

4

Colorização 3D

Através da história da animação, é possível encontrar uma variedade de técnicas que ainda demandam um grande esforço do animador e, algumas vezes, habilidades que requerem anos de prática. Para alcançar a gama de efeitos em uso atualmente, animadores frequentemente necessitam utilizar ferramentas que utilizam modelos tridimensionais. Edwin Catmull [4] demonstra que a carência de informação tridimensional constitui o principal problema na animação tradicional. Em particular, desenhos 2D não possuem as informações tridimensionais presentes na mente do animador. Contudo, todo mundo espera que representações 2D comportem-se de maneira similar ao nosso modelo mental.

O sombreamento é um método fundamental para a ilusão de uma estrutura 3D de um objeto em uma imagem bidimensional [29]. Pesquisadores em renderização não-foto-realista têm investigado uma variedade de técnicas que simulam sombreamentos encontrados na arte, como, por exemplo, na imagem do filme *Les Triplettes de Belleville* [30] exibida na Figura 4.1.

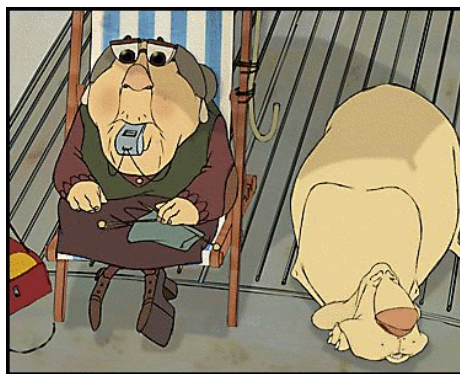


Figura 4.1: Sombreamento muito utilizado em animações tradicionais. Imagem do filme *Les Triplettes de Belleville*.

Animadores frequentemente utilizam técnicas de sombreamento para realçar a percepção de profundidade e localização das personagens em imagens bidimensionais. Esses efeitos demandam uma carga de trabalho maior do animador, que necessita colorir as regiões sombreadas de acordo

com uma dada configuração de luzes respeitando a geometria e posição da personagem.

Na animação assistida por computador, animadores freqüentemente utilizam o artifício de imagens filtros para indicar as intensidades e localizações das sombras na personagem. A iluminação é obtida multiplicando-se as imagens colorida e filtro ponto-a-ponto. Para transmitir o efeito de sombra, os *pixels* correspondentes à região sombreada na imagem filtro devem diminuir a intensidade dos *pixels* na imagem colorida.

A Figura 4.2a) mostra uma imagem definida apenas pelo canal alfa indicando as regiões na qual a sombra deve ser adicionada. A composição desta imagem com a imagem colorida (Figura 4.2b)) transmite um efeito de sombreamento mostrado na Figura 4.2c).

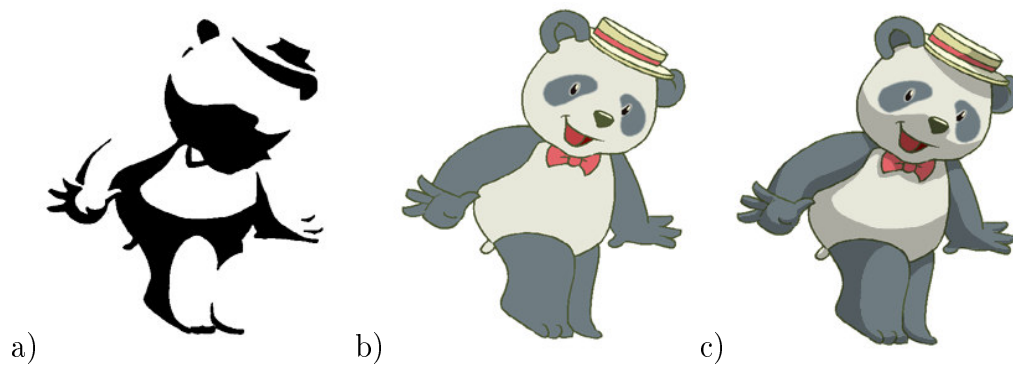


Figura 4.2: Sombreamento feito por um animador. Em a) Imagem indicando as posições e intensidades de sombra; b) Imagem colorida; c) Aplicação da sombra a imagem colorida.

O processo acima mostra que, para cada quadro da animação, dois outros (sombra e composição) devem ser geradas aumentando assim a carga de trabalho do animador. Visando reduzir esse esforço requerido, este capítulo apresenta métodos para sombreamento automático de imagens bidimensionais produzidas através do processo tradicional de animação.

4.1

Técnicas de Sombreamento

Utilizando posições 2D e uma aproximação para normais, muitas técnicas de renderização podem ser adaptadas para iluminar um desenho. Os métodos de sombreamento apresentados nesta seção pressupõem que as imagens de entrada passaram pelo processamento descrito no Capítulo 3 deste trabalho, apresentando então uma aproximação para sua geometria tridimensional.

A Figura 4.3b) mostra um campo de vetores normais aproximados para a urso exibido na Figura 4.3a). Utilizando essa geometria aproximada, as próximas seções demonstram como sombreamentos podem ser aplicados a trabalhos artísticos manuais acrescentando-lhes a beleza e vitalidade presente na renderização foto e não-foto-realista.

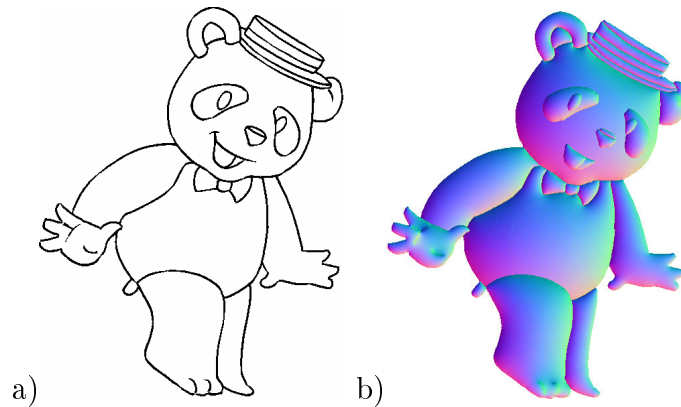


Figura 4.3: Na figura a) Imagem Original b) Imagem exibindo o campo de normais.

4.1.1 Sombreamento em Estilo Desenho Animado

Personagens de desenhos animados são intencionalmente "bidimensionais". Reduzindo os detalhes nas características de uma personagem transmite uma simplicidade em busca de prender o público na história e adicionar humor e emoção à sua aparência. L. Williams [31] demonstra que uma das simplificações críticas que fazem a animação tradicional possível e prática é a representação dos objetos e personagens através de linhas de bordo preenchidas com cores sólidas. Detalhes devem ser utilizados quando realmente são necessários e de forma consistente a fim de viabilizar a produção de dezenas de centenas de imagens da animação. Assim, ao invés de sombrear o personagem com o objetivo de dar-lhe aparência tridimensional, os cartunistas geralmente utilizam cores sólidas que não variam através dos materiais que eles representam. Frequentemente o artista irá sombrear a parte do material que está na sombra com uma cor que é mais escura do que a cor do material. Esse truque adiciona idéia de iluminação, de forma e de contexto da personagem na cena, e até mesmo a idéia de dramaticidade [32]. A Figura 4.4 mostra um exemplo de sombreamento em estilo desenho animado.

Esta seção demonstra que modelos tridimensionais não são obrigatórios para aplicação de sombreamento do tipo desenho animado a per-



Figura 4.4: Exemplo de sombreamento em estilo desenho animado.

sonagens. Como exemplo, discute-se como o algoritmo de A. Lake *et al.* [32], projetado para receber modelos tridimensionais, pode ser utilizado em imagens bidimensionais com geometrias aproximadas.

Ao invés de sombrear interpolando suavemente um modelo como no sombreamento Gouraud [34], A. Lake *et al.* utiliza o método onde um limite de transição entre sombras é encontrado e cada lado desse limite é sombreado com uma cor sólida. A equação de iluminação utilizada para calcular a iluminação difusa nos vértices para ambos sombreamento suave e sombreamento é descrita como:

$$C_i = a_g \times a_m + a_l \times a_m + (Max\{\bar{L} \cdot \bar{n}, 0\}) \times d_l \times d_m \quad (4-1)$$

- C_i – Cor do vértice.
- a_g – Coeficiente global de luz ambiente.
- a_l – Coeficientes ambiente e difuso para a fonte de luz.
- a_m – Coeficientes ambiente e difuso para material do objeto.
- $\bar{L}$ – Vetor unitário a partir da fonte de luz até o vértice.
- $\bar{n}$ – Vetor unitário normal à superfície do vértice.
- $\bar{L} \cdot \bar{n}$ – Cosseno do ângulo entre os dois vetores.

A matemática para a abordagem de A. Lake *et al.* é essencialmente a mesma. Ao invés de calcular a cor por vértice, sua abordagem cria um mapa de textura com um mínimo de cores (em muitos casos apenas duas – uma para a área iluminada e outra para a parte sombreada). A cor principal do mapa de textura é calculada trocando-se o produto in-

terno da equação 4-1 pelo valor 1 (que é equivalente ao ângulo de zero grau, e normalmente ocorre quando a luz está direcionada diretamente para o vértice). A cor para a sombra é calculada trocando-se o produto interno da equação 4-1 pelo valor 0 (ficando então apenas a iluminação ambiente). A textura resultante é um mapa de textura unidimensional, e no caso mais simples, esta possui apenas duas entradas – uma para cada cor.

O limite entre as regiões iluminadas e sombreadas neste modelo depende, assim como a cor calculada no sombreamento suave, do cosseno do ângulo entre os vetores de luz e normal. Se ao invés de modelos tridimensionais, geometrias aproximadas forem utilizadas, o método de A Lake *et al.* pode ser perfeitamente aplicado a imagens bidimensionais, como mostra a Figura 4.5. Assim como na abordagem de A. Lake *et al.*, o animador precisa apenas informar a posição da luz e a cor base de cada região na imagem.

A Figura 4.5 mostra o resultado da aplicação da técnica descrita acima ao campo de vetores normais ilustrados em 4.3b). O método apresentado nessa dissertação utiliza modelo de iluminação local, portanto ele não exhibe propriamente os efeitos devido à interação entre as diferentes áreas da imagem (por exemplo, sombra e inter-reflexão). Portanto é possível perceber uma inconsistência na área cinza do olho direito do panda de acordo com o sombreamento de sua cabeça.



Figura 4.5: Imagem sombreada em estilo desenho animado a partir de normais aproximadas.

Embora o resultado não seja 100% preciso, é possível perceber suas vantagens quando comparado ao processo tradicional onde um esforço maior é requerido do animador. A Figura 4.6 exibe uma seqüência de imagens coloridas em estilo desenho animado através da abordagem proposta neste

trabalho. O efeito final obtido é bastante satisfatório dando a impressão de ter sido colorida por um animador real.



Figura 4.6: Seqüência de desenhos sombreados em estilo desenho animado aplicado através da assistência do computador.

4.1.2

Sombreamento *Phong*

O modelo de iluminação de *Phong* [35] é provavelmente o mais utilizado em computação gráfica. Nesse modelo, a luz em qualquer ponto é composta por três componentes: ambiente, difusa e especular. Essas três componentes são aditivas e determinam o aspecto final da iluminação e da cor de um determinado ponto na cena ou da superfície de um determinado polígono plano contido nela.

Para que seja possível o cálculo dos ângulos de reflexão de forma eficiente e gerar intensidades de iluminação (luz difusa) e reflexos (luz especular) realistas, é necessário utilizar uma representação simples e compacta do ângulo de inclinação da superfície em questão. Para iluminar uma animação nesse modelo é necessário possuir uma quantidade de informação que se apresenta insuficiente em imagens bidimensionais. Mesmo sua reprodução "manualmente" é um trabalho não comum para os animadores tradicionais. A necessidade de informação de luminosidade *pixel-a-pixel* desencoraja os artistas tradicionais a desenvolverem filmes nesta direção. Com o objetivo de amenizar essa dificuldade, esta seção mostra que o modelo de *Phong* pode ser viável a animadores se normais aproximadas forem utilizadas.

Através dos vetores normais obtidos através do processamento descrito no Capítulo 3, o modelo de iluminação de *Phong* pode ser aplicado na imagem uma vez que as intensidades das fontes de luz (ambiente, difusa e especular), seus coeficientes (difuso e especular) e as posições do observador e da fonte de luz sejam definidos pelo animador.

Finalmente, o modelo de *Phong* pode ser aplicado à imagem através de sua equação:

$$I = I_{amb} + I_{dif} + I_{espec}$$

onde:

$$\begin{aligned} I_{amb} &= I_A r_{amb} \\ I_{dif} &= I_L r_{dif} (\vec{v}_L \cdot \vec{v}_n) \\ I_{espec} &= I_L r_{espec} (\vec{v}_{ref} \cdot \vec{v}_{obs})^s \end{aligned}$$

sendo:

I_{amb} – Intensidade da luz ambiente da superfície.

I_A – Intensidade global da luz ambiente.

r_{amb} – Coeficiente de reflectividade ambiente da superfície.

I_{dif} – Intensidade da luz difusa.

I_L – Intensidade da fonte de luz.

r_{dif} – Coeficiente de reflectividade difusa da superfície.

$\vec{v}_L$ – Vetor normalizado apontando para a fonte de luz.

$\vec{v}_n$ – Vetor da superfície.

I_{espec} – Intensidade da luz especular.

I_L – Intensidade da fonte de luz.

r_{espec} – Coeficiente de reflectividade especular da superfície.

$\vec{v}_{ref}$ – Vetor normalizado apontando para a direção de reflexão.

$\vec{v}_{obs}$ – Vetor normalizado apontando para a direção do observador.

s – Expoente especular.

A Figura 4.7 mostra o resultado da aplicação deste modelo à imagem da Figura 4.3a) utilizando normais aproximadas (Figura 4.3b). Os resultados obtidos para este modelo de iluminação podem ser considerados satisfatórios, reforçando nossa idéia de que mapas de normais aproximados podem ser utilizados para aplicações de técnicas de sombreado em imagens 2D.



Figura 4.7: Imagem sombreada em estilo *Phong* renderizada pela ferramenta.

A utilização do modelo de *Phong* possibilita resultados de grande apelo tridimensional, aproximando com bastante eficácia a iluminação incidente sobre superfícies curvas. Se acrescidos de detalhes como silhuetas e contornos, os resultados obtidos perdem um pouco do aspecto artificial comumente encontrado nas imagens geradas por computador como mostra a Figura 4.8



Figura 4.8: Sombreamento *Phong* com adição de contorno.

4.1.3 Mapeamentos

Recentemente, a computação gráfica tem feito um grande progresso na animação tridimensional. W. T. Correa *et al.* [36] afirma que existem vantagens em animar em 3D ao invés de 2D, como, por exemplo: realismo, iluminação e efeitos de sombreamento complexos, fácil movimentação de

câmera e reuso de figuras entre as cenas. Além disso, é fácil aplicar texturas complexas a personagens tridimensionais. Assim, é recomendável a utilização da computação gráfica 3D para criar toda a animação, ou pelo menos as personagens que possuem texturas interessantes. Contudo, existem várias razões para que animações feitas à mão não sejam substituídas por imagens geradas por computador. Para os animadores tradicionais, é mais fácil trabalhar em 2D do que em 3D. A simplicidade inerente aos desenhos 2D, onde apenas alguns poucos gestos ilustrados com uma caneta podem sugerir vida e emoção, é difícil de alcançar manipulando modelos 3D.

Técnicas de mapeamentos foram introduzidas na computação gráfica na tese de doutorado de E. Catmull em 1974. Ele desenvolveu um método, chamado de mapeamento de textura, que permite aplicar uma imagem sobre uma superfície. Após esse trabalho, diversas aplicações pioneiras de mapeamentos apareceram tanto na literatura quanto nos efeitos especiais de filmes [37].

Uma desafio na utilização de texturas em desenhos bidimensionais é a carência de informação tridimensional como superfície e profundidade. W. T. Corrêa *et al.* [36], apresenta um método para aplicação de texturas complexas a personagens de animação tradicional. O método correlaciona características em um simples modelo tridimensional (construído pelo animador) texturizado em conformidade com o desenho bidimensional. Pela necessidade da construção de um modelo tridimensional da região a ser aplicada a textura, o método de Corrêa *et al.* foi projetado para ser utilizado em imagens de fundo, que permanecem na animação por vários quadros.

Animadores freqüentemente utilizam texturas para simular a reflexão de ambientes em objetos geométrico. Na computação gráfica, o traçado de raios é um dos métodos mais comuns para a simulação de superfícies de reflexão. Porém, esse método é bastante complexo e requer uma estrutura tridimensional da cena.

Para simular superfícies refletoras em animações tradicionais, o animador necessita desenhar propriamente o efeito desejado ou transformar a textura do ambiente aplicando-lhe distorções, rotações ou filtros, para então atribuí-la à região desejada. A fim de assistir animadores a simular superfícies refletoras em personagens bidimensionais, esta seção propõe o uso de técnicas de mapeamento de reflexão combinados com geometrias aproximadas.

Mapeamento de Reflexão

O mapeamento de reflexão consiste em utilizar o mapeamento de ambiente de modo a simular uma reflexão do ambiente num objeto geométrico [37]. Esse tipo de mapeamento é bastante utilizado em animação de forma a dar mais realismo à cena. Na literatura, a técnica de *chrome mapping* permite que um padrão bidimensional arbitrário seja refletido numa superfície que simula as propriedades do cromo. Essa técnica é diferente do mapeamento de textura na medida que a textura muda com variações no ponto de vista. No caso do mapeamento de texturas, as coordenadas (u, v) são funções da geometria do objeto. No caso do *chrome mapping*, essas coordenadas variam com a posição do objeto, a normal da superfície e sua orientação com relação ao observador.

O vetor de reflexão é o principal componente necessário para identificar o valor da reflexão num dado ponto da cena. Considere o objeto geométrico O num determinado cenário. Segundo [37], o vetor de reflexão no ponto $p \in O$, é dado por:

$$r = v - 2\langle v, n \rangle n$$

sendo n , o vetor unitário normal à superfície O e $v = \vec{po}$, o vetor unitário na direção do observador.

A coordenada associada ao ponto p na textura do ambiente, é definida pelo algoritmo *chrome map* de L. Velho *et al.* [38] como sendo:

$$r_x = r_x/2 + 0.5$$

$$r_y = r_y/2 + 0.5$$

Para calcular a cor do ponto p , é preciso apenas acessar o ponto $(r_x/w, r_y/h)$ da textura do ambiente, onde w e h são respectivamente a largura e altura

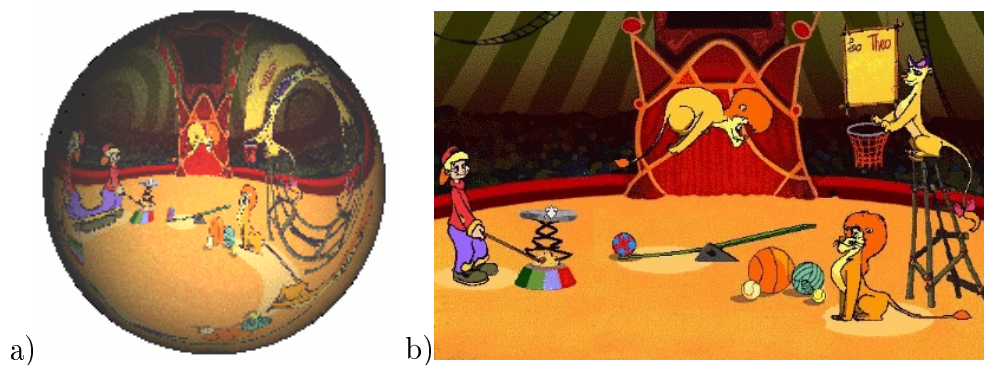


Figura 4.9: Mapeamento de reflexão através do algoritmo de *chrome mapping*. A textura ambiente mostrada em b) é refletida em a).

da imagem.



Figura 4.10: Mapeamento de reflexão através do algoritmo de *chrome mapping*.

A Figura 4.9b) mostra a reflexão da textura ambiente exibida na Figura 4.9b) aplicada ao círculo através do algoritmo *chrome mapping* acima utilizando vetores normais que aproximam a geometria do desenho. Quando a imagem resultante é inserida numa cena, tem-se o efeito mostrado na Figura 4.10. Demonstra-se então que uma vez que a geometria da personagem foi aproximada superfícies refletoras são facilmente simuladas.

Para obter a simulação das propriedades do material cromo, as componentes de iluminação difusa e especular devem ser aplicadas a cada *pixel* do objeto. Este efeito pode ser visualizado na Figura 4.11.



Figura 4.11: Mapeamento de textura onde as propriedades do material cromo foram simuladas.