clínica por ser facilmente interpretado por todos os pacientes, especialmente crianças. A diferença entre o “E” de Rasquin e o “E” de Snellen é que o primeiro tem os três traços do “E” iguais, enquanto que o segundo tem o traço do meio menor.

### **PADRÕES DE FREQUÊNCIAS ESPACIAIS E A FSC**

A medida de sensibilidade ou de limiar de contraste, geralmente, envolve um procedimento simples onde um voluntário observa padrões de frequências espaciais gerados eletronicamente na tela de um televisor ou monitor especial.

Grande parte da pesquisa sobre processamento e percepção visual da forma utiliza grade senoidal como estímulo básico para avaliar as características do sistema visual (CAMPBELL et al., 1970; CAMPBELL; ROBSON, 1968; ELLEMBERG et al., 1999; GRAHAM; NACHMIAS, 1971; HENRIE; SHAPLEY, 2001; VLEUGELS et al., 1998).

Grade senoidal é um estímulo cuja luminância varia senoidalmente no espaço, em uma direção, em um sistema de coordenadas cartesianas. Neste caso, o perfil de luminância da frequência é senoidal e as variáveis experimentais principais são a frequência espacial e o contraste.

A grade senoidal foi proposta inicialmente por Selwyn (1948) e Schade (1948). Ela se tornou um estímulo clássico utilizado até então para determinar as funções ópticas e neurais do sistema visual, talvez por ter sido um dos primeiros estímulos a serem utilizados para testar as propriedades de linearidade de neurônios individuais em estudos neurofisiológicos (CAMPBELL et al., 1969; ENROTH-CUGELL; ROBSON, 1966; MAFFEI; FIORENTINI, 1973) e a seletividade de vias sintonizadas ou canais múltiplos de frequência espacial em estudos psicofísicos (BLAKEMORE; CAMPBELL, 1969; CAMPBELL; ROBSON, 1968; SACHS et al., 1971). Talvez por isto, grade senoidal é considerada, por definição, um estímulo elementar ideal para determinar as características das respostas visuais para uma faixa de frequência espacial definida em ciclos por grau de ângulo visual.

Atualmente, existe uma variedade relativamente grande de estímulos de frequências espaciais, que podem ser utilizados para caracterizar a resposta do sistema visual. Dentre estes estímulos, podemos citar, por exemplo, os padrões modulados por funções de Gabor ou DOG, que estão entre os mais estudados atualmente (GRAHAM; SUTTER, 1998; KONTSEVICH; TYLER, 1999; PELI et al., 1996; POLLEN et al., 1984) e os padrões concentricamente simétricos (GALLANT et al., 1996;



1993; HESS et al., 1999; KELLY; MAGNUSKI, 1975; SANTOS, 1999; SIMAS et al., 1997; WATSON, 2000; WILKINSON et al., 2000, 1998; WILSON; WILKINSON, 1998; 1997), que têm recebido atenção especial, porque parecem ser mais naturais considerando a forma aproximadamente circular e simétrica da retina. Além disso, padrões circularmente simétricos fornecem um centro de fixação claro, o que outros padrões (por exemplo, grade senoidal) não fornecem (KELLY, 1960; KELLY; MAGNUSKY, 1975).

Santos (1999, 1996) discute e fornece exemplos de estímulos de frequências espaciais circularmente simétricos. Por exemplo, frequência radial, frequência angular e frequência radial/angular acoplada.

Estímulo de frequência radial foi proposto inicialmente por Kelly (1960) e recebeu esta denominação porque a modulação do contraste ocorre ao longo do raio, considerando o centro do círculo como a origem do sistema de coordenadas polares. Enquanto o estímulo de frequência angular, componente ortogonal à frequência radial, foi proposto inicialmente por Simas (1985) e recebe esta denominação porque a luminância varia senoidalmente na direção angular.

### **ASPECTOS CRÍTICOS DA PERCEPÇÃO VISUAL DA FORMA: AV VERSUS FSC**

A habilidade do homem e outros animais perceberem os detalhes dos objetos ou de uma cena visual é determinada basicamente pela capacidade de seus sistemas visuais em distinguir contraste, isto é, diferenças de brilhos de áreas adjacentes (CAMPBELL; MAFFEI, 1974).

Neste sentido, conforme se tem procurado demonstrar ao longo deste trabalho, a AV e a FSC são funções relacionadas aos aspectos críticos da percepção visual de detalhes espaciais ou da forma. A diferença é que a AV descreve a percepção visual de detalhes em níveis altos de contraste, enquanto a FSC descreve a percepção visual da forma em níveis diferentes de contraste ou brilho. Sendo assim, a AV é um bom indicador dos fatores ópticos do olho, enquanto a FSC é um bom indicador tanto dos fatores ópticos como dos fatores neurais da visão (ARTAL et al., 1993; BOUR; APKARIAN, 1996; ELLIOTT; SITU, 1998; KIPER et al., 1995; POLAT et al., 1997; SUTER et al., 1994). Por este fato, a sensibilidade ao contraste tem sido uma das principais funções na avaliação do SVH, tanto do ponto de vista teórico quanto do ponto de vista clínico (JOHN, 1997; KIPER; KIORPES, 1994).

Pesquisas contemporâneas empregam medidas de sensibilidade ao contraste e à acuidade para fins bem diversificados, por exemplo:

1 - a AV e a FSC podem ser utilizadas para estudar o desenvolvimento do sistema visual ou da percepção visual da forma em crianças (CANDY et al., 1998; COURAGE; ADAMS, 1996), onde muitos aspectos responsáveis pelo surgimento da percepção visual (por exemplo, AV, FSC, visão binocular, dentre outros) estão todos reduzidos se comparados ao do adulto (BROWN, 1990; VAN SLUYTERS et al., 1990);

2 - a FSC pode caracterizar mecanismos ou canais sintonizados para frequências espaciais dentro do campo da pesquisa psicofísica e eletrofisiológica básica (BLAKEMORE et al., 1970; CAMPBELL; MAFFEI, 1970; CAMPBELL; ROBSON, 1968; PANTLE; SEKULER, 1968; SANTOS, 1999; SIMAS; DODWELL, 1990; SIMAS; SANTOS, 1997);

3 - a FSC também pode avaliar prejuízos na percepção visual da forma provocados por doenças degenerativas, desmielinização das vias visuais ou lesões corticais, como, por exemplo, esclerose múltipla (REGAN et al., 1977), estrabismo (KIPER et al., 1995; KIPER; KIORPES, 1994), albinismo (WILSON et al., 1988), ambliopia (POLAT et al., 1997; THORN; COMERFORD, 1983), catarata (ELLIOTT; SITU, 1998), acromatas (ROSNESSE et al., 1994) e doenças de Alzheimer e de Parkinson (ARTAL et al., 1993; BOUR; APKARIAN, 1996; ELLIOTT; SITU, 1998).

4 - a acuidade é importante, principalmente, para avaliar a nossa capacidade de leitura e problemas provocados por fatores ópticos, que podem ser corrigidos por lentes.

Um bom exemplo do papel da AV e da FSC ocorre na ambliopia, alteração da visão espacial devido à interação binocular anormal durante o período crítico do desenvolvimento (POLAT et al., 1997). Neste caso, a acuidade e a sensibilidade ao contraste são importantes para monitorar adequadamente os efeitos da terapia de oclusão de um dos olhos, pois o tratamento de pacientes com ambliopia envolve oclusão monocular do olho não amblíope, enquanto estimula o olho amblíope (THORN; COMERFORD, 1983).

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Considerando que o processamento de contraste pelo SVH pode ocorrer em todos os níveis no dia-a-dia, inclusive podendo chegar a um ponto onde o objeto como um todo poderá não ser visto, devido ao contraste muito alto ou muito baixo, a FSC é uma função muito eficiente e fornece uma descrição mais completa das atividades visuais do que a AV.

Criteriosamente, a FSC fornece o limite entre o mundo a baixo contraste, que é entretanto percebido, e um mundo a baixo contraste, que não se vê em determinadas condições. Ao passo que a AV representa o limite de resolução do sistema visual para detectar e reconhecer um estímulo de frequência espacial alta e em nível de contraste alto.

Entretanto, a AV e a FSC podem se complementar, pois pacientes com catarata inicial podem ter boa acuidade e reclamar de visão espacial pobre, e isto acontece devido ao prejuízo visual estar relacionado a frequências baixas e médias (ELLIOTT; SITU, 1998) e não a altas. Quando o prejuízo ocorre nas frequências baixas e médias, a FSC é o melhor indicador da capacidade do sistema visual (WOODHOUSE; BARLOW, 1982). Por outro lado, a FSC tem um procedimento demorado e de difícil emprego clínico, ao passo que a AV tem um procedimento simples, rápido e muito eficaz, principalmente quando o problema envolve prejuízos em frequências altas.

Enfim, a forma com que a AV e a FSC interagem com as condições visualizadas permite fortes inferências sobre processos comportamentais e fisiológicos básicos do SVH.

Estas duas funções estão no âmbito das pesquisas básicas conduzidas em nosso laboratório. Pesquisas que procuram caracterizar resposta do SVH com métodos psicofísicos, padrões de frequências espaciais simétricos e optotipos direcionais.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ARTAL, P.; FERRO, M.; MIRANDA, I.; NAVARRO, R. Effects of aging in retinal image quality. **Journal of the Optical Society of America**, Washington, v.10, p. 1.656-1.662, 1993.
- BICAS, H. E. A. Acuidade visual. Medidas e notações. **Arquivos Brasileiros de Oftalmologia**, Ribeirão Preto, v. 50, p. 375-384, 2002.
- BLAKEMORE, C.; CAMPBELL, F. C. On the existence of neurons in the human visual system selectively sensitive to the orientation and size of retinal images. **Journal of Physiology**, Cambridge, v. 203, p. 237-260, 1969.
- BLAKEMORE, C.; NACHMIAS, J.; SUTTON, P. The perceived spatial frequency selective neurones in the human brain. **Journal of Physiology**, Cambridge, v. 210, p. 727-750, 1970.

BOUR, L. J.; APKARIAN, P. Selective broad-band spatial frequency loss in contrast sensitivity functions. **Investigative Ophthalmology & Visual Science**, Bethesda, v. 37, n. 12, p. 2.475-2.484, 1996.

BROWN, A. M. Development of visual sensitivity to light and color vision in infants: A critical review. **Vision Research**, Oxford, v. 30, p. 1.159-1.188, 1990.

CAMPBELL, F. W.; COOPER, G. F.; ENROTH-CUGELL, C. The spatial selectivity of the visual cells of the cat. **Journal of Physiology**, Cambridge, v. 203, p. 223-235, 1969.

CAMPBELL, F. W.; MAFFEI, L. Electrophysiological evidence for the existence of orientation and size detectors in the human visual system. **Journal of Physiology**, Cambridge, v. 207, p. 635-652, 1970.

\_\_\_\_\_. Contrast and spatial frequency. **Scientific American**, New York, v. 231, p. 106-114, 1974.

CAMPBELL, F. W.; NACHMIAS, J.; JUKES, J. Spatial-frequency discrimination in human vision. **Journal of the Optical Society of America**, Washington, v. 60, p. 555-559, 1970.

CAMPBELL, F. W.; ROBSON, F. G. Application of the Fourier analysis to the visibility of gratings. **Journal of Physiology**, Cambridge, v. 197, p. 551-566, 1968.

CANDY, T. R.; CROWELL, J. A.; BANKS, M. S. Optical, receptor, and retinal constraints on foveal and peripheral vision in the human neonate. **Vision Research**, Oxford, v. 38, p. 3.857-3.870, 1998.

CORNSWEET, T. N. **Vision Perception**. New York: Academic Press, 1970.

COURAGE, M. L.; ADAMS, R. J. Infant peripheral vision: The development of monocular visual acuity in the first 3 months of postnatal life. **Vision Research**, Oxford, v. 36, p. 1.207-1.215, 1996.

CRUZ, A. A. V. **Padrões de acuidade visual um conceito estatístico de ambliopia**. Tese de Doutorado não publicada, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1986.

CRUZ, A. A. V.; RIOS, S. S. Acuidade Visual. **Arquivos Brasileiros de Psicologia**, Rio de Janeiro, v. 50, p. 9-26, 1998.

DEL RIO, E.G. **Optica Fisiológica Clínica**. 4.ed. Barcelona: Ediciones Toray S.A., 1980.

DE VALOIS, R. L.; DE VALOIS, K. K. **Spatial Vision**. New York: Oxford University Press, 1988.

ELLEMBERG, D.; LEWIS, T. L.; LIU, C. H.; MAURER, D. Development of spatial and temporal vision during childhood. **Vision Research**, Oxford, v. 39, p. 2.325-2.333, 1999.

ELLIOTT, D. B.; SITU, P. Visual acuity versus letter contrast sensitivity in early cataract. **Vision Research**, Oxford, v. 38, p. 2.047-2.052, 1998.

ENROTH-CUGELL, C.; ROBSON, J. M. The contrast sensitivity of retinal ganglion cells of the cat. **Journal of Physiology**, Cambridge, v. 187, p. 512-552, 1966.

FRISÉN, L. High-pass resolution targets in peripheral vision. **Ophthalmology**, Philadelphia, v. 94, p. 1.104-1.108, 1987.

GALLANT, J. L.; BRAU, J.; VAN ESSEN, D. C. Selectivity for polar hyperbolic, and cartesian gratings in macaque visual cortex. **Science**, Washington, v. 259, p. 100-103, 1993.

GALLANT, J. L.; CONNOR, C. E.; RAKSHIT, S.; LEWIS, J. W.; VAN ESSEN, D. C. Neural responses to polar, hyperbolic, and cartesian gratings in area V4 of the macaque monkey. **Journal of Neurophysiology**, Bethesda, v. 76, p. 2.718-2.739, 1996.

GRAHAM, N.; NACHMIAS, J. Detection of grating patterns containing two spatial frequencies: A comparison of single-channel and multiple channel models. **Vision Research**, Oxford, v. 11, p. 251-259, 1971.

GRAHAM, N.; SUTTER, A. Spatial summation in simple (Fourier) and complex (non-Fourier) texture channels. **Vision Research**, Oxford, v. 38, p. 231-257, 1998.



GWIAZDA, J.; BAUER, J.; HELD, R. From visual acuity to hyperacuity: A 10-year update. **Canadian Journal of Psychology**, Saskatchewan, v. 43, n. 2, p. 109-120, 1989.

HENRIE, J. A.; SHAPLEY, R.M. The relatively small decline in orientation acuity as stimulus size decreases. **Vision Research**, Oxford, v. 41, p. 1.723-1.733, 2001.

HESS, R. F.; WANG, Y.Z.; DEMANINS, R.; WILKINSON, F.; WILSON, H. R. A deficit in strabismic amblyopia for global shape detection. **Vision Research**, Oxford, v. 39, p. 901-914, 1999.

JOHN, R. S. Contrast detection and orientation discrimination thresholds associated with meridional amblyopia. **Vision Research**, Oxford, v. 37, p. 1.451-1.457, 1997.

KELLY, D. H. Jo stimulus patterns for vision research. **Journal of the Optical Society of America**, Washington, v. 50, p. 1.115-1.116, 1960.

KELLY, D. H.; MAGNUSKI, H. S. Pattern detection and the two dimensional Fourier transform: Circular targets. **Vision Research**, Oxford, v. 15, p. 911-915, 1975.

KIPER, D. C.; GEGENFURTNER, K. R.; KIORPES. Spatial frequency channels in experimentally strabismic monkeys revealed by oblique masking. **Vision Research**, Oxford, v. 35, p. 2.737-2.742, 1995.

KIPER, D. C.; KIORPES. Suprathreshold contrast sensitivity in experimentally strabismic monkeys. **Vision Research**, Oxford, v. 34, p. 1.575-1.583, 1994.

KONTSEVICH, L.L.; TYLER, C.W. Nonlinearities of near-threshold contrast transduction. **Vision Research**, Oxford, v. 39, p. 1.869-1.880, 1999.

MAFFEI, L.; FIORENTINI, A. The visual cortex as a spatial frequency analyzer. **Vision Research**, Oxford, v. 13, p. 1.255-1.267, 1973.

MUSSAP, A. J.; LEVI, D. M. Vernier acuity with plaid masks: The role of oriented filters in Vernier acuity. **Vision Research**, Oxford, v. 37, p. 1.325-1.340, 1997.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES-NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Recommended standard procedures for the clinical measurement and specification of visual acuity. Report of working Group 39. **Advances in Ophthalmology**, Michigan, v. 41, p. 103-148, 1980.

OWSLEY, C.; SEKULER, R.; SIEMSEN, D. Contrast sensitivity throughout adulthood. **Vision Research**, Oxford, v. 23, n. 7, p. 689-699, 1983.

PANTLE; A.; SEKULER, R. Size detecting mechanisms in human vision. **Science**, Washington, v. 162, p. 1.146-1.148, 1968.

PELI, E.; AREND, L.; LABIANCA, A. T. Contrast perception across changes in luminance and spatial frequency. **Journal of the Optical Society of America**, Washington, v. 13, p. 1953-1959, 1996.

PELLI, D.G.; ROBSON, J.G.; WILKINS, A.J. The design of a new letter chart for measuring contrast sensitivity. **Clinical Vision Science**, v. 2, n. 3, p. 187-199, 1988

POLAT, U.; SAGI, D.; NORCIA, A. M. Abnormal long-range spatial interactions in amblyopia. **Vision Research**, Oxford, v. 37, p. 737-744, 1997.

POLLEN, D. A.; NAGLER, M.; DAUGMAN, J. G.; KROANER, R.; KOENDERINK, J. J. Use of Gabor elementary functions to probe receptive field substructure of posterior inferotemporal neurons in the owl monkey. **Vision Research**, Oxford, v. 24, p. 233-242, 1984.

REGAN, D.; SILVER, R.; MURRAY, T. J. Visual acuity and contrast sensitivity in multiple sclerosis-hidden visual class. **Brain**, Orlando, v. 100, p. 563-579, 1977.

ROSNES, R.; MAGNUSSEN, S.; NORDBY, K. Spatial vision of the achromatic: The tilt aftereffect. **Vision Research**, Oxford, v. 34, p. 2.021-2.022, 1994.

SACHS, M. B.; NACHMIAS, J.; ROBSON, J. G. Spatial frequency channels in human vision. **Journal of the Optical Society of America**, Washington, v. 61, p.1176-1186, 1971.

SANTOS, N. A. **Sistema visual humano: Filtragem de frequências radiais moduladas por perfis de Bessel j0, j1, j2, j4, j8 e j16**. Dissertação de Mestrado não-publicada, Curso de Pós-

Graduação em Neurociências e Comportamento, Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

\_\_\_\_\_. **Sistema visual humano: Curvas de sensibilidade e filtragem de frequências angulares, radiais e radial/angulares acopladas.** Tese de Doutorado não-publicada, Curso de Pós-Graduação em Neurociências e Comportamento, Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

SCHADE, O. H. Electro-optical characteristics of television systems. 1. Characteristics of vision and visual systems. **RCA Review**, London, v. 9, p. 5-37, 1948.

SELWYN, E. W. H. The photographic and visual resolving power of lenses. Visual resolving power. **Photographic Journal**, Croydon, v. 88B, p. 6-12, 1948.

SIMAS, M. L. B. **Linearity and domain invariance in the visual system.** Ph.D. thesis. Queen's University at Kingston, Ontario, Canada, University Microfilms International. Ann Arbor: Michigan, 1985.

SIMAS, M. L. B.; DODWELL, P. C. Angular frequency filtering: A basis for pattern decomposition. **Spatial Vision**, Zeist, v. 5, p. 59-74, 1990.

SIMAS, M. L. B.; SANTOS, N. A. Human visual contrast detection of radial frequency stimuli defined by Bessel profiles  $j_0$ ,  $j_1$ ,  $j_2$ ,  $j_4$ ,  $j_8$  and  $j_{16}$  and its relation to angular frequency.

**Proceedings of the II Workshop on Cybernetic Vision**, IEEE Computer Science, p. 219-224, 1997.

SIMAS, M. L. S.; SANTOS, N. A.; THIERS, F. A. Contrast sensitivity to angular frequency stimuli is higher than that for sinewave gratings in the respective middle range. **Brazilian Journal Medical Biological Research**, Ribeirão Preto, v. 30, p. 633-636, 1997.

SLOAN, L. L. Measurement of visual acuity. **Archives of Ophthalmology**, Skopie, v. 45, p. 704-725, 1955.

SNELLEN, H. **Scala tipographia per mesurare il visus.** Utrecht: Universitat of Utrecht, 1862.

SUTER, P. S.; SUTER, S.; ROESSLER, J. S.; PARKER, K. L.; ARMSTRONG, C. A.; POWERS, J. C. Spatial-frequency-tuned channels in early infancy: vep evidence. **Vision Research**, Oxford, v. 34, p. 737-745, 1994.

THORN, F.; COMERFORD, J. P. Use of various measures of visual acuity and contrast sensitivity in the evaluation of monocular occlusion and active vision training of three adult amblyopes. **American Journal of Optometry and Physiological Optics**, Baltimore, v. 60, p. 426-435, 1983.

VAN SLUYTERS, R. C.; ATKINSON, M. S.; HELD, R. M.; PETER HOFFMAN, K.; SHATZ, C. J. The development of vision and visual perception. In: SPILLMANN, S. W.; WERNER, J. S. (Orgs.). **The Neurophysiological Foundations.** New York: Academic Press, 1990. p. 349-379.

VLEUGELS, L.; VAN NUNEN, A.; LAFOSSE, C.; KETELAER, P.; VANDENBUSSCHE, E. Temporal and spatial resolution in foveal vision of multiple sclerosis patients. **Vision Research**, Oxford, v. 38, p. 2.987-2.997, 1998.

WATSON, A. B. Visual detection of spatial contrast patterns: Evaluation of five simple models. **Optics Express**, Washington, v. 6, n. 1, p. 12-33, 2000.

WILKINSON, F.; JAMES, T. W.; WILSON, H. R.; GATI, J. S.; MENON, R. S.; GOODALE, M. A. An fMRI study of the selective activation of human extrastriate form vision areas by radial and concentric gratings. **Current Biology**, London, v. 10, p. 1.455-1.458, 2000.

WILKINSON, F.; WILSON, H. R.; HABAK, C. Detection and recognition of radial frequency patterns. **Vision Research**, Oxford, v. 38, p. 3.555-3.568, 1998.

WILSON, H. R.; LEVI, D.; MAFFEI, L.; ROVAMO, J.; DE VALOIS, R. The perception of form: Retina to striate cortex. In: SPILLMANN, S. W.; WERNER, J. S. (Orgs.). **The Neurophysiological Foundations.** New York: Academic Press, 1990. p. 349-379.

WILSON, H. R.; NAGY, S. E.; METS, M. B.; PERRERA, V. P. Spatial frequency and orientation tuning of spatial visual mechanisms in human albinos. **Vision Research**, Oxford, v. 28, p. 991-999, 1988.

WILSON, H. R.; WILKINSON, F. Evolving concepts of spatial channels in vision: From independence to nonlinear interactions. **Perception**, Bristol, v. 26, p. 939-960, 1997.

\_\_\_\_\_. Detection of global structure in glass patterns: Implications for form vision. **Vision Research**, Oxford, v. 38, p. 2.933-2.947, 1998.

WOODHOUSE, J. M.; BARLOW, H.B. Spatial and temporal resolution and analysis. In: BARLOW, H. B.; MOLLON, J. D. (Orgs.). **The Senses**. Cambridge: Cambridge University Press, 1982. p. 133-164.

## **ABSTRACT**

This work discusses some important aspects about visual acuity, VA, and contrast sensitivity function, CSF. The VA and the CSF are classical functions or measurements used to appreciate the capacity of the human visual system on perception and on visual processing of form or spatial detail. One of the goals of this paper is to discuss important theoretical and experimental aspects related to VA and CSF that are the principal indicators of perception and visual processing of form in humans. Visual acuity estimates the ability of the visual system to resolve spatial details, whereas CSF estimates the perception of any pattern in function of the spatial frequency.

## **KEYWORDS**

Visual perception of form; Human visual system; Visual acuity; Contrast sensitivity function.

Recebido em: 15/08/2001

Aceito para publicação em: 17/03/2003

Endereço: natanael@ufpb.br

\* Professor Adjunto, Coordenador do Laboratório de Processamento Visual, Departamento de Psicologia da Universidade Federal da Paraíba. Doutor em Neurociências e Comportamento pelo Departamento de Psicologia Experimental da Universidade de São Paulo.