

EDUARDO AZEVEDO AURA CONCI FABIANA LETA

COMPUTAÇÃO & GRÁFICA

TEORIA E PRÁTICA:
ANÁLISE DE IMAGENS

VOL. 2



ALTA BOOKS
EDITORA
Rio de Janeiro, 2022

Sumário

CAPÍTULO 1	
FUNDAMENTOS	1
1. Introdução	3
1.1. Abrangência das Diversas Áreas	4
CAPÍTULO 2	
COR E VISÃO HUMANA	9
2. Cor e Visão Humana	11
2.1. Sistema de Visão Humana	11
2.2. Características Ópticas da Luz	20
2.2.1. Radiação	21
2.3. Percepção de Cor	26
2.3.1. Teoria Tricromática	26
2.3.2. Dicromatopsias	27
2.4. Iluminação	28
2.4.1. Lâmpadas Incandescentes	29
2.4.2. Lâmpadas de Descarga	30
2.4.3. A Iluminação e as Cores	32
2.5. Modelos de Cores	36
2.6. Características das Cores	40
2.7. Percepção e Cognição	43
2.7.1. Processo Informativo	46
2.7.2. Detecção	46
2.7.3. Reconhecimento	47
2.7.4. Discriminação	47
CAPÍTULO 3	
PROCESSAMENTO DE IMAGENS	49
3. Visão Computacional	51
3.1. Principais Etapas de um Sistema de Visão Computacional	52
3.1.1. Aquisição de Imagens	52

3.1.2. Restauração e Realce	55
3.1.3. Segmentação	55
3.1.4. Extração de Atributos ou Características	56
3.1.5. Classificação e Reconhecimento	56
3.1.6. Decisão	57
3.2. Visão Humana × Computacional	60
3.3. A Imagem Digital	63
3.3.1. Discretização e Reconstrução	65
3.3.2. Amostragem e Quantificação	67
3.3.3. Resolução Espacial	69
3.3.2. <i>Aliasing</i>	71
3.3.4. Imagens Monocromáticas	73
3.3.5. Imagens Coloridas	76
3.4. Histograma de Imagem Digital	77
3.5. Sistemas de Visão Binária	80
3.5.1. Agrupamento por Limiar (Limiarização)	81
3.6. Operações Pontuais Globais em Imagens	87
3.6.1. Operações Pontuais Globais Baseadas na Curva de Tons	88
3.6.2. Operações Globais Baseadas em Histograma	93
3.6.3. Técnicas Baseadas no Histograma de Imagens Coloridas	98

CAPÍTULO 4

A IMAGEM DIGITAL **105**

4. Operações em Imagens	107
4.1. Operações Pontuais	107
4.1.1. Operações Aritméticas	109
4.1.2. Operações Lógicas	112
4.2. Operações Locais	114
4.2.1. Forma de Atenuar o Efeito de <i>Aliasing</i>	115
4.3. Operações Globais	117
4.4. Transformações Geométricas	118
4.4.1. Translação, Rotação e Escala	118
4.4.2. Espelhamento ou Reflexão	121
4.4.3. Deformações e <i>Morphing</i>	122
4.4.3.1. Deformações	123
4.4.3.2. Deformações Dependentes do Tempo	126
4.4.3.3. <i>Morphing</i>	127

CAPÍTULO 5

FILTROS DE IMAGENS **133**

5. Filtragem de Imagens	135
5.1. Filtragem no Domínio da Freqüência	136
5.1.1. Filtragem Passa-Baixa	145

5.1.2. Filtragem Passa-Alta	147
5.1.3. Outros Filtros no Domínio de Freqüência	148
5.1.4. Imagens de Impressão Digital no Domínio de Fourier	150
5.1.5. Filtro de Gabor	154
5.2. Filtragem no Domínio Espacial	163
5.2.1. Filtros Lineares e Não-Lineares	165
5.2.2. Patamares e Descontinuidades nas Intensidades da Imagem	166
5.2.3. Filtros Passa-Baixa – Filtros de Suavização	168
5.2.4. Filtros Passa-Alta ou de Acentuação	175
5.2.5. Filtros Passa-Banda ou Elimina-Faixa	191
5.2.6. Filtro Alto Reforço	191

CAPÍTULO 6

EXTRAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS **195**

6. Extração de Características e Reconhecimento de Padrões e Objetos	197
6.1. Segmentação	198
6.1.1. Segmentação Baseada em Regiões	201
6.1.2. Outras Técnicas de Segmentação	209
6.1.3. Propriedades do Pixel	210
6.1.4. Rotulação	215
6.2. Tipos de Características	216
6.2.1. Análise de Componentes Principais (PCA)	217
6.3. Descritores de Forma	226
6.3.1. Características Dimensionais	226
6.3.2. Características Inerciais	230
6.3.3. Características de Contorno	236
6.3.4. Características Topológicas	256
6.3.5. Características de Aspecto	257
6.3.6. Outras Características	258
6.4. Reconhecimento de Padrões em Imagens	259
6.4.1. Reconhecimento de Padrões	260
6.4.2. Classificação Supervisionada	261
6.4.3. Classificação Não-Supervisionada	266
6.4.4. Redes Neurais Artificiais	266
6.4.5. Lógica Fuzzy	267
6.5. Conclusão	267

CAPÍTULO 7

TEXTURAS **269**

7. Texturas	271
7.1. Coeficiente de Hurst	274
7.2. Coeficientes de Variação Espacial	277
7.3. Momentos de Intensidades de Regiões ou Medidas de Primeira Ordem	280

7.4. Medidas de Segunda Ordem _____	282
7.4.1. Matrizes de Co-Ocorrência _____	283
7.4.2. Descritores de Textura de Haralick _____	287
7.4.3. Funções de Autocorrelação _____	290
7.4.4. Descritores de Textura Baseados nos Histogramas de Soma e Diferenças _____	291
7.5. Reconhecimento de Texturas por Codificação RL ou LZW _____	292
7.6. Dimensão Fractal _____	293
7.6.1. Estimando a Dimensão Fractal de Imagens Binárias _____	295
7.6.2. Estimando a Dimensão Fractal de Imagens em Escala de Cinza _____	296
7.7. Conclusão _____	304

CAPÍTULO 8

COMPRESSÃO DE IMAGEM _____ 309

8. Compressão de Imagem _____	311
8.1. Redundâncias na Imagem _____	311
8.1.1. Compressão de Imagens e Modelos de Cores _____	313
8.1.2. Medição do Desempenho _____	313
8.1.2.1 Critérios de Fidelidade Objetivos _____	314
8.1.2.2 Critérios de Fidelidade Subjetivos _____	316
8.1.3. Modelos de Compressão de Imagens _____	317
8.2. Métodos de Compressão de Imagem _____	319
8.2.1. Compressão sem Perda _____	320
8.2.2. Compressão com Perda _____	320
8.2.3. Por Que Pode Haver Perda de Dados? _____	320
8.2.4. Compressão Simétrica <i>versus</i> Assimétrica _____	321
8.2.5. Compressão por Transformada _____	321
8.3. Elementos da Teoria de Informação _____	322
8.3.1. Unidade de Informação _____	322
8.3.2. Canal de Informação _____	323
8.3.3. Elementos do Canal de Informação _____	323
8.3.4. Elementos da Transmissão _____	323
8.4. Entropia da Imagem _____	325
8.4.1. Teoremas Fundamentais da Codificação _____	327
8.4.2. Teorema da Codificação sem Ruído _____	327
8.4.3. Teorema da Codificação Ruidosa _____	329
8.4.4. Teorema da Codificação da Fonte _____	329
8.5. Métodos de Codificação sem Perda _____	330
8.5.1. Codificação de Huffman _____	330
8.5.2. Codificação por LZW _____	332
8.5.3. Codificação por LZ77 _____	335
8.5.4. Codificação por Código de Tons Corridos – RLE _____	336
8.6. Transformada Discreta do Co-Seno (DCT) _____	336

8.7. Compressão Fractal	337
8.7.1. Comprimindo Imagens com a Geometria Fractal	339
8.7.2. Teorema do Mapeamento de Contração e Teorema da Colagem	341
8.7.3. Determinando o SFI de Imagens Automaticamente	342
8.7.4. Considerações sobre a Simetria do Bloco-Domínio	344
8.7.5. Etapas da Compressão Fractal Automática	347
8.8. Compressão por Wavelets	352
8.8.1. Perspectiva Histórica	353
8.8.2. Análise de Wavelet	355
8.8.3. Transformada de Wavelet Contínua	355
8.8.4. Transformada de Wavelet Discreta	359
8.8.5. Semelhanças entre Transformada de Fourier e Wavelet	359
8.8.6. Diferenças entre Transformada de Fourier e Transformada de Wavelet	360
8.8.7. Wavelets Unidimensionais	362
8.8.8. Wavelet Bidimensional	368
8.9. Padrões de Arquivos de Imagem	370
8.9.1. GIF	372
8.9.2. PNG	378
8.9.3. JPEG	378
8.9.4. JPEG2000	384
8.9.5. MJPEG	385
8.9.6. BMP	386
8.9.7. Formato PCX	394
Bibliografia	397
Índice	405

CAPÍTULO 1

Fundamentos

AMOSTRA

AMOSTRA

1. INTRODUÇÃO

A *computação gráfica* (CG), conforme apresentado na Seção 1.3 do Volume 1, engloba ao menos três grandes áreas: a *síntese de imagens* (SI), o *processamento de imagens* (PI) e a *análise de imagens* (AI). Uma imagem pode ser considerada uma representação visual de objetos, podendo ser adquirida (fotos, filmes, cenas etc.) ou gerada (pinturas, desenhos, esculturas etc.). Essas áreas são esquematizadas na Figura 1.1.

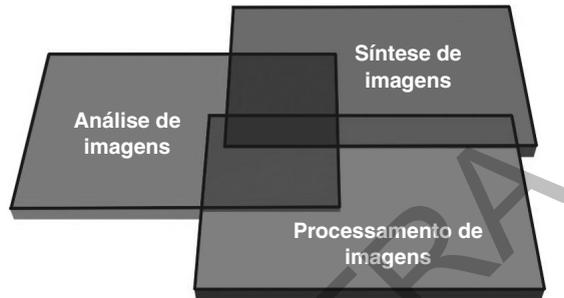


FIGURA 1.1. Grandes áreas da computação gráfica.

A imagem digital é uma representação de uma imagem em uma região discreta, limitada através de um conjunto finito de valores inteiros que representam cada um dos seus pontos. As imagens digitais podem ser unidimensionais, bidimensionais ou tridimensionais. Podem ser binárias, monocromáticas, multibandas ou coloridas, quanto ao conteúdo de cada um de seus pontos. Também podem ser vetoriais ou matriciais quanto à forma de descrição.

Até a década de 1980, o maior emprego das imagens digitais consistia em imagens provenientes da pesquisa espacial. Na verdade, as imagens capturadas fora da Terra eram transmitidas e recebidas como arranjos de números representando as intensidades captadas por sensores, cada sensor cobrindo uma faixa do espectro eletromagnético, visível ou não. Usualmente as bandas correspondentes a diversos sensores são combinadas três a três e atribuídas às diferentes bandas RGB de um dispositivo de visualização, gerando uma imagem digital colorida mais adequada para representar o fenômeno em estudo.

Atualmente, as imagens digitais encontram-se difundidas em muitas aplicações. O aumento do seu emprego se deve muito ao fato de que grande parte das informações que o ser humano obtém do mundo que o cerca ocorre através de imagens, seja no cotidiano, andando na rua, vendo televisão, folheando uma revista, lendo livros ou em aplicações profissionais e científicas, em que muitos dados são analisados a partir de fotografias, espectrogramas, e imagens térmicas, entre outras. Dessa diversidade foram se caracterizando as diversas áreas, subáreas e especificidades da CG.

1.1. Abrangência das Diversas Áreas

As áreas relacionadas a sistemas de imagens digitais, como processamento de imagens, análise de imagens, síntese de imagens, visão computacional e reconhecimento de padrões, têm atualmente um campo de abrangência ou escopo bem caracterizado, relacionando dados e imagens.

Para compreender as diferentes áreas, é interessante observar o esquema da Figura 1.2. A diferença entre cada uma delas se concentra na relação entre o uso de técnicas de inteligência artificial, dados e imagens. Se os dados são usados para a geração de imagens, a área em consideração será a síntese de imagens. Se esses dados forem resultados de informações adquiridas das imagens, a área considerada será a análise de imagens. O processamento de imagens é o ramo da computação gráfica que transforma as imagens, assim como o processamento de dados é o ramo da computação que transforma os dados.

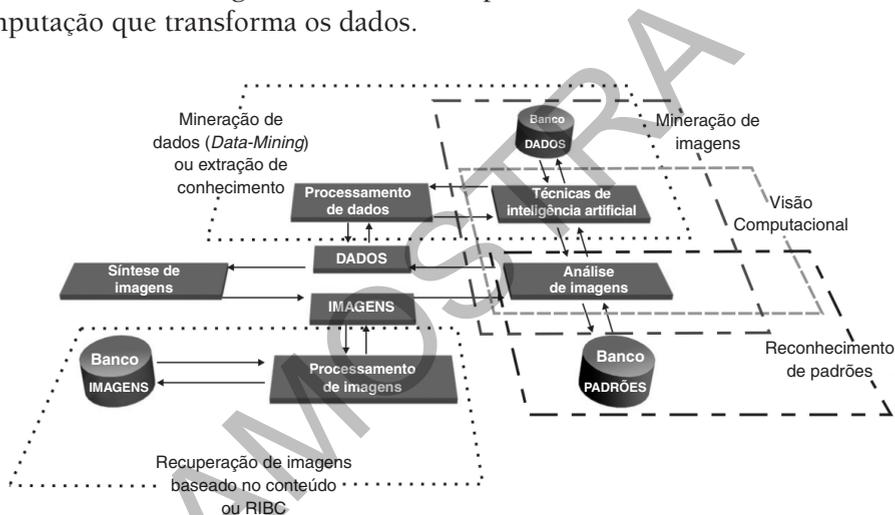


FIGURA 1.2. Interação entre as diversas áreas relacionadas a sistemas de imagens digitais.

O *processamento de imagens* considera a manipulação de imagens depois de capturadas por dispositivos imageadores, que podem ser câmeras digitais, *scanners*, tomógrafos, sensores infravermelho, sensores de ultra-som, radares, satélites etc. Pode-se dizer que, em um sistema de processamento de imagens, as imagens referem-se tanto aos dados de entrada como aos de saída (Figura 1.2). Esse processamento pode envolver o rearranjo dos pontos ou pixels (de *picture element*) da imagem alterando os valores dos tons dos pixels, por exemplo, de acordo com os tons dos pixels vizinhos, ou deslocando sua intensidade para novas posições.

A área de processamento de imagens inclui tópicos como diminuição de ruídos, realce de imagem, restauração de imagens e recuperação de imagens armazenadas em banco de dados, baseada no conteúdo visual. Se houver alguma interpretação da

informação, esta é deixada para o usuário. Mas a tarefa de interpretar as informações da imagem também pode ser realizada através de algoritmos computacionais. Algoritmos de processamento de imagens são úteis em estágios iniciais de sistemas de análise de imagens, sendo freqüentemente usados para melhor extrair as informações necessárias para a realização das etapas posteriores de reconhecimento de padrões, visão computacional ou extração de conhecimento das imagens (mineração de imagens).

Por outro lado, os algoritmos de análise de imagens tomam imagens como entradas, mas produzem outros tipos de saída. A análise de imagens (AI) consiste em encontrar parâmetros descritivos (em geral numéricos) que representem de modo sucinto informações importantes da imagem. A AI se dedica a desenvolver teorias e métodos voltados à extração de informações úteis contidas em imagens.

Relacionada à análise de imagens, a *visão computacional (VC)* vem se desenvolvendo muito nos últimos anos. Esta área trata da extração de informações das imagens e da identificação e classificação de objetos presentes nessa imagem. Os sistemas de VC vêm sendo usados em reconhecimento de pessoas, de assinaturas e de objetos; inspeção de peças em linhas de montagem; orientação de movimentos de robôs em indústrias automatizadas etc. Os sistemas de visão computacional envolvem AI e técnicas de inteligência artificial (IA) ou de tomada de decisão, que permitem a identificação e classificação de objetos ou imagens. Grandes bancos de dados ou de imagens podem ser usados com técnicas de inteligência artificial para extração de conhecimento, essa área é conhecida como *mineração de dados ou imagens*. A Figura 1.2 também mostra o inter-relacionamento entre a extração do conhecimento, a visão computacional e a inteligência artificial.

Com o desenvolvimento da *inteligência artificial*, área da ciência da computação em que os programas de computador são desenvolvidos para simular a cognição, passou a ser possível elaborar programas de computador que possam perceber visualmente o ambiente. Nesse contexto, pode-se definir a visão computacional como o domínio da ciência da computação que estuda e aplica métodos que permitem aos computadores “compreenderem” o conteúdo de uma imagem. Alguns autores consideram a visão computacional como um subcampo da inteligência artificial, por vezes denominando esta área de *visão artificial*.

Se a informação visual puder ser padronizada, o objetivo da análise da imagem pode ser seu reconhecimento ou classificação, considerando um catálogo de padrões possíveis ou um banco de padrões. Essa forma particular é chamada de *reconhecimento de padrões*. Ela classifica dados visuais numéricos ou simbólicos baseada em informações contidas em bancos de dados de padrões. Muitas técnicas estatísticas e sintáticas têm sido desenvolvidas para classificação de padrões. Técnicas de reconhecimento de padrões representam um papel importante em visão computacional, pois muitas aplicações industriais necessitam de sistemas que realizem a tarefa de reconhecimento de padrões para a tomada de decisões.

O reconhecimento da importância da *visão computacional* se deu com a idéia de que os computadores poderiam ser usados para simular processamentos complexos de percepção visual. Até então, a visão e outras formas de percepção e cognição eram entendidas como exclusivas de seres vivos, não desenvolvíveis através de máquinas. Em algumas referências, o termo visão de máquina é usado como uma alusão a esse processo, assim como o termo visão robótica é usado quando o processo é realizado por um robô.

Para entender melhor as possibilidades e limitações da visão computacional, torna-se importante entender as diferenças entre cenas do mundo real e sua representação por meio de imagens digitais. As cenas reais são imagens contínuas e com variações de cores ilimitadas, enquanto imagens processadas são discretas e representadas por um número fixo de cores ou tons. Isso se deve à limitação dos dispositivos físicos de captura existentes, como *scanners* e câmeras. Além disso, para ser possível “entender” uma imagem, é necessário extrair dela características que permitam sua interpretação. Muitas vezes essas características devem ser obtidas de objetos tridimensionais representados de forma bidimensional. É claro que o ser humano pode inferir, a partir do contexto, informações tridimensionais dos objetos e perceber se são maiores ou menores, se estão mais próximos ou não, identificar sua forma, suas dimensões etc. Por outro lado, um sistema computacional pode ser desenvolvido para obter de forma precisa tais informações, inclusive em lugares inacessíveis ou perigosos. Diante dessas questões, pode-se observar que criar um sistema de visão por computador implica estabelecer algoritmos matemáticos que permitam extrair informações de imagens que possam ser interpretadas para uma dada aplicação, o que nem sempre é uma tarefa simples.

Uma área complementar à Análise de Imagens consiste na *síntese de imagens*. A síntese de imagens, ou computação gráfica gerativa, envolve a criação sintética de imagens por computador a partir de dados dos objetos e cenas. Ela transforma dados em imagens que podem ser consideradas na forma vetorial (objetivo principal do Volume 1) ou matricial como as imagens médicas de ressonância magnética, ultra-som e tomografias. Suas técnicas representam um papel importante em visualização científica e realidade virtual.

Em algumas aplicações, a síntese de imagens tem por objetivo gerar imagens usando primitivas geométricas como linhas, círculos e superfícies, buscando uma representação de objetos do mundo real. Neste contexto a análise de imagens pode ser entendida como o processo inverso: estimar as geometrias primitivas e outras características da imagem. Nos últimos anos, esses dois extremos têm se aproximado. A análise de imagens vem usando curvas, representações de superfície e algumas outras técnicas de síntese de imagens. Visando à criação de imagens realistas, utilizam-se também técnicas de AI inserindo objetos reais e modelos de textura nos objetos e cenas geradas sinteticamente.

Finalmente, em muitos casos, o computador pode avaliar e representar como imagem informações que de outra forma não seriam interpretáveis. Esse é o caso das imagens termográficas, de ultra-som, de ressonância magnética, originárias de raios X (radiografias e tomografias) e das imagens capturadas por satélites, por sonares, radares, entre outras, que são *sintetizadas* a partir dos dados de sua aquisição, geralmente na forma de imagens matriciais.

AMOSTRA

CAPÍTULO 2

Cor e Visão Humana

AMOSTRA

AMOSTRA

2. COR E VISÃO HUMANA

A imagem é formada a partir da quantidade de luz refletida ou emitida pelo objeto observado. A cor pode ser descrita de três formas: a cor física, a cor do objeto e a cor percebida. A análise da cor física considera a descrição da cor em termos de energia radiante da fonte emissora de luz. A cor do objeto é aquela refletida por um objeto quando este é iluminado por uma fonte de luz (e é essa cor que atinge o sistema visual do observador). A cor percebida pode ser entendida como sendo a percepção imediata que se tem do objeto. Assim, a cor pode ser considerada a propriedade de um objeto ou fonte de luz relacionada não apenas às propriedades físicas do objeto ou fonte de luz, mas também às características do sistema visual do observador.

Em computação gráfica e processamento de imagens, o resultado de ambas as áreas é destinado a um observador, e a visão humana é essencial para a interpretação desse resultado. Entender e conhecer o funcionamento desse sentido torna-se importante, pois possibilita a geração de resultados de melhor qualidade.

Neste capítulo será apresentado o funcionamento do sistema de visão humana e como se dá o processo de percepção da cor.

2.1. Sistema de Visão Humana

Para entender como uma imagem é formada, deve-se compreender inicialmente como é o processo de visão nos seres humanos. O olho humano é um órgão sensorial complexo, que captura relações espaciais e temporais de objetos que se encontram no espaço visual, convertendo energia luminosa em sinais elétricos processados no cérebro. No seu trajeto, a energia luminosa passa inicialmente pelo olho, onde a retina encaminha impulsos via nervo óptico ao órgão formador da imagem (cérebro).

O processo de visão inicia-se na córnea, onde ocorre a entrada do estímulo luminoso. A retina converte esse estímulo em sinais elétricos que são transmitidos para o cérebro através do nervo óptico, que contém aproximadamente um milhão de fibras nervosas. A chave para a percepção visual se encontra na retina, que ocupa uma área de aproximadamente 1.000 mm^2 e é composta de cerca de 100 milhões de sensores. Cada sensor converte somente uma parte do estímulo luminoso da imagem para o sinal elétrico que será processado pelo cérebro. Para se ter uma idéia comparativa, as câmeras digitais atuais possuem cerca de 16 milhões de sensores.

A visão, então, não se processa diretamente. Pode-se pensar que assim que a imagem do mundo “penetra” no olho, ela é vista. Porém na realidade os objetos que o ser humano enxerga são interpretados e reconhecíveis porque o homem aprendeu a reconhecê-los assim. O sistema visual não é simplesmente uma câmera, um receptor e um registrador de informações. O olho e o cérebro, juntos, constituem um sistema de informações que analisa e processa a grande quantidade de dados que vêm do mundo exterior. O olho é o receptor seletivo de energia radiante, e o cérebro de-

semprenha um papel importante de integração. O cérebro dedica bilhões de seus neurônios e trilhões de suas sinapses à visão.

Ao contrário do que se pensa, os olhos não vêem. Existem pessoas cujas funções ópticas estão em perfeito estado, porém, não são capazes de enxergar, pois possuem lesões em áreas do cérebro que recebem e interpretam mensagens enviadas pelos olhos. Os olhos são sensibilizados pela luz refletida ou emitida dos objetos, essas sensações são transmitidas ao cérebro, que as interpreta, ocorrendo então o ato de “ver”.

De todos os sentidos humanos, a visão é que fornece a maior quantidade de informação a ser processada pelo cérebro, estima-se que metade do processamento cerebral humano se destina à visão. Essa é uma das razões pelas quais os deficientes visuais acabam por aprimorar mais os demais sentidos, pois a parte do cérebro inicialmente destinada à visão passa a ser utilizada por esses sentidos.

O cérebro humano não processa todo o campo de visão, mas apenas a parte que capta a sua atenção, o que faz com que pequenas alterações nesta imagem sejam facilmente percebidas.

O cérebro humano possui duas partes ligadas de tal forma que o hemisfério esquerdo constrói o campo visual direito e o hemisfério direito constrói o campo visual esquerdo. Um engano comum é pensar que o olho direito está conectado ao hemisfério esquerdo e o olho esquerdo ao hemisfério direito. Na verdade, os dois olhos estão conectados a ambos os hemisférios. Pode-se observar, pela Figura 2.1, que a metade direita de cada olho está ligada ao hemisfério direito do cérebro e que a metade esquerda de cada olho está ligada ao hemisfério esquerdo. Mas, devido ao fato de a óptica do olho reverter em esquerdo e direito, assim como em ponto superior e inferior, a metade direita de cada olho vê a metade esquerda do campo visual, e a metade esquerda de cada olho vê a metade direita do campo visual (Hoffman, 2001).

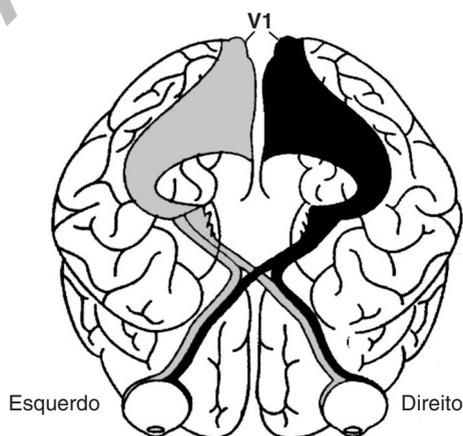


FIGURA 2.1. Hemisférios e visão.

Se uma pessoa sofrer um dano apenas no hemisfério esquerdo do cérebro, mais precisamente no local onde se encontra o centro do senso cromático (circunvoluções lingual e fusiforme, apresentadas na Figura 2.2), ela não poderá mais perceber cor no campo visual direito, enxergando apenas tons de cinza. Há relatos de neurofisiologistas que, tendo descoberto que a atividade de neurônios nessa área do cérebro tem relação com a cor percebida, realizaram pesquisas que concluíram que, se houver o estímulo em tal área através de um campo magnético, obtêm-se como resposta a percepção de anéis e halos coloridos. Nesse caso, nem é necessária a presença da luz, ou até mesmo de olhos, para que se perceba cor (Hoffman, 2001).

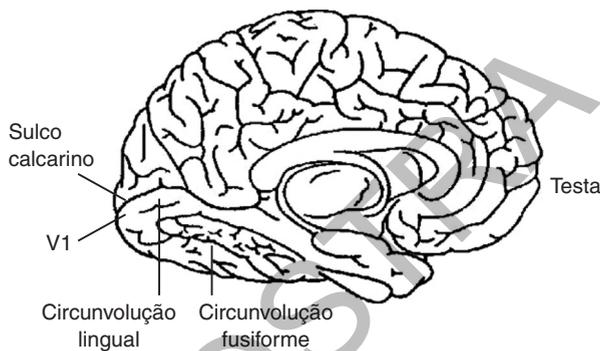


FIGURA 2.2. Circunvoluções lingual e fusiforme.

A visão é a resposta ao estímulo luminoso que atravessa as camadas transparentes da retina e, no nível dos cones e bastonetes, desencadeia reações fotoquímicas que são transformadas em impulsos nervosos, transmitidos pelas fibras ópticas aos centros cerebrais superiores. O sistema óptico é formado por um esquema fisiológico complexo que permite interpretar não somente a sensação de cor, mas também a profundidade, a textura, o movimento etc.

Do ponto de vista fisiológico, as principais características do olho humano, durante o processo de visão, estão ligadas à *acomodação*, *adaptação*, *acuidade*, *persistência visual*, *visão de cores* e *ao campo de visão*. Cada uma delas influi em maior ou menor grau no momento da análise da tarefa visual.

Na Figura 2.3 (que é uma versão mais detalhada da Figura 5.2 do Volume 1), observa-se que o olho humano é uma estrutura esférica de 20 a 25 mm de diâmetro. A cobertura externa, conhecida como “branco do olho”, é uma membrana elástica resistente chamada de esclerótica.

Na parte da frente do olho, a esclerótica arqueia para a frente, formando a *córnea*. A córnea é o primeiro elemento opticamente ativo do olho. Ela age como uma lente simples que começa captando e concentrando a luz. A córnea permite a recepção de luz do ambiente.