

## 5 Rastreamento

Tradicionalmente, a produção de animações 2D tem sido um processo exaustivo de fabricação manual de seqüências dinâmicas. A maior parte do trabalho é gasto em duas tarefas tediosas: desenho à tinta e colorização das personagens de cada cena. Essas tarefas são cerca de 60% de todo o esforço requerido no processo de produção de animação [20].

Com a assistência do computador no estágio de colorização, a carga de trabalho dos animadores pode ser reduzida, o custo de produção diminuído e ainda, obter um ganho de tempo. Existe um bom número de sistemas de assistência à colorização para animações 2D. Por exemplo, o Toon Boom [21] e o TicTacTon [5], produzidos pela Toon Boom Technologies; Retas! Pro 2 [22] produzido pela CELSYS Inc. e o Animo [23] produzido pela Cambridge Animation Systems. Para colorir um desenho através desses sistemas, o usuário precisa selecionar uma cor na paleta de cores, no modelo de cores ou em um desenho e indicar a região a ser colorida utilizando um *mouse* ou outro equipamento. Em todas essas ferramentas, a seleção de cores deve ser determinada pelo usuário para todos os quadros da seqüência da animação. Assim, apesar do grande êxito na redução de tempo, trabalho e custo da produção da animação, a colorização ainda continua sendo uma tarefa tediosa. Neste capítulo, investiga-se como colorir automaticamente uma imagem numa seqüência de animação baseado num quadro previamente colorido.

### 5.1 Correspondência entre regiões

No processo de colorização, o animador intuitivamente encontra uma correspondência entre as regiões de um quadro previamente pintado e outro a colorir. A primeira etapa a ser considerada quando deseja-se inserir o computador como assistente nessa tarefa é: qual o conhecimento utilizado nesse processo intuitivo executado pelo animador? Se tal processo for

reproduzido ou pelo menos aproximado por uma seqüência de tarefas distintas, é possível utilizar computadores para sua automação.

O primeiro passo, e talvez o mais importante, no processo de colorização é estabelecer uma correspondência entre as regiões de dois quadros. Na animação tradicional, uma cena é, em geral, o produto de pequenas alterações do quadro anterior a fim de transmitir um movimento suave. Por possuírem um bom grau de semelhança, o animador freqüentemente consegue propagar a informação de cor de um quadro para outro sem maiores problemas.

O passo mais desafiador na análise da estrutura e movimento de uma cena dinâmica é estabelecer a correspondência entre imagens. Similarmente, o casamento entre duas regiões numa seqüência de animação é um passo crítico para a colorização automática. Existem vários métodos na literatura para estabelecer correspondências entre regiões de imagens, como por exemplo [39], [40], [41]. Para a computação gráfica, o domínio desse problema abrange vários tipos de *tokens* como pontos, correlações de padrões, ou estruturas de mais alto nível como curvas.

Muito se tem feito no campo do vídeo computacional (rastreamento de objetos entre quadros com informação temporal). Como as imagens adquiridas nesses casos são geralmente obtidas através de câmeras, informações geométricas e fotométricas podem ser extraídas. Além disso, esses modelos seguem leis físicas da natureza apresentando comportamento consistente com relação à aceleração, direção do deslocamento, preservação da massa, dentre outros. Baseado nessa hipótese, se um certo objeto vem se deslocando com determinada aceleração e sentido durante  $n$  quadros de um vídeo, é possível utilizar este conhecimento para prever a sua posição no quadro  $n + 1$ . Entretanto, em animações tradicionais, pouco, ou quase nada, pode ser assumido. Nesse domínio, informações fotométricas são inexistentes e nem mesmo pode-se esperar uma consistência nas informações geométricas ou de movimento. O animador é livre para criar qualquer tipo de situação por mais irreal que esta seja. Não há limites para a imaginação sendo praticamente impossível de prever com 100% de certeza qualquer ação numa seqüência de animação.

## 5.2

### Desafios na colorização

Embora os quadros consecutivos de uma animação possuam um grande grau de semelhança, algumas vezes o animador encontra problemas para

sua colorização. A Figura 5.1 ilustra uma possível situação passível de ocorrer em qualquer animação. Como saber qual o casamento correto entre as circunferências das imagens a) e b)?

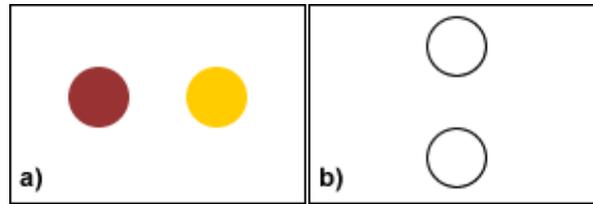


Figura 5.1: Ambigüidade na colorização. Como saber qual o melhor casamento entre as circunferências das imagens a) e b)?

Nem mesmo uma análise do movimento realizado pelos objetos nos  $n$  quadros anteriores poderia resolver esta ambigüidade com 100% de certeza. Da mesma forma que se faz difícil para o animador, é difícil projetar algoritmos que consigam resolver toda e qualquer ambigüidade nesse domínio. Contudo, se quadros de uma animação são, em geral, pequenas variações de seus antecessores, informações inerentes aos objetos, à suas localizações e à suas estruturas topológicas na cena podem ser utilizadas para resolver situações menos ambíguas.

A Figura 5.2 mostra um bom casamento entre os objetos da imagem 5.2a) com os objetos da imagem 5.2b). Embora este relacionamento não possa ser 100% validado, é intuitivo pensar que o objeto  $C$  seja relacionado ao objeto  $A$  pelas suas respectivas **posições** na cena.

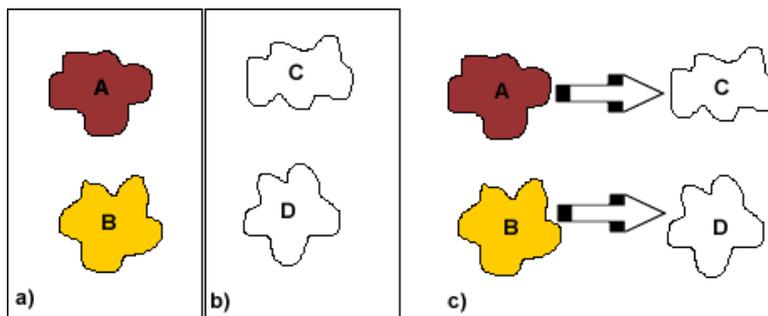


Figura 5.2: Casamento entre regiões de maneira intuitiva.

Apesar de ser um bom indicador, a informação de posição não é suficiente para resolver certas ambigüidades quando avaliada isoladamente. A Figura 5.3 mostra uma situação onde as distâncias entre os possíveis pareamentos entre os objetos são iguais. Neste caso, a posição dos objetos na cena não deve ser utilizada como única fonte de informação para resolução da ambigüidade.

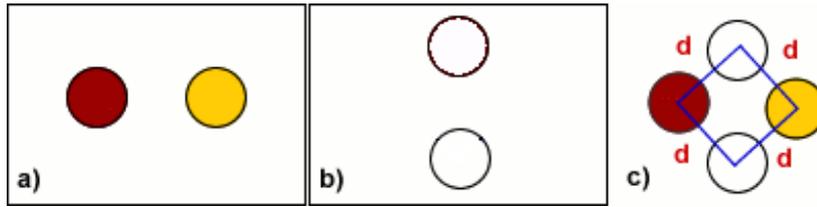


Figura 5.3: Quando as distâncias entre os pareamentos são iguais, a ambigüidade permanece.

Um segundo fator que pode agregar confiabilidade à correspondência entre os objetos é a sua forma. Da mesma maneira que objetos costumam executar pequenos deslocamentos em quadros consecutivos, sua forma também sofre pequenas variações se comparadas globalmente na imagem. O **volume** e a **geometria** dos objetos podem ser bons indicadores para um melhor casamento, como é intuitivo fazer o pareamento entre as regiões das imagens da Figura 5.4a) e b).

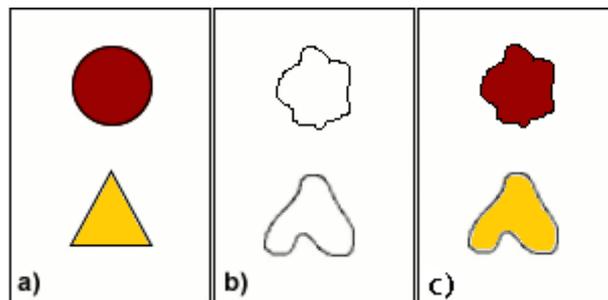


Figura 5.4: Casamento intuitivo utilizando informações de volume e geometria.

Se aliarmos as informações de posição e geometria, problemas de colorização como mostrados na Figura 5.5 podem ser facilmente *resolvidos*. Entretanto, se os objetos possuírem geometrias e deslocamentos iguais, pode-se chegar ao mesmo impasse da Figura 5.3.

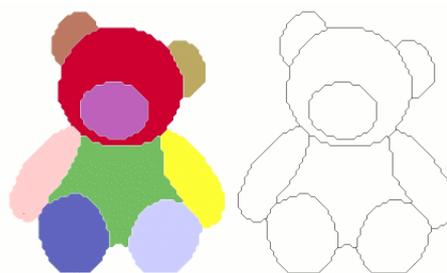


Figura 5.5: Quando aliadas, informações de geometria e posição podem resolver ambigüidades.

A **estrutura topológica** da cena pode ser uma poderosa aliada na identificação de correspondências entre imagens. Se a cena da Figura 5.3

pudesse ser analisada em relação à topologia geral da imagem, importantes informações poderiam ser extraídas. A Figura 5.6 mostra os objetos da Figura 5.3 imersos numa cena.

Através da vizinhança e posição dos objetos na cena, é possível extrair informações capazes de ajudar na solução de problemas de ambigüidade. A partir das posições do quadrado e do triângulo da cena ilustrada na Figura 5.6a), é possível *resolver* a ambigüidade na distinção dos círculos. Porém, é possível perceber que existirão casos onde nem mesmo utilizando informações de topologia, posição ou geometria, pode-se garantir uma correspondência perfeita.

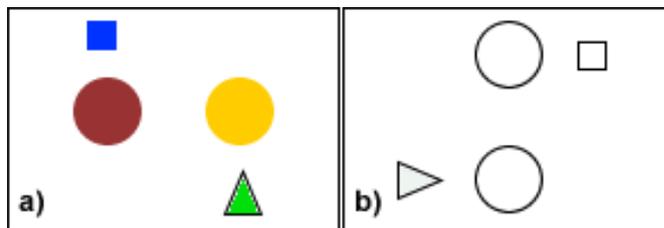


Figura 5.6: A estrutura topológica da cena pode ser um grande aliado na resolução de ambigüidades.

Como mostrado nesta seção, o casamento de regiões entre os quadros de uma animação é um tipo de problema de difícil abordagem. Pela sua característica de total liberdade de criação, soluções 100% corretas são itens ainda em aberto na literatura. As seções a seguir apresentam um estudo de como atributos de uma imagem podem ser utilizados como aliados na colorização. Através desses atributos, introduz-se um algoritmo proposto para colorir automaticamente o máximo de regiões possível numa seqüência de animação.

### 5.3

#### Colorização assistida baseada na imagem

Para estabelecer uma correspondência entre duas imagens, é necessário extrair as características que melhor definem as regiões que esta contém. Quais os atributos podem ser extraídos e utilizados para prover uma correspondência unívoca entre duas regiões? Esta seção apresenta uma série de características locais e globais presentes em imagem de animação bem como sua utilização na assistência à colorização.

### 5.3.1

#### Segmentando e rotulando imagens

A segmentação de uma imagem é geralmente o primeiro passo quando lida-se com qualquer forma de reconhecimento ou descrição de imagens. Para segmentar uma imagem  $I$  em um conjunto de regiões, o algoritmo de rotulamento descrito na Seção 3.7 é utilizado. Assim, a imagem  $I$  é completamente segmentada em um conjunto finito de regiões como

$$I = R(i), i = 1, 2, \dots, N \quad (5-1)$$

onde  $N$  é o número total de regiões e  $i$  é o rótulo de cada região. Uma região é uma composição dos *pixels* pertencentes à borda e à sua área interna.

### 5.3.2

#### Atributos de uma região

Uma vez identificadas as regiões de uma imagem, é necessário extrair-lhes uma série de atributos que serão imprescindíveis para o estabelecimento de sua correspondência com outras regiões. Alguns desses atributos dizem respeito às características locais de uma região como, por exemplo, área e posição. Esses atributos aliados às características topológicas da cena possuem um papel fundamental para descrição de qualquer objeto nela imerso. A seguir, apresenta-se um conjunto de fatores facilmente extraídos de uma região, bem como uma abordagem para sua utilização em problemas de rastreamento de objetos em animações bidimensionais.

#### Área

A área de uma região varia em quadros diferentes, mas em geral, para uma grande região, essa variação é pequena se comparada à sua área total. Como exemplo, para um braço flexionado ou estendido, as áreas das regiões que os representam são aproximadamente as mesmas. A área se faz então, um atributo útil para o casamento de regiões. Depois da segmentação, cada *pixel* numa mesma região vai possuir o mesmo rótulo. Dessa forma, é fácil computar a **área** (ou volume) de uma região como sendo o número total de *pixels* da região.

## Posição

Um quadro em uma seqüência de animação tradicional contém geralmente pequenas modificações do quadro anterior. Baseado nessa hipótese, assume-se que a posição cada região também sofrerá pequenas mudanças ao longo dos quadros. Para cada região de uma imagem, a representação de sua posição pode ser simplificada pela representação do seu centróide. O centróide de uma região pode ser calculado como a média aritmética das posições  $(x, y)$  de cada *pixel* pertencente a ela. Porém, essa métrica simplificada pode acarretar num ponto exterior á região requerendo assim algumas manipulações de posição. Essa abordagem ainda pode ser enriquecida se uma estimativa do movimento da região nos últimos  $n$  quadros da animação for computada. Assim, se a região descrevia um movimento de rotação por um ângulo  $\Theta$  nos últimos  $n$  quadros da animação, pode-se "estimar" (mas não afirmar) a posição de seu centróide no quadro  $n + 1$ .

## Contorno

Para a maioria dos quadros de uma animação, embora o contorno de uma região mude, ele ainda é reconhecível através de algumas características que não mudam muito dentro de um intervalo de quadros. A partir de um certo ponto em um contorno, ele pode ser visto como uma curva e seu tamanho pode ser computado. Na maioria dos casos, o tamanho da curva varia apenas dentro de um intervalo limitado e permanece invariante à rotação da personagem. Por exemplo, a diferença no tamanho da curva de um olho aberto e outro quase fechado é considerada pequena.

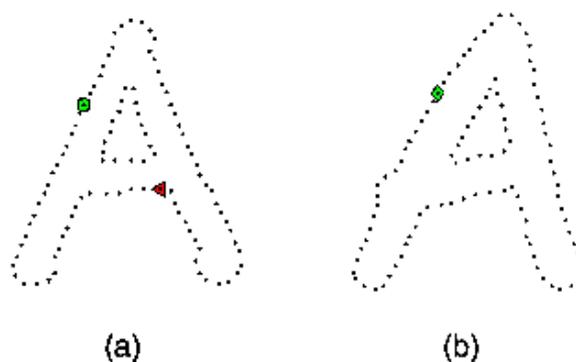


Figura 5.7: Pontos de arestas amostradas em duas formas. A região em verde indica o casamento entre dois pontos. A região em vermelho indica um ponto sem correspondência.

Além de analisar o tamanho da curva de contorno de uma região, é interessante considerar a forma desse contorno. S. Belongie [42] *et al.* apresentam um algoritmo simples e robusto para a detecção de correspondências entre duas formas. Nessa abordagem, formas são representadas por um conjunto discreto de pontos amostrados do contorno interno ou externo de objetos. Um fator importante no algoritmo de S. Belongie *et al.* é o conceito de *shape context*, um descritor utilizado para descrever a distribuição dos demais pontos de uma forma, com respeito a um dado ponto desta. Encontrar as correspondências entre duas formas é então equivalente a encontrar para cada ponto amostrado na primeira, o ponto amostrado na segunda que possui o *shape context* mais próximo. Ou, de outra maneira, para cada ponto  $p_i$  na primeira forma, identificar o ponto  $q_j$  de "melhor" casamento na segunda forma como mostra a Figura 5.7. A partir da correspondência entre pontos amostrados, a abordagem estende a correspondência à forma completa estimando uma transformação de alinhamento que mapeia uma forma na outra. O método proposto é invariante à escala e translação, e robusto sob pequenas distorções geométricas e oclusões. A Figura 5.8 ilustra duas formas casadas pelo algoritmo de S. Belongie *et al.* A partir desse resultados é possível perceber que descritores de formas são um poderoso aliado no casamento de regiões entre imagens.

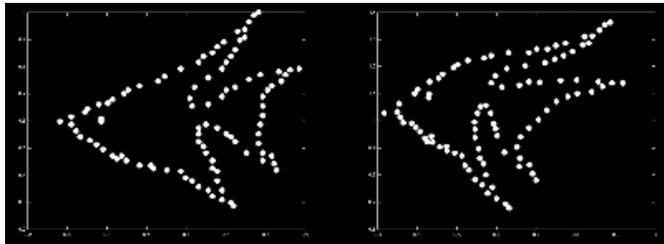


Figura 5.8: Casamento de formas através do algoritmo de *shape context*. À esquerda, imagem original, à direita imagem destino.

## Vizinhança

Embora os atributos de área, posição e contorno sejam bons descritores de uma região, muitas vezes a chave para uma boa correspondência entre elas está na relação de cada uma com regiões vizinhas. Algumas regiões possuem restrições de posição de acordo com regiões vizinhas, como, por exemplo, "a bola" do olho está sempre dentro do olho.

Relações de vizinhança podem ser representadas por grafos de adjacência, como mostrado na Figura 5.9. Neste grafo, os vértices represen-

tam cada região, e suas arestas representam sua relação de vizinhança. Se existe uma aresta que liga dois vértices no grafo, isso significa que as regiões correspondentes na imagem compartilham uma mesma fronteira. Grafos de adjacência representam informações topológicas de regiões podendo ser utilizados como bons parâmetros de relacionamento entre imagens. O desafio é portanto, estabelecer a correspondência entre o grafo de um quadro previamente colorido e outro de um quadro a colorir.

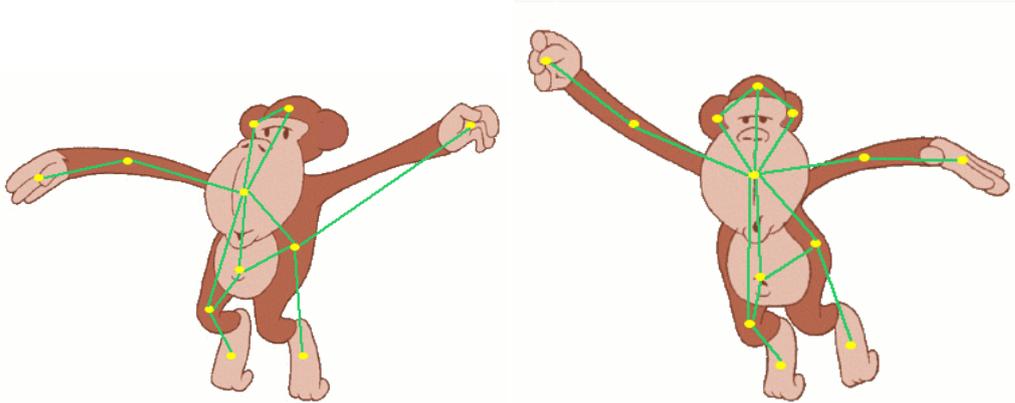


Figura 5.9: Grafo de vizinhança. Regiões (círculos) e suas vizinhanças (linhas) na imagem exemplo (esquerda) e destino (direita).

Existem várias maneiras para relacionar dois grafos, a mais simples, porém mais custosa computacionalmente, reside no casamento de todas as possibilidades de relacionar cada dois vértices. Esta abordagem é inviável para imagens com um número razoável de regiões. Uma abordagem hierárquica lida com os objetos do domínio de forma incremental provendo uma solução de custo mais efetivo e satisfatório.

O grafo da cena deve ser construído de forma a permitir uma navegação hierárquica e completa dos objetos que os constitui. Em quadros de uma animação, o fundo tem um papel importante na conectividade das regiões. Por mais distante e desconexa que esteja de um aglomerado, qualquer região estará pelo menos conectada ao fundo. Assim, é possível atingir todas as regiões a partir de um nó do grafo.

Para diminuir o custo do casamento entre dois grafos, requer-se pelo menos 1 vértice seja previamente relacionado entre eles. Em quadros de uma animação, é comum observar o fato de que a região que contém o *pixel* (0, 0) (em geral, o fundo) sofre poucas alterações de posição ao longo dos quadros. Detectando-se esta região em duas imagens seqüenciais numa animação, têm-se facilmente um primeiro casamento no grafo, colorindo assim a primeira região na imagem-destino com a cor da região correspondente na imagem-fonte.

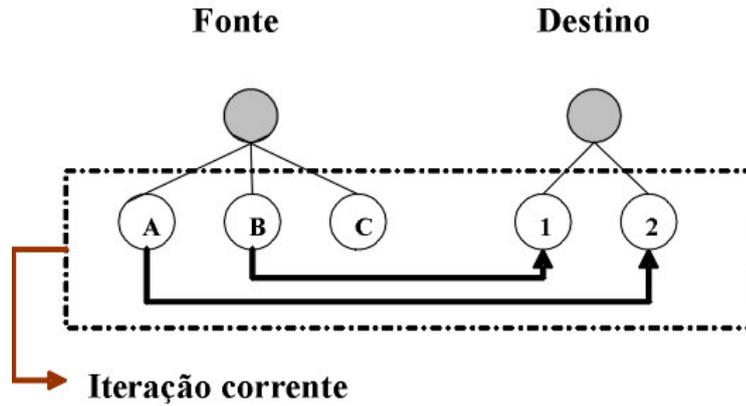


Figura 5.10: Domínio local. Os nós de rótulos *A*, *B* e *C* serão confrontados apenas com os nós de rótulos 1 e 2.

Essas primeiras regiões relacionadas, são consideradas raízes dos grafos das imagens. A partir delas, outras regiões serão incrementalmente coloridas através da análise de suas vizinhanças. A partir da correspondência entre dois nós, o algoritmo faz uma busca em largura nos grafos relacionando, a cada iteração, os nós-filhos no grafo-fonte com os nós-filhos no grafo-destino. Assim, na Figura 5.10, os nós de rótulos *A*, *B* e *C* serão confrontados com os nós de rótulos 1 e 2.

Durante cada nível de iteração é possível que alguns nós não possam ser coloridos no grafo-destino, como mostra a Figura 5.11. Esse fato se dá quando o número de filhos de um nó no grafo-fonte é menor do que no grafo-destino. O algoritmo termina quando todos os nós do grafo-fonte foram analisados.

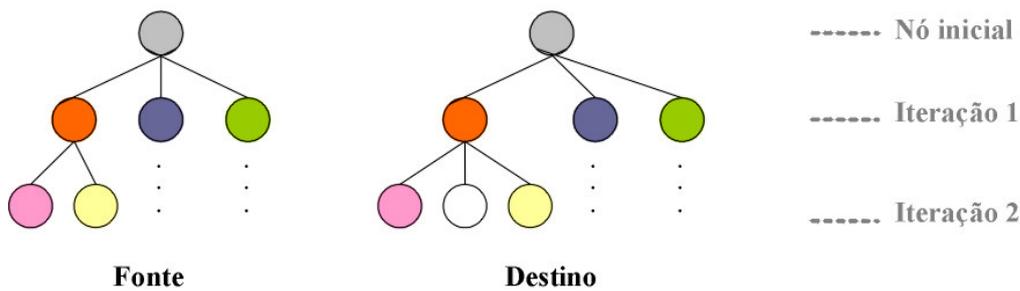


Figura 5.11: À esquerda, grafo-fonte; à direita grafo-destino com nós a serem coloridos.

Como relacionar os filhos de um nó no grafo-fonte com os filhos do nó correspondente no grafo-destino? Se para uma dada região *r*, as morfologias de suas regiões vizinhas forem analisadas com relação a *r*, têm-se a descrição da Função de Vizinhança de *r*. Encontrar a correspondência entre as regiões de dois grafos é então equivalente a encontrar para cada região no grafo-

fonte, a região no grafo-destino que possui a Função de Vizinhança mais próxima. A Função de Vizinhança para cada nó é definida a seguir.

Dada uma imagem  $I$ , considere  $A$  como sendo o conjunto de regiões pertencentes a  $I$  (Figura 5.12a) e  $G$ , o grafo que descreve a topologia  $A$  (Figura 5.12b). Considere a região  $r \in A$  e sua vizinhança  $V$ , subconjunto de  $G$  (Figura 5.12c). Então, para cada região  $q \in V$ , estabeleça  $P$ , o conjunto dos pontos amostrados em seu contorno mais externo (Figura 5.12d).

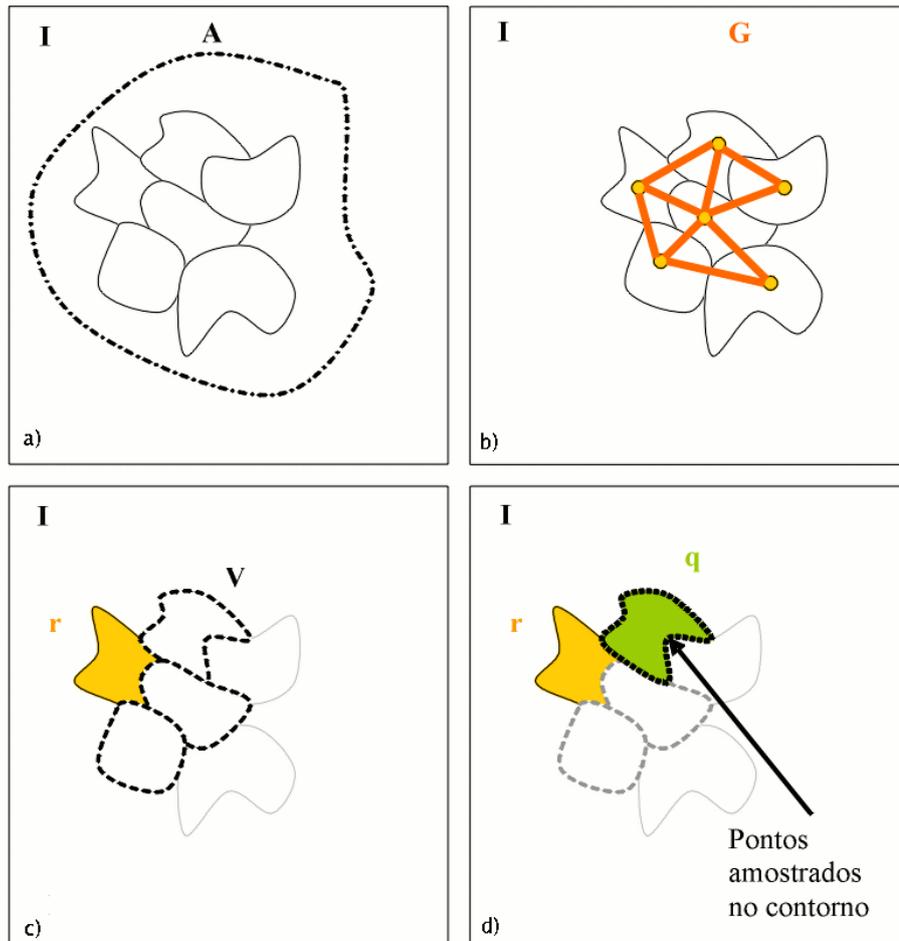


Figura 5.12: a) Regiões de  $I$ . b) Grafo de  $I$ . c) Vizinhança de  $r$ . d) Pontos amostrados no contorno de regiões na vizinhança de  $r$ .

Para descrever a estrutura morfológica das regiões com relação a  $r$ , as distâncias dos pontos em  $P$  a  $r$  devem ser calculadas. Se retas forem traçadas a partir do centróide de  $r$  em direção radial, em ângulos  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n, 0 < n < 360$  suficientemente espaçados, elas deverão encontrar a distâncias  $d_1, d_2, \dots, d_k, 0 < k < \#P$  os pontos em  $P$  como mostra a Figura 5.13. É importante salientar que, se dois pontos estiverem sobre a mesma reta traçada a partir de  $r$  com inclinação  $a$ , apenas o de maior distância a  $r$  será considerado.

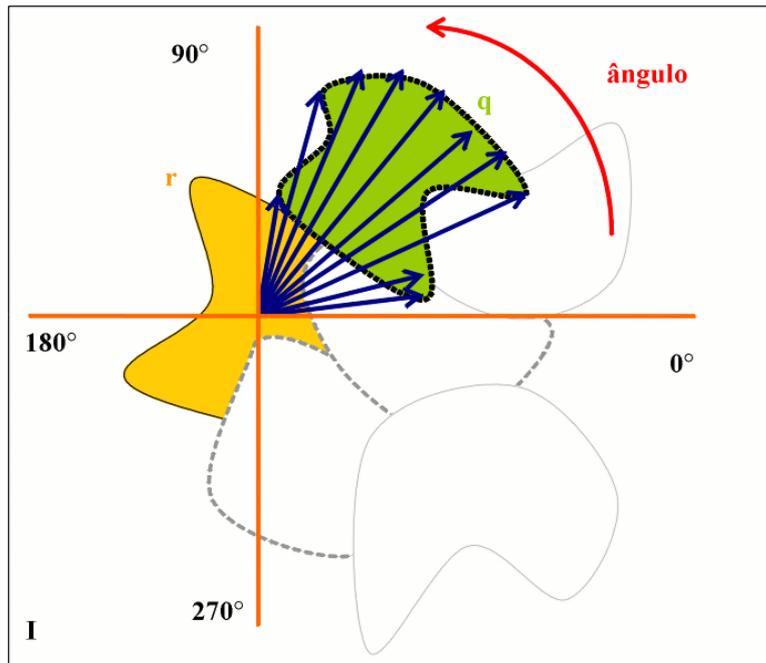


Figura 5.13: Retas lançadas a partir do centróide de  $r$  interceptando pontos amostrados no contorno de  $q$ .

A função de vizinhança  $F_{(r,q)}$  é definida pelo conjunto de pares  $(a, d)$  (Figura 5.14). Calcule  $M_r$ , o conjunto de funções de vizinhança  $F_{(r,i)}$  para todo  $i \in V$ . A Figura 5.15 mostra o conjunto de funções de vizinhança para a região  $r$ .

Para comparar um vértice  $A$  do grafo-fonte com um vértice  $B$  no grafo-destino, é necessário calcular o somatório das menores diferenças quadráticas entre cada Função de Vizinhança de  $A$  e  $B$ . A Figura 5.16a) ilustra hipotéticas funções de referências para duas regiões  $A$  e  $B$ . As setas rotuladas com números de 1 a 6 indicam as possibilidades de pareamento entre essas funções. A tabela exibida na Figura 5.16 ilustra os valores das diferenças quadráticas entre cada pareamento. Para este exemplo, apenas os 2 melhores (de menor valor) pareamentos serão escolhidos para refletir a diferença de topologia entre as regiões  $A$  e  $B$ . O valor do casamento entre essas regiões é dado como o somatório dos seus melhores pareamentos. Para este exemplo, a região  $A$  relaciona-se com a região  $B$  com peso 6.2 como ilustra a Figura 5.16. É importante salientar que quando menor o valor do casamento, melhor este será, pois este fato indica uma menor diferença entre as suas funções de vizinhança.

O cálculo acima descrito deve ser feito para todo par de nós  $(s, t)$  onde  $s$  e  $t$  pertencem aos nós da iteração corrente no grafo-fonte e destino respectivamente. Ao final dessa iteração, uma lista com os possíveis casamentos entre regiões será obtida. O algoritmo então, escolhe os  $k$  casamentos de

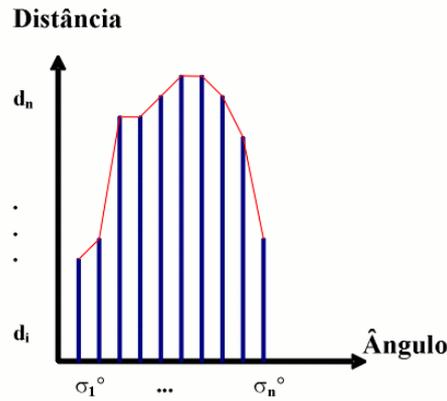


Figura 5.14: Função de vizinhança  $F_{(r,q)}$ .

menor valores para serem atribuídos, sendo  $k$  o menor número de elementos presente na iteração corrente no grafo-fonte e destino. A Figura 5.17 mostra o cenário descrito acima.

Para casamento de regiões, a informação de **cor** na vizinhança de uma região também é um elemento determinante na avaliação da qualidade da correspondência. É possível comparar a vizinhança de uma região na imagem fonte e destino quando essas regiões já foram casadas. Se uma região possui a mesma vizinhança em ambas imagens, este é um forte indício de um bom casamento.

#### 5.4 Algoritmo para colorização

Através do estudo apresentado na seção anterior, um algoritmo é apresentado para prover a colorização automática de uma seqüência de imagens numa animação. Esta abordagem é baseada nas descobertas das características locais e globais de uma região como: área, posição, contorno e vizinhança. O ponto-chave desse algoritmo baseia-se no desejo de colorir as regiões com

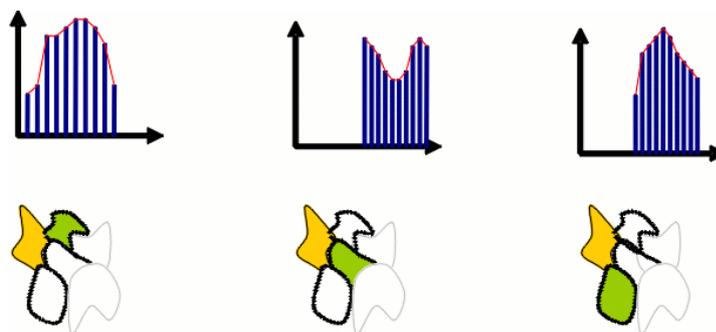


Figura 5.15: Conjunto de funções de vizinhança  $F_{(r,i)}$  para todo  $i \in V$ .

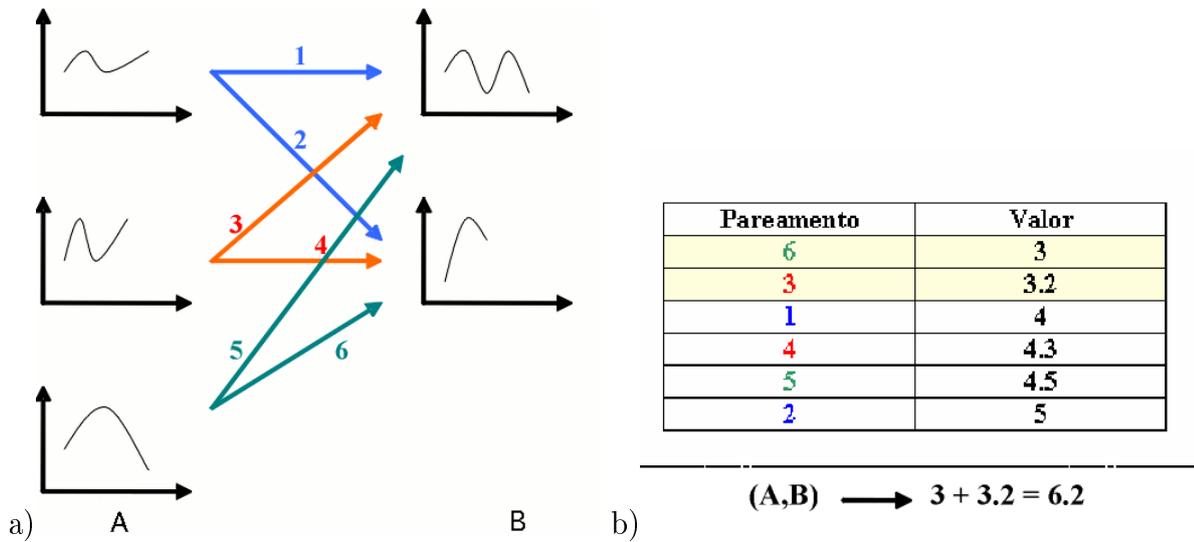


Figura 5.16: a) Funções de vizinhança para regiões *A* e *B* hipotéticas. b) Valores das diferenças quadráticas entre cada pareamento possível. Os pareamentos de menor valores são escolhidos para refletir a diferença de topologia entre as regiões *A* e *B*.

grande precisão, ou seja, a propagação de cor entre duas regiões só será possível se todas as características entre elas forem compatíveis. Para isso, é necessário que as regiões candidatas possuam volume, posição, contorno e vizinhança semelhantes. Se quaisquer desses itens forem discordantes, o algoritmo não colorirá a região. Acredita-se que, uma vez que uma região foi colorida de maneira errada, este dano pode propagar-se nas futuras colorizações diminuindo a qualidade do casamento entre as imagens. É desejável que uma certa região não seja colorida ao risco de um casamento incorreto, pois acredita-se ser mais fácil para o animador colorir algumas regiões em branco do que corrigir colorizações erradas. Uma abordagem mais iterativa do algoritmo pode ser conseguida, se, a cada discordância do método, o animador

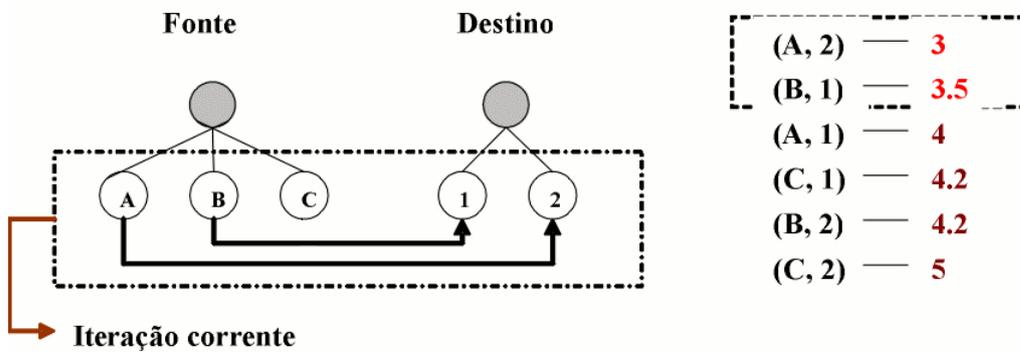


Figura 5.17: Valores dos casamentos entre as regiões da iteração corrente. Apenas os dois melhores valores serão utilizados.

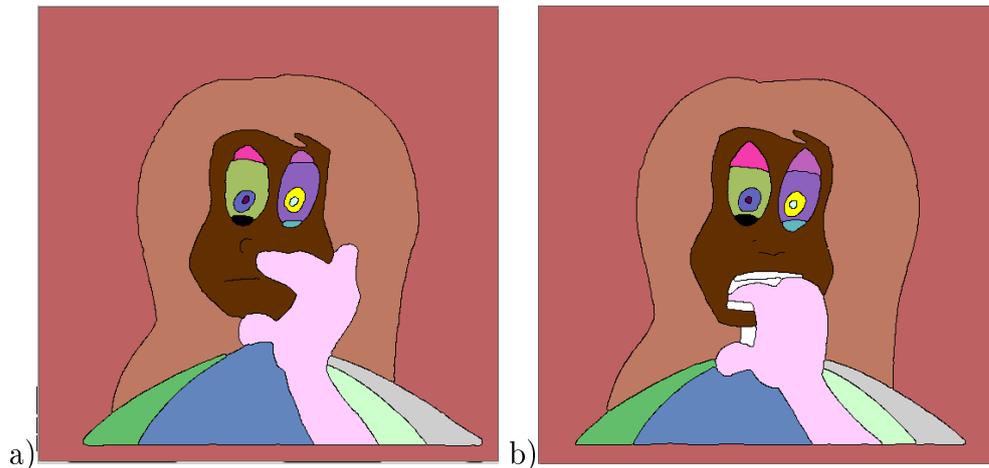


Figura 5.18: a) Imagem original. b) Imagem destino. Áreas em branco indicam novas regiões na seqüência.

for consultado para resolver a indecisão. Após essa intervenção, mais regiões poderão ser coloridas com confiança uma vez que mais informações foram recebidas. Ainda é possível melhorar a qualidade final do casamento entre as imagens, se um aprendizado for realizado ao longo dos quadros guardando informações sobre transformações sofridas por cada área.

O algoritmo implementado nesta dissertação é, de certo modo, uma simplificação do método acima proposto. Na abordagem implementada apenas área, posição e vizinhança são considerados. Também não é utilizada nenhuma forma de iteração com o usuário ou aprendizagem ao longo dos quadros. Porém mesmo para abordagem simplificadas como esta, é possível colorir cerca de 60% da imagem destino, como mostra a seqüência de imagens 5.18 ,5.19,5.20.

Na Figura 5.18, as regiões do segundo quadro foram coloridas utilizando informações do primeiro. Embora existam regiões em branco, considera-se que, para este exemplo, o algoritmo conseguiu 100% de êxito, pois estas regiões constituem região "novas" na imagem.

Na segunda seqüência, (Figura 5.19), as regiões da boca não foram coloridas. Neste caso, é possível perceber que o volume dessa área no quadro-exemplo é muito diferente do mesmo no quadro a ser colorido. Além disso, observa-se que a informação de cor do pescoço da personagem foi transferida para o lábio inferior. Ao analisar estas regiões, percebe-se que elas possuem volumes, posições e vizinhanças semelhantes.

Na terceira, e última seqüência, ocorre o surgimento de regiões em branco nas áreas próximas aos olhos e língua. Para as pálpebras superiores, percebe-se uma grande alteração de volume entre as mesmas regiões nas imagens fonte e destino. As pálpebras inferiores e regiões internas aos olhos

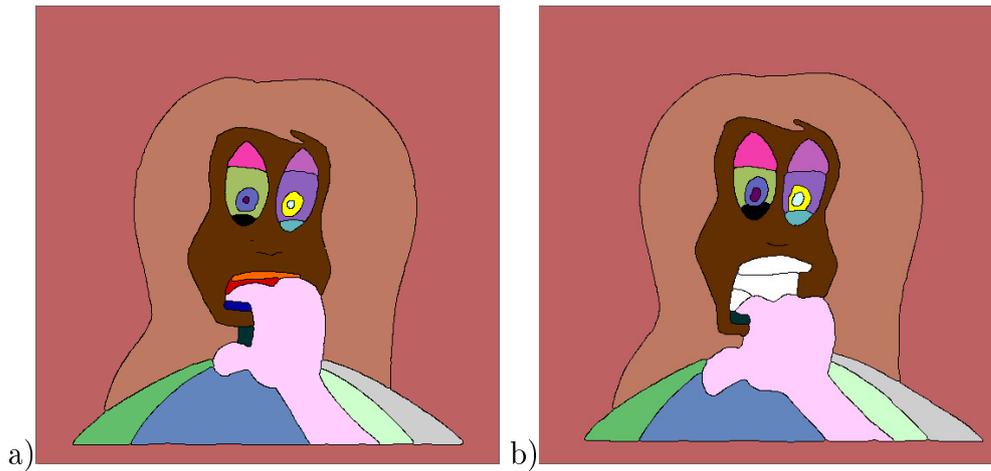


Figura 5.19: a) Imagem original. b) Imagem destino. Áreas em branco indicam disparidade entre os volumes nas regiões fonte e destino.

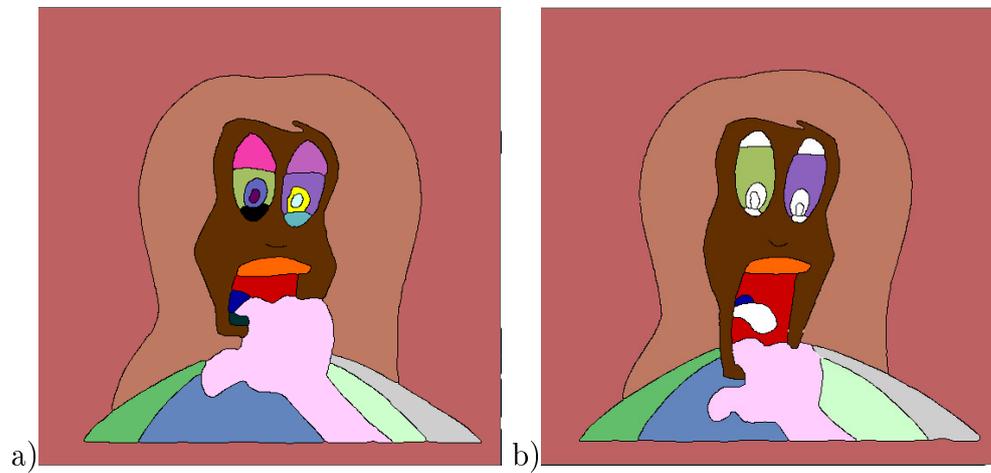


Figura 5.20: a) Imagem original. b) Imagem destino. Áreas em branco indicam disparidade entre os volumes e vizinhanças nas regiões fonte e destino.

apresentam uma grande alteração na sua vizinhança. A área não colorida da língua é considerada uma região nova e não se correlacionou com nenhuma outra região.

Melhorias na qualidade desse algoritmo podem ser alcançadas adicionando-se informação de contorno através da implementação do algoritmo de *shape context*, bem como a introdução de um processo de aprendizado iterativo. Diferentes pesos também podem ser atribuídos a cada item determinante do processo (área, vizinhança, posição). Enfim, embora tenha se apresentado satisfatório para fins de prototipagem, uma série de parâmetros pode ser re-avaliados e os resultados analisados.