



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

INSTITUTO DE TECNOLOGIA

FACULDADE DE ENGENHARIA DA  
COMPUTAÇÃO E TELECOMUNICAÇÕES

Redução do tempo de execução em técnica de  
segmentação de imagens por re amostragem dos  
pontos de referência

**Autor:** Danilo Henrique Costa Souza

**Orientador:** Prof. Ronaldo de Freitas Zampolo

Belém/PA, 27 de Novembro de 2015.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

INSTITUTO DE TECNOLOGIA

FACULDADE DE ENGENHARIA DA  
COMPUTAÇÃO E TELECOMUNICAÇÕES

# Redução do tempo de execução em técnica de segmentação de imagens por re amostragem dos pontos de referência

**Autor:** Danilo Henrique Costa Souza

**Orientador:** Prof. Ronaldo de Freitas Zampolo

**Disciplina:** Trabalho de Conclusão de Curso

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
como requisito parcial para obtenção do Grau  
de Bacharel em Engenharia da Computação  
pela Universidade Federal do Pará.

Belém/PA, 27 de Novembro de 2015.

**Redução do tempo de execução em técnica de segmentação de imagens  
por re amostragem dos pontos de referência**

**Autor:** Danilo Henrique Costa Souza

**Banca examinadora:**

---

**Prof. Ronaldo de Freitas Zampolo**  
(Orientador – Engenharia da Computação e Telecomunicações)

---

**Prof. Dr. Agostinho Luiz da Silva Castro**  
(Membro – Engenharia da Computação e Telecomunicações)

---

**Eng<sup>a</sup>. Msc. Ana Carolina Quintão Siravenha**  
(Membro – Externo)

**Conceito: EXCELENTE**

# Agradecimentos

A Deus, pelas oportunidades de estar sempre melhorando como pessoa.

Aos meus pais e irmãos pelo apoio incondicional que me deram ao longo de toda a minha trajetória e por terem demonstrado paciência e compreensão nos meus momentos de ausência.

Ao meu querido tio Sílvio Leopoldo, que infelizmente não está mais entre nós para ver este momento, mas que me deixou inúmeros ensinamentos acadêmicos e pessoais que certamente contribuíram e ainda contribuem para minha formação.

Aos meus amigos e amigas pessoais que de uma forma ou de outra me ajudaram e somaram não apenas neste trabalho, mas na minha jornada até aqui. Em especial a Raissa Guimarães, agradeço a compreensão, o carinho e os ensinamentos.

Aos meus colegas de trabalho e amigos de curso, que contribuíram para minha formação acadêmica e profissional e sempre estiveram dispostos a ajudar.

A todos os professores que participaram da minha jornada acadêmica. Em especial aos professores Eduardo Coelho Cerqueira, pelo apoio e dedicação aos alunos, e Ronaldo de Freitas Zampolo, pela confiança e apoio não só neste trabalho mas também ao longo de todo o curso.

# Resumo

Segmentar uma imagem significa dividi-la em objetos e/ou regiões que possuam alguma característica em comum (e.g, cor, geometria, textura), com o intuito de facilitar a análise das regiões de interesse. Com a crescente disseminação dos dispositivos móveis a quantidade de conteúdo multimídia aumentou consideravelmente nos últimos anos, gerando uma necessidade por algoritmos mais robustos e com melhor qualidade de segmentação. Implementando uma técnica semi-automática para segmentação de imagens, que utiliza as informações de cor e posição de um pixel para classificá-lo de acordo com as regiões especificadas pelo usuário, este trabalho propõe melhorar o tempo gasto para calcular a distância de um ponto para os *pixels* pertencentes as regiões de interesse. Introduzindo um passo a mais no algoritmo a fim de reduzir o espaço de busca do cálculo da distância, para que esta operação seja realizada um número menor de vezes. Os resultados foram avaliados em termos de tempo de execução e erro de classificação, tendo o algoritmo apresentado resultados positivos, com redução de tempo e manutenção da qualidade, após a modificação realizada.

**PALAVRAS-CHAVE:** segmentação semi-automática de imagens, re amostragem, redução de tempo, processamento de imagens, segmentação de imagens

# Abstract

Image segmentation is about splitting an image into objects and/or regions with characteristics in common, such as color, texture and geometry aiming to ease the analysis of the regions of interest within the given image. The growth of mobile devices over the past years, increasing the amount of multimedia content produced, has opened the need for more robust and better quality image segmentation algorithms. Implementing a semi-automatic image segmentation technique that relies on color and distance informations of a pixel to classify it accordingly to user defined regions, this work's aims to improve execution time spent to calculate the distante from all the pixels in the image to the pixels inside the regions of interest. By adding one more step in order to reduce the search space of the distance calculation step, so it is no longer necessary to calculate the distance to all the pixels inside the scribbles. The evaluations were performed based on execution time and classification errors, having the algorithm presented positive results after the modifications were applied.

**KEYWORDS:** semi-automatic imagem segmentation, re-sampling, time reducing, image processing, image segmentation

# Sumário

<b>1 Introdução . . . . .</b>	<b>1</b>
1.1 Justificativa . . . . .	2
1.2 Objetivos . . . . .	2
1.3 Organização do trabalho . . . . .	3
<b>2 Processamento de imagem . . . . .</b>	<b>4</b>
2.1 Introdução ao Processamento de Imagens Digitais . . . . .	4
2.1.1 Por que utilizar processamento de imagem? . . . . .	5
2.1.2 Definição e principais conceitos . . . . .	6
2.1.2.1 Definição . . . . .	6
2.1.2.2 Conceitos básicos . . . . .	7
2.1.2.3 Operações básicas . . . . .	9
Correlação e convolução . . . . .	9
Morfologia . . . . .	11
2.1.3 Aplicações de processamento de imagem . . . . .	11
2.2 Segmentação de imagens . . . . .	14
2.2.1 Classificação das técnicas de segmentação . . . . .	15
2.2.2 Tipos de segmentação . . . . .	16
<b>3 A técnica estudada e a metodologia . . . . .</b>	<b>18</b>
3.1 A escolha da técnica . . . . .	18
3.2 Descrição da técnica estudada . . . . .	19
3.2.1 Segmentação de regiões uniformes . . . . .	19
3.2.2 Segmentação de regiões não-uniformes . . . . .	23
3.3 Metodologia . . . . .	24
3.3.1 Modificações realizadas . . . . .	24
3.3.2 Parâmetros avaliados . . . . .	26
<b>4 Implementação e resultados . . . . .</b>	<b>28</b>
4.1 Implementação . . . . .	28

4.2 Resultados . . . . .	31
<b>5 Considerações finais e trabalhos futuros . . . . .</b>	<b>45</b>
<b>Referências Bibliográficas . . . . .</b>	<b>46</b>

# Listas de Figuras

2.1	Espectro electromagnético. Ilustração: Peter Hermes Furian / Shutterstock.com . . . . .	6
2.2	Exemplo de convolução/correlação 2-D . . . . .	10
2.3	Matriz A e elemento estruturante B . . . . .	12
2.4	Erosão de $A$ por $B$ . A Figura 2.4a mostra o caso em que a erosão não ocorre, a Figura 2.5b mostra o caso em que a erosão ocorre e por fim a Figura 2.4c mostra o resultado final de $A \ominus B$ . . . . .	12
2.5	Dilatação de $A$ por $B$ . A Figura 2.5a mostra o caso em que a dilatação não ocorre, a Figura 2.5b mostra o caso em que a dilatação ocorre e por fim a Figura 2.4c mostra o resultado final de $A \oplus B$ . . . . .	13
3.1	Exemplo de marcação de uma figura complexa. A Figura 3.1a mostra a marcação do fundo da imagem, a Figura 3.1b mostra um dos objetos de interesse e a Figura 3.1c mostra o outro objeto de interesse. . . . .	20
3.2	FDP's de uma imagem com duas regiões estimadas a partir dos <i>pixels</i> marcados. . . . .	21
3.3	Histograma da relação $\frac{T_{distancia}}{T_{total}}$ , para as 24 imagens de saída . . .	25
3.4	Exemplo de re-amostragem com taxas de 50 %, 10 % e 1 %. . . . .	26
4.1	Hierarquia das funções criadas. . . . .	29
4.2	Fluxo do algoritmo. . . . .	30
4.3	Imagens utilizadas. A Figura 4.3a mostra Imagem 1, a Figura 4.3b mostra a Imagem 2, a Figura 4.3c mostra a Imagem 3, a Figura 4.3d mostra a Imagem 4, a Figura 4.3e mostra a Imagem 5 e a Figura 4.3f mostra a Imagem 6. . . . .	32
4.4	Marcação da Imagem 2. A Figura 4.4a mostra a marcação do fundo da imagem, a Figura 4.4b mostra o objeto de interesse. . .	33

4.5	Marcação da Imagem 3. A Figura 4.5a mostra a marcação do fundo da imagem, a Figura 4.5b mostra o objeto de interesse. . .	33
4.6	Marcação da Imagem 4. A Figura 4.6a mostra a marcação do fundo da imagem, a Figura 4.6b mostra o objeto de interesse. . .	33
4.7	Marcação da Imagem 5. A Figura 4.7a mostra a marcação do fundo da imagem, a Figura 4.7b mostra o objeto de interesse. . .	34
4.8	Marcação da Imagem 6. A Figura 4.8a mostra a marcação do fundo da imagem, a Figura 4.8b mostra o objeto de interesse. . .	34
4.9	Resultado da segmentação do objeto 1 da Imagem 1. A Figura 4.9a mostra a segmentação com 100% dos <i>pixels</i> marcados, a Figura 4.9b mostra a segmentação com 50% dos <i>pixels</i> marcados, a Figura 4.9c mostra a segmentação com 10% dos <i>pixels</i> marcados e a Figura 4.9d mostra a segmentação com 1% dos <i>pixels</i> marcados. . . . .	35
4.10	Resultado da segmentação do objeto 2 da Imagem 1. A Figura 4.10a mostra a segmentação com 100% dos <i>pixels</i> marcados, a Figura 4.10b mostra a segmentação com 50% dos <i>pixels</i> marcados, a Figura 4.10c mostra a segmentação com 10% dos <i>pixels</i> marcados e a Figura 4.10d mostra a segmentação com 1% dos <i>pixels</i> marcados.	36
4.11	Resultado da segmentação do objeto 2 da Imagem 2. A Figura 4.11a mostra a segmentação com 100% dos <i>pixels</i> marcados, a Figura 4.11b mostra a segmentação com 50% dos <i>pixels</i> marcados, a Figura 4.11c mostra a segmentação com 10% dos <i>pixels</i> marcados e a Figura 4.11d mostra a segmentação com 1% dos <i>pixels</i> marcados.	37
4.12	Resultado da segmentação do objeto 2 da Imagem 3. A Figura 4.12a mostra a segmentação com 100% dos <i>pixels</i> marcados, a Figura 4.12b mostra a segmentação com 50% dos <i>pixels</i> marcados, a Figura 4.12c mostra a segmentação com 10% dos <i>pixels</i> marcados e a Figura 4.12d mostra a segmentação com 1% dos <i>pixels</i> marcados.	38
4.13	Resultado da segmentação do objeto 2 da Imagem 4. A Figura 4.13a mostra a segmentação com 100% dos <i>pixels</i> marcados, a Figura 4.13b mostra a segmentação com 50% dos <i>pixels</i> marcados, a Figura 4.13c mostra a segmentação com 10% dos <i>pixels</i> marcados e a Figura 4.13d mostra a segmentação com 1% dos <i>pixels</i> marcados.	39

4.14 Resultado da segmentação do objeto 2 da Imagem 5. A Figura 4.14a mostra a segmentação com 100% dos <i>pixels</i> marcados, a Figura 4.14b mostra a segmentação com 50% dos <i>pixels</i> marcados, a Figura 4.14c mostra a segmentação com 10% dos <i>pixels</i> marcados e a Figura 4.14d mostra a segmentação com 1% dos <i>pixels</i> marcados.	40
4.15 Resultado da segmentação do objeto 2 da Imagem 6. A Figura 4.15a mostra a segmentação com 100% dos <i>pixels</i> marcados, a Figura 4.15b mostra a segmentação com 50% dos <i>pixels</i> marcados, a Figura 4.15c mostra a segmentação com 10% dos <i>pixels</i> marcados e a Figura 4.15d mostra a segmentação com 1% dos <i>pixels</i> marcados.	41
4.16 Gráfico do erro de classificação relativo ao total de <i>pixels</i> de cada imagem % . . . . .	42
4.17 Gráfico do tempo absoluto para classificação das imagens (em minutos) . . . . .	43
4.18 Gráfico do tempo relativo para classificação das imagens (em %) . .	44

# Capítulo 1

## Introdução

Câmeras digitais estão cada vez mais fazendo parte do cotidiano, com a popularização dos *smartphones*, por volta do ano de 2010, as pessoas passaram a ser criadoras de conteúdo multimídia ao invés de apenas consumidoras e isto fez que com o volume de dados gerado aumentasse drasticamente, criando diversas demandas de pesquisa para atender a essa nova tendência.

Essas demandas surgiram em diversas áreas, tais como, aumentar densidade de armazenamento em dispositivos, criação de redes de transmissão mais eficientes para transmissão de vídeos e imagens, desenvolvimento de novos tipos de baterias para gravação de vídeos longos e em alta resolução bem como capturar um número maior de imagens usando dispositivos móveis, softwares mais simples e eficientes (em termos de tempo e consumo de energia) para edição de imagens.

Estes são alguns exemplos relacionados com o cotidiano das pessoas, onde tirar uma foto ou gravar um vídeo e transmitir esse conteúdo virou uma atividade extremamente comum nos últimos 5 anos. Por outro lado, a facilidade de acesso a câmeras digitais disseminou sua maior utilização em larga escala para aplicações industriais e comerciais (i.e, câmeras de segurança, fiscalização eletrônica de velocidade, inspeção ou classificação de produtos em uma linha de produção). Estas aplicações requerem algoritmos eficientes e robustos, uma vez que esse tipo de demanda requer resultados rápidos e satisfatórios para otimizar recursos.

Para atingir os resultados desejados é necessário pesquisa e desenvolvimento de algoritmos específicos para determinadas aplicações, pois quanto maior a complexidade do problema maior será a complexidade do algoritmo. Todavia, estes algoritmos complexos utilizam como base algoritmos já conhecidos para processamento digital de imagens, e os utilizam para realizar

tarefas mais básicas como: suavização, realce, detecção de bordas, segmentação, classificação entre outras. A segmentação de imagens, em particular, é fundamental para análise de imagens pois permite a divisão da imagem em regiões/objetos com características semelhantes (e.g, textura, intensidade de cor, forma), sendo portanto um dos ramos mais estudados em processamento digital de imagens.

Dada a importância deste segmento para outras aplicações, este trabalho propõe o estudo e análise da técnica de segmentação de imagens proposta em [1] que é capaz de segmentar imagens realizando marcações sobre os objetos de interesse, sendo este algoritmo robusto o suficiente para separar regiões não uniformes.

## 1.1 Justificativa

O primeiro passo para extrair informações de uma imagem é realizar um pré-processamento com o intuito de facilitar o desenvolvimento de algoritmos mais complexos. Em outras palavras, o pré-processamento é importante para suavizar, segmentar, classificar, remover ruídos de imagens para que os algoritmos a serem utilizados nestas imagens sejam desenvolvidos para fins mais específicos, reduzindo sua complexidade.

A técnica em estudo foi escolhida por apresentar um resultado muito satisfatório de segmentação e por sua robustez, sendo possível segmentar objetos diferentes e não uniformes de uma mesma imagem, fazendo apenas marcações simples sobre os objetos/regiões de interesse. Entretanto, conforme será detalhado na seção 3.3, o tempo gasto para calcular a distância mínima de um *pixel* para uma região é responsável pela maior parte do tempo total de execução do algoritmo, por isto o foco deste trabalho será em reduzir o tempo gasto para calcular a distância mínima mencionada.

## 1.2 Objetivos

O objetivo principal do estudo realizado é verificar o impacto da redução do número de *pixels* marcados para cada região de interesse de uma imagem, conforme apresentado em [1], avaliando também o ganho no tempo de execução do algoritmo proporcionado por essa redução, que é feita por re-amostragem uniforme dos pontos pré-selecionados.

### 1.3 Organização do trabalho

O restante deste trabalho está organizado como segue: o Capítulo 2 fará uma breve introdução ao processamento digital de imagens mostrando sua importância para a indústria e exemplificando algumas aplicações, além de mostrar conceitos e operações básicas relativos ao tema e abordando, por fim, as principais técnicas de segmentação de imagem. O Capítulo 3 irá descrever a técnica estudada, mostrando passo a passo o algoritmo , bem como a metodologia adotada. O Capítulo 4 discute os resultados encontrados e detalha a implementação utilizando o software *MatLab*<sup>©</sup>. O Capítulo 5 faz as considerações finais sobre o trabalho, explorando possibilidades de trabalhos futuros para uma análise mais completa da abordagem proposta.

## Capítulo 2

# Processamento de imagem

### 2.1 Introdução ao Processamento de Imagens Digitais

A III revolução industrial, na década de 1970, proporcionou diversos avanços tecnológicos nas mais diversas áreas da ciência, inclusive abrindo espaço à novos ramos de estudo, como por exemplo a Inteligência Artificial que teve seus princípios imaginado por Alan Turing mas que só pode ser propriamente desenvolvida depois dos avanços alcançados por esta revolução. Outra área que se beneficiou desta revolução foi a tecnologia de sensores (e.g, sensores ópticos, de luz, de temperatura, de pressão, de resistência entre outros) devido ao grande avanço no processo de fabricação de *chips* e componentes, tornando possível a digitalização desses dispositivos, aumentando assim sua precisão e reduzindo seu tamanho a níveis microscópicos.

O avanço da tecnologia de sensores e armazenamento digital abriu possibilidades para diversas aplicações e dispositivos, inicialmente a nível militar e de pesquisa, como por exemplo a câmera digital que se tornou possível devido a criação de sensores de luminosidade mais precisos, e principalmente ao armazenamento digital de informações em dispositivos de memória menores e com maior densidade, haja visto que o conceito de imagem digital reside no fato de que a imagem deve ser armazenada digitalmente.

Ao final de década de 1990 e início dos anos 2000 começou a popularização das câmeras digitais cujas vantagens começaram a ser mais difundidas. Neste ponto as memórias digitais já haviam avançado o suficiente para que as pessoas pudessem tirar algumas dezenas/centenas de fotos com suas câmeras. Na década de 2010 as câmeras digitais entraram definitivamente para a vida das pessoas com a popularização dos *smartphones*. Paralelo a isso houve também um aumento

desses dispositivos principalmente em aplicações relacionadas à segurança, como monitoramento de tráfego nas cidades, controle de velocidade, segurança de propriedades privadas, entre outros. A popularização das câmeras digitais em diversas áreas acaba por gerar uma grande quantidade de conteúdo que muitas vezes não está organizado da melhor forma possível para interpretação do usuário.

### 2.1.1 Por que utilizar processamento de imagem?

O conteúdo criado pelo aumento de imagens digitais gera a necessidade de técnicas de processamento e análise de imagem cada vez mais eficientes e robustas, para que se possa aproveitar essa quantidade de imagens geradas da melhor forma possível. Portanto, com o avanço da tecnologia de digitalização e armazenamento de imagens surge também a necessidade de pesquisa e melhorias nas técnicas para aproveitar o material produzido, um exemplo prático é o reconhecimento automático de placas de automóveis em radares de detecção de velocidade para aplicação de multas.

Em sistemas modernos o radar detecta que um veículo está acima do limite permitido e imediatamente tira uma foto da traseira do veículo, esta imagem é então processada por um algoritmo de segmentação de imagem que vai detectar a placa do veículo e posteriormente segmentar cada elemento da placa (números e letras) em imagens diferentes e enviar estas imagens para um algoritmo classificador que irá identificar a placa e enviar essa informação ao sistema principal para que a multa seja gerada para o dono do veículo.

O exemplo apresentado mostra uma das principais vantagens de utilizar processamento de imagem no dia-a-dia, a automatização de sistemas, proporcionando eficiência, fluidez e praticidade em atividades repetitivas que antes precisavam da intervenção humana para analisar visualmente e então tomar decisões, com o advento da visão computacional estas atividades já não necessitam mais da intervenção humana, [2]. Entretanto para que as decisões sejam tomadas de forma correta e os efeitos desse tipo de automação sejam positivos é necessário que as técnicas empregadas atendam à demanda existente. Partindo dessa visão pode-se considerar a área de processamento de imagem como um meio para se chegar a visão computacional, onde máquinas analisam elementos visualmente para tomada de decisão.

O uso de máquinas para tomada de decisões baseadas em imagens é importante não apenas para automatizar e tornar determinadas tarefas mais eficientes mas também para analisar imagens que não são visíveis ao olho humano (i.e., infra-vermelho e ultra-violeta). A Figura 2.1 mostra o espectro

electromagnético, onde é possível perceber que a luz visível ao olho humano é apenas uma pequena parte de todo o espectro e por isso a importância de sistemas computacionais eficientes para interpretar e analisar imagens do espectro não visível, como as de raio gamma e raios-x, muito comuns em estudos astronômicos.

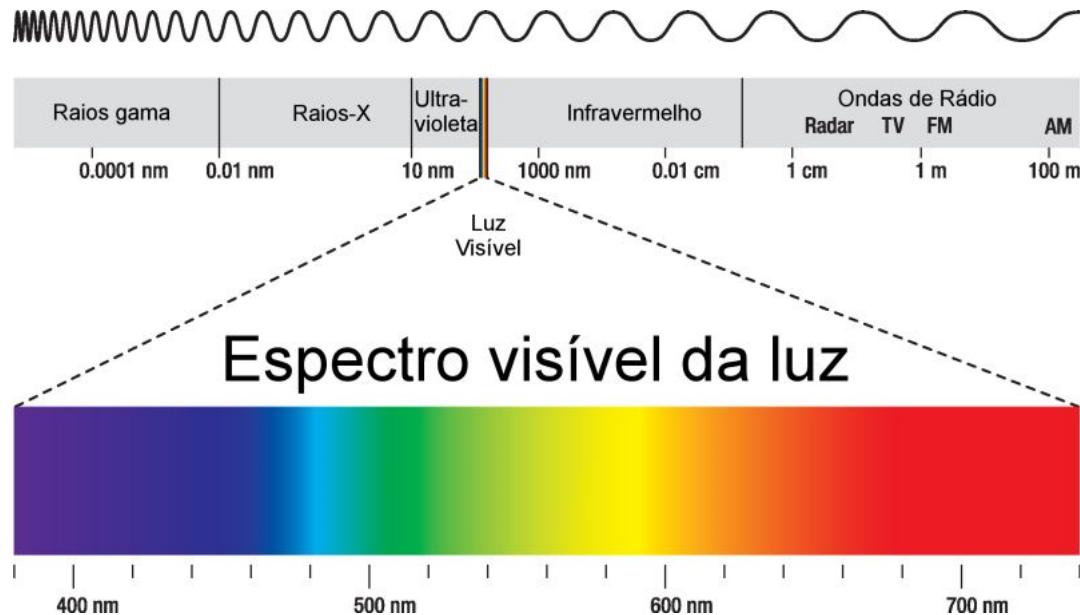


FIGURA 2.1: Espectro electromagnético. Ilustração: Peter Hermes Furian / Shutterstock.com

As seções seguintes irão detalhar os principais conceitos relacionados ao processamento digital de imagens bem como as principais técnicas existentes e suas aplicações, sendo reservado uma seção para segmentação de imagens, que é o foco principal deste trabalho.

## 2.1.2 Definição e principais conceitos

### 2.1.2.1 Definição

(Gonzalez et. al) definem em [3] que processamento digital de imagens têm dois focos principais: (1) melhorar a qualidade para percepção humana e; (2) processar a imagem para armazenamento, transmissão e representação para percepção de máquinas autônomas.

Ainda segundo [3], não existem fronteiras bem definidas no campo de estudos entre processamento de imagens e visão computacional, entretanto pode-se considerar três tipos de processos informatizados nesse caminho: (1) baixo, (2) médio e (3) alto nível que serão detalhados a seguir:

1. **Processos de baixo nível:** envolve operações primitivas com imagens, tais como redução de ruído, aprimoramento de contraste e aguçamento de imagem. Este tipo de processo tem como característica o fato de que ambas entrada e saída são imagens.
2. **Processos de médio nível:** este processo envolve operações mais complexas como segmentação (particionamento da imagem em regiões ou objetos) e descrição desses objetos em um formato comprehensível para o processamento por computadores, além de classificação (reconhecimento) desses objetos. Normalmente as entradas deste processo são imagens e as saídas são atributos extraídos das imagens (e.g, bordas, contornos, e a identidade de objetos).
3. **Processos de alto nível:** este processo envolve a interpretação de objetos identificados e/ou reconhecidos pelas etapas anteriores, ou seja, dar significado a partir de funções cognitivas associadas à visão.

#### 2.1.2.2 Conceitos básicos

O conceito de processamento digital de imagem pode ser definido como o conjunto formado pelos três processos acima citados, criando assim uma ferramenta robusta capaz de extrair informações do mundo real, adequá-las a um formato apropriado (baixo nível), extrair informações e parâmetros (médio nível), analisar e tomar decisões com base nas informações coletadas (alto nível). Tomando o exemplo dos radares de controle de velocidade mencionados na seção anterior para ilustrar o uso desses níveis na hora de estruturar uma ferramenta é possível fazer as seguintes associações:

- **Processo de baixo nível:** aplicação de filtros para melhorar o contraste da imagem a fim de facilitar a identificação de onde está a placa do automóvel.
- **Processo de médio nível:** segmentar as letras/números da placa do veículo, transformar cada caractere da placa em um arquivo, por exemplo e por fim classificá-los (i.e, identificar quais são as letras/números presentes naquela placa em análise).
- **Processo de alto nível:** de posse dos caracteres, o sistema desenvolvido irá identificar (reconhecer) que aquele *array* de caracteres naquela ordem significa a placa de um automóvel e enviará a informação da placa (no formato correto) para o sistema que irá gerar o auto de infração.

Para aprofundar os conhecimentos em processamento digital de imagens é necessário primeiramente o entendimento de alguns conceitos básicos que serão utilizados posteriormente para o entendimento de técnicas mais complexas, os principais conceitos são:

- **Imagen:** segundo [3], uma imagem é definida como uma função bi-dimensional,  $f(x, y)$ , onde  $x$  e  $y$  são coordenadas espaciais e a amplitude de  $f$  em qualquer par de coordenadas  $(x, y)$  é chamada de intensidade ou nível de cinza da imagem naquele ponto.
- **Pixel:** É a menor unidade de uma imagem digital, ou seja, corresponde a um par de coordenadas  $(x, y)$ , representando um ponto espacial dentro da imagem.
- **Texel:** é o elemento fundamental de uma textura, formado por um conjunto de *pixels*, que agrupados segundo uma ordem lógica, formam a textura de uma imagem.
- **Textura:** de acordo com [2] a textura de uma imagem é um conjunto de métricas calculadas no processamento da imagem designadas para quantificar a textura perceptível de uma imagem. Essa textura guarda informações referentes ao arranjo espacial de cores ou intensidades em uma imagem ou em uma região selecionada da imagem.
- **Níveis de cinza:** níveis para medir a intensidade (valor) de um *pixel* em uma imagem digital, normalmente são valores inteiros no intervalo  $[0, 255]$
- **Filtragem espacial:** em sistemas lineares, corresponde à operação de convolução ou correlação (no domínio espacial) entre uma imagem e uma máscara (filtro), onde esta pode ter diversos formatos utilizados para suavização ou aguçamento de imagens, essa operação será detalhada logo abaixo.
- **Pixel vizinho:** Um *pixel*  $x$  é considerado vizinho do *pixel*  $p$  se, e somente se, a distância entre  $x$  e  $p$  for igual a 1  $\therefore (d_{s \rightarrow p} = 1)$ .
- **Conectividade pixels:** Em imagens digitais existem duas possibilidades de um *pixel* estar conectado à outro, a conexão pode ser do tipo 4-conectado ou 8-conectado, na primeira considera-se conectados ao pixel  $p$  apenas os *pixels* vizinhos na vertical e na horizontal, enquanto que na segunda considera-se os conectados ao *pixel*  $p$  os vizinhos em todas as direções (vertical, horizontal e diagonal).

### 2.1.2.3 Operações básicas

Para realizar qualquer operação em uma imagem é necessário primeiro entender o conceito de janela ou elemento estruturante, este elemento consiste em uma matriz, que representa uma máscara para filtragem ou um operador morfológico. Existem dois tipos principais de operações fundamentais que podem ser efetuadas sobre uma imagem e são elas: (1) correlação e convolução, onde a diferença entre a primeira e a segunda é que, na convolução, a máscara é rotacionada em  $180^\circ$ , por definição da própria operação [4] e (2) operações morfológicas. O primeiro tipo de operação envolve cálculos matemáticos enquanto que o segundo está associado com operações lógicas.

A forma mais comum do uso das janelas é utilizar elementos quadrados ( $N_{linhas} = N_{colunas}$ ), com  $N$  sendo um inteiro ímpar para que exista o elemento central, devido ao seu funcionamento que se dá da seguinte maneira: a janela é posicionada sobre parte da imagem de tal forma que seu *pixel* central fique sobre o primeiro *pixel* (e.g, ponto  $(x_1, y_1)$ ) da imagem de entrada e partir disso os elementos da janela são multiplicados por seus correspondentes na imagem, os resultados são então somados e o resultado final é armazenado no ponto  $(x_1, y_1)$  da imagem de saída.

Apesar de serem muito utilizadas, operações com janela geram um problema no que diz respeito às bordas da imagem que ocorre quando o *pixel* central do operador (janela) está sobre os *pixels* mais extremos da imagem fazendo com que parte da janela fique para fora da imagem, o que acarreta em uma operação sem valor para o resultado final pois a janela estaria atuando em cima de valores que não fazem parte da função  $f(x, y)$ . Para resolver este problema existem duas abordagens clássicas:

1. Expandir a imagem de tamanho, em  $a = \frac{(m-1)}{2}$  linhas em cima e embaixo e  $b = \frac{(n-1)}{2}$  colunas nas laterais, onde  $N \times M$  é o tamanho da janela.
2. Reduzir a imagem de saída em  $a = \frac{(m-1)}{2}$  linhas em cima e embaixo e  $b = \frac{(n-1)}{2}$  colunas nas laterais da imagem utilizando o como *pixel* inicial o ponto  $(x + a, y + b)$

**Correlação e convolução** Nas operações de correlação e convolução a janela representa o filtro ao qual a imagem será submetida, este procedimento é muito utilizado para realizar suavizações (filtros do tipo passa-baixa) ou aguçamentos na imagem (filtros do tipo passa-alta) devido à sua facilidade de implementação computacional. Os filtros mais comumente utilizados são matrizes quadradas e

de tamanho ímpar para que haja a presença de um elemento central e, caso o filtro  $h(m \times n)$  com  $m$  e  $n$  sendo o tamanho do filtro, seja simétrico, as operações de convolução e correlação são equivalentes. Estas operações são muito utilizadas na etapa de pré-processamento de imagens, para eliminação de ruído, realce de bordas, suavização de imagens. Existem diversos tipos de filtros com objetivos específicos (e.g, detecção de texturas) que serão explicados mais detalhadamente adiante neste capítulo.

A Figura 2.2 mostra um exemplo prático da convolução da Imagem  $I$  pelo filtro  $h$ , resultando na imagem de saída  $Y$ . Neste exemplo foi utilizada a abordagem (2), citada acima, para contornar o problema de borda. Generalizando este procedimento é possível chegar à Equação 2.1 para definir de forma genérica a imagem  $Y$  em função da imagem de entrada  $I$  e do tamanho do filtro.

$$I(M, N) = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 6 & 2 & 0 & 5 \\ 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 3 & 4 & 5 \\ 11 & 12 & 13 & 0 & 0 & 11 & 14 & 5 \\ 16 & 17 & 18 & 19 & 20 & 9 & 6 & 7 \\ 5 & 1 & 8 & 1 & 2 & 3 & 4 & 0 \\ 8 & 24 & 36 & 19 & 12 & 19 & 32 & 0 \\ 5 & 1 & 28 & 1 & 2 & 33 & 4 & 0 \end{bmatrix} \quad h = \begin{bmatrix} 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \end{bmatrix}$$

$$Y(1, 1) = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 6 & 2 & 0 & 5 \\ 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 3 & 4 & 5 \\ 11 & 12 & 13 & 0 & 0 & 11 & 14 & 5 \\ 16 & 17 & 18 & 19 & 20 & 9 & 6 & 7 \\ 5 & 1 & 8 & 1 & 2 & 3 & 4 & 0 \\ 8 & 24 & 36 & 19 & 12 & 19 & 32 & 0 \\ 5 & 1 & 28 & 1 & 2 & 33 & 4 & 0 \end{bmatrix} \quad h = \begin{bmatrix} 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \end{bmatrix}$$

$$Y(1, 2) = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 6 & 2 & 0 & 5 \\ 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 3 & 4 & 5 \\ 11 & 12 & 13 & 0 & 0 & 11 & 14 & 5 \\ 16 & 17 & 18 & 19 & 20 & 9 & 6 & 7 \\ 5 & 1 & 8 & 1 & 2 & 3 & 4 & 0 \\ 8 & 24 & 36 & 19 & 12 & 19 & 32 & 0 \\ 5 & 1 & 28 & 1 & 2 & 33 & 4 & 0 \end{bmatrix} \quad h = \begin{bmatrix} 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \end{bmatrix}$$

$$Y = \begin{bmatrix} 7 & 6.4444 & 5.8889 & 5 & 5.5556 & 5.4444 \\ 12 & 11.4444 & 10.7778 & 9 & 8.5556 & 7.1111 \\ 11.2222 & 9.8889 & 9 & 7.2222 & 7.6667 & 6.5556 \\ 14.7778 & 15.8889 & 15 & 11.5556 & 11.8889 & 8.8889 \\ 12.8889 & 13.2222 & 12.1111 & 10.2222 & 12.3333 & 10.5556 \end{bmatrix}$$

FIGURA 2.2: Exemplo de convolução/correlação 2-D

$$Y(x, y) = \sum_{s=1}^m \sum_{t=1}^n I([(x+a) - \frac{m+1}{2} + s], [(y+b) - \frac{n+1}{2} + t]) h(s, t) \quad (2.1)$$

**Morfologia** Dentro do conjunto de operações básicas existem também as operações de erosão ( $\ominus$ ) e dilatação ( $\oplus$ ) da imagem, utilizadas, respectivamente, para remover objetos menores que o elemento estruturante e preencher espaços vazios. Entretanto essas operações resultam, respectivamente, em encolhimento e aumento indesejável dos objetos restantes nas imagens. Para resolver este problema utiliza-se as duas técnicas: (1) abertura e (2) fechamento. Considere a matriz  $A$  e o elemento estruturante  $B$ , ambos binários, erosão e dilatação de  $A$  por  $B$  são representadas, respectivamente, por  $A \ominus B$  e a dilatação por  $A \oplus B$  e podem ser definidas como:

- **Erosão:** O elemento estruturante “anda” pela imagem tendo como origem seu elemento central, como se fosse um filtro, e para cada posição  $(x, y)$  de  $B$  dentro de  $A$ , a saída  $g(x, y)$  será igual a 1 se os elementos diferentes de zero de  $B$  e de  $A$  para aquela janela (que possui tamanho igual ao de  $B$ ) coincidirem, ou seja, se  $B$  encaixar em  $A'$ .

A Figura 2.4 ilustra  $A \ominus B$ . Na Figura 2.4a é possível visualizar que os elementos em verde de  $B$  coincidem com os elementos em verde de  $A$  (considerando a origem de  $B$  o ponto  $B(2, 2)$ ), entretanto há elementos em  $B$  (marcados em vermelho) que estão fora de  $A$  ou não coincidem com elementos de  $A$  diferentes de zero, nesse caso a erosão não ocorre e portanto  $g(1, 1) = 0$ .

- **Dilatação:** O algoritmo é parecido com o da erosão à exceção de que para que a saída seja '1' o elemento estruturante  $B$  não precisa encaixar na janela atual de  $A$  mas apenas tocá-la. A Figura 2.5 ilustra a dilatação de  $A$  por  $B$ . É possível visualizar na Figura 2.5a que nenhum elemento não nulo de  $A$  coincide com os elementos não nulos de  $B$ , logo  $g(1, 6) = 0$ , enquanto que na Figura 2.5b o elemento  $B(3, 2)$  coincide com um dos elementos não nulos de  $A$ , portanto  $g(2, 5) = 1$ .

### 2.1.3 Aplicações de processamento de imagem

Existem diversas áreas em que é possível aplicar processamento digital de imagem, seja para automatizar processos ou melhorar a qualidade de um serviço,

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

FIGURA 2.3: Matriz A e elemento estruturante B

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

(a) Caso onde não ocorre a erosão

(b) Caso onde ocorre a erosão

$$g(x, y) = A \ominus B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

(c) Resultado final de  $sA \ominus B$ FIGURA 2.4: Erosão de  $A$  por  $B$ . A Figura 2.4a mostra o caso em que a erosão não ocorre, a Figura 2.5b mostra o caso em que a erosão ocorre e por fim a Figura 2.4c mostra o resultado final de  $A \ominus B$ .

por exemplo, na automação industrial para otimizar a seleção de produtos ou identificar falhas na linha de montagem, na compressão de vídeos e imagens para transmissão em redes (com a popularização dos *smartphones* e das redes móveis, a necessidade de reduzir largura de banda na transmissão de arquivos multimídia aumentou nos últimos anos), na digitalização e classificação automática de textos, em segurança usando reconhecimento facial para identificação de pessoas autorizadas, na restauração de imagens que sofreram desgaste do tempo, na área forense usando técnicas que provem, por exemplo, que uma determinada foto foi tirada com uma câmera específica ou que uma imagem foi adulterada, ajudando assim em inquéritos policiais. Abaixo está uma lista de algumas das principais sub-áreas que compõem as aplicações acima citadas:

- Modelagem de imagem
- Restauração de imagem

$$\begin{array}{c}
 A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \\
 \text{(a) Caso onde não ocorre a dilatação} \qquad \qquad \qquad \text{(b) Caso onde ocorre a dilatação}
 \end{array}$$

$$g(x, y) = A \oplus B = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

(c) Resultado final de  $sA \ominus B$

FIGURA 2.5: Dilatação de  $A$  por  $B$ . A Figura 2.5a mostra o caso em que a dilatação não ocorre, a Figura 2.5b mostra o caso em que a dilatação ocorre e por fim a Figura 2.4c mostra o resultado final de  $A \oplus B$ .

- Segmentação
- Interpolação
- Reconhecimento de face
- Codificação de imagem/vídeo
- Sistemas de *eye-tracking*
- Super resolução
- Identificação de dispositivo
- Verificação de Adulteração
- Redução de ruído
- Marca d'água digital

Além das aplicações mencionadas, a área de visão computacional [2] tem ganhado destaque nos últimos anos por ajudar a analisar situações que antes não eram possíveis, como por exemplo os vídeos em primeira pessoa que apresentam desafios não previstos por técnicas de processamento de imagem inicialmente projetadas para fotos/vídeos feitos por uma terceira pessoa fora da cena. Estes tipos de vídeos apresentam desafios como: (1) objetos que somem e reaparecem em cena inesperadamente (2) borrão na câmera causados por sujeira ou água

(comum em vídeos de esportes) conforme descrito em [5], o autor também descreve os principais avanços recentes em algoritmos de visão computacional para o campo específico de vídeos em primeira pessoa.

A popularização e redução do custo de câmeras digitais e *smartphones* permitiu a criação de redes sem-fio de câmeras, criando a demanda por algoritmos de visão computacional que se adequem às dificuldades desses dispositivos como: (1) baterias com diferentes capacidades, (2) processadores limitados e (3) antenas com capacidade limitada.

## 2.2 Segmentação de imagens

A área de processamento de imagem é bastante ampla e suas técnicas podem ser aplicadas em diversas áreas para distintos fins (e.g, automação, práticas forense, restauração, análise cognitiva, etc.) e até agora essas áreas foram apenas citadas e suas principais aplicações foram descritas. Nesta seção serão detalhados os tipos de segmentação de imagem existentes e as técnicas base utilizadas.

O desenvolvimento de uma aplicação deve ser pensado de forma a atender as demandas requisitadas e em todas os tipos de problemas, desde os mais complexos aos mais simples. Duas variáveis são cruciais nesta etapa: (1) tempo e (2) eficiência, estas compõem o grande desafio no desenvolvimento de novas soluções pois cada vez mais busca-se reduzir o tempo de execução de uma determinada tarefa (i.e, realizar mais tarefas num mesmo intervalo de tempo).

Dividir um imagem em regiões de interesse distintas ou simplesmente separar um objeto do fundo é um dos processos mais importantes para análise de imagem pois é nele que são retirados da imagem original aquilo que será de fato utilizado para o processamento final, reduzindo assim o tempo gasto na execução de algoritmos posteriores bem como facilitando o trabalho de extrair informações. Esse processo irá assinalar valores para cada *pixel* da imagem (onde regiões distintas possuem valores iguais) para facilitar a diferenciação entre as regiões de interesse. Essa diferenciação entre as regiões ocorre em função de três propriedades da imagem: (1) cor, (2) intensidade e (3) textura da imagem, portanto a escolha de qual técnica será utilizada deve ocorrer após um estudo do domínio do problema.

O conceito de região é importante pois normalmente regiões representam objetos em uma imagem. González e Woods [3] mostram que uma imagem  $R$  pode ser dividida em  $n$  sub-regiões,  $R_1, R_2, \dots, R_n$  tal que:

1.  $\bigcup_{i=1}^n R_i = R$ .
2.  $R_i$  é um conjunto conectado,  $i = 1, 2, \dots, n$ .
3.  $R_i \cap R_j = \emptyset$  para todo  $i$  e  $j$ , onde  $i \neq j$ .
4.  $Q(R_i) = VERDADEIRO$  para  $i = 1, 2, \dots, n$ .
5.  $Q(R_i \cup R_j) = FALSO$ , onde  $i \neq j$ .

onde  $Q(R_k)$  representa a função (ou propriedade) que deve ser satisfeita pelos *pixels* pertencentes à  $R_k$  (i.e, se todos os *pixels* da região  $R_i$  tiverem a mesma intensidade),  $\emptyset$  é o conjunto vazio,  $\cup$  e  $\cap$  representam, respectivamente, a união e a intersecção entre duas regiões distintas. Duas regiões  $R_i$  e  $R_j$  são adjacentes se a união entre elas forma um conjunto conectado.

Este é portanto um dos ramos mais estudados em processamento de imagem com diversas técnicas consolidadas [6–10] e novas abordagens surgindo, algumas específicas para determinados problemas, para mais detalhes sobre algumas delas o leitor deve verificar [11–15].

### 2.2.1 Classificação das técnicas de segmentação

A otimização pode ser feita ao longo de várias etapas do desenvolvimento de uma solução e para o caso específico de processamento de imagens é comum tentar encontrar técnicas especialistas para solucionar problemas e utilizar abordagens que ponderem o tempo em detrimento de algum outro fator menos relevante (e.g, tamanho, modelo de cores).

Em relação à escolha de qual técnica de segmentação utilizar, três tipos devem ser considerados em termos de tempo, esforço e custo.

1. **Técnicas Automáticas:** muito utilizadas para segmentar objetos com geometria uniforme (ou quase uniforme) em imagens pré-determinadas (e.g, separar moedas do fundo, separar células, contar caixas em uma estante para controle de estoque, identificar produtos fora do padrão de qualidade especificado). Tais situações requerem algoritmos rápidos, entretanto normalmente trabalham com uma heurística refinada para que se obtenha o desempenho desejado. Não necessitam de intervenção humana, o sistema recebe a imagem de entrada e automaticamente separa os objetos de interesse.

2. **Técnicas Semi-automáticas:** são técnicas em que o usuário insere alguma informação (heurística) antes do processamento para facilitar a segmentação, como por exemplo, marcar os objetos de interesse, delimitar uma região da imagem onde o algoritmo irá atuar. A heurística de entrada permite a segmentação de imagens mais complexas como aquelas em que o fundo não é uniforme, os objetos de interesse possuem o mesmo formato e/ou cor que objetos que não são de interesse. A técnica em estudo neste trabalho ([1]) pode ser classificada nesta categoria.
3. **Técnicas Manuais:** são utilizadas quando os algoritmos existentes não são suficientes para extrair a informação desejada da imagem (dificilmente essa situação ocorre na prática), normalmente são utilizados softwares especiais de edição de imagem [16], onde o usuário deve manualmente marcar todas as regiões da imagem (normalmente fazendo isso *pixels* a *pixel*). Este tipo de técnica apresenta um resultado ideal mas na maioria dos casos é inviável porque necessita de muito tempo e acarreta em custo com a mão de obra especializada para desenvolver as tarefas.

### 2.2.2 Tipos de segmentação

Khan [6] mostra uma categorização das principais técnicas de segmentação de imagem de acordo com a ideia principal por trás dos algoritmos, o autor sugere que a segmentação de imagens pode ser baseada em:

1. **Borda:** Este tipo de segmentação realiza detecção de bordas para separar os objetos do fundo da imagem utilizando o fato de que a intensidade dos *pixels* muda abruptamente na borda dos objetos. Os métodos clássicos para detecção de borda são: (1) baseados no gradiente (derivada de 1<sup>a</sup> ordem), (2) cruzamento de zeros (derivada de 2<sup>a</sup> ordem), (3) laplaciano da Gaussiana, (4) detectores de borda Gaussianos e (5) detectores de bordas coloridas [17]. A forma mais simples de realizar detecção de borda é primeiramente realizar detecção de linhas utilizando máscaras (i.e., filtros) capazes de identificar a mudança de intensidade, por exemplo para detecção de pontos isolados a máscara a ser utilizada será  $\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$ , enquanto que para detecção de linhas, as máscaras serão  $\begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix}$ ,  $\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ -2 & -2 & -2 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$  e  $\begin{bmatrix} -2 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \\ 1 & 1 & -2 \end{bmatrix}$  para linhas na horizontal, vertical e diagonal, respectivamente.
2. **Limiar:** esta é a segmentação mais simples, escolhe-se um valor  $T$  e os *pixels* abaixo de  $T$  ( $R(x, y) \leq T$ ) são marcados como “preto” (ou 0) e os valores

acima de  $T$  ( $R(x, y) \geq T$ ) são marcados como “branco” (ou 255 para imagens de 8 bits). Entretanto, para que este processo seja eficiente é necessário que a escolha de  $T$  seja feita de forma automática, um dos algoritmos mais conhecidos e utilizado por muito tempo foi criado por Otsu [18].

3. **Região:** uma região de uma determinada imagem pode ser descrita como um conjunto de *pixels* conectados (ver seção 2.1.2) e tem um papel muito importante na segmentação, pois regiões normalmente significam objetos de interesse. Existem três categorias principais para este tipo de segmentação: (1) crescimento de região, (2) divisão de região e (3) fusão de região [19]. *Pixels* pertencentes a uma mesma região serão marcados, respeitando o princípio de que um pixel não pode pertencer a duas regiões.

## Capítulo 3

# A técnica estudada e a metodologia

### 3.1 A escolha da técnica

Diversas técnicas de segmentação de imagens foram citadas neste trabalho, entretanto, uma técnica em especial chama a atenção pois permite a interação do usuário de forma mais ativa onde o objeto de interesse é marcado, usando marcação simples do tipo pincel com uma cor e o fundo ou outros objetos na imagem são marcados de outra cor. O algoritmo se encarrega então, de separar regiões de interesse com marcações em comum (i.e., de mesma cor) de tal forma que a imagem resultante é a subtração da imagem original por todas as regiões exceto a região de interesse, ou seja, cada *pixel* da imagem é classificado como pertencente a uma determinada região.

Esta técnica pode ser utilizada para substituir a segmentação manual de uma imagem. Ao invés de marcar o objeto de interesse *pixel* a *pixel*, o usuário realiza apenas marcações consideradas relevantes para que a segmentação seja alcançada, e mesmo que o tempo de execução do algoritmo seja elevado (da ordem horas), é possível obter um resultado semelhante à segmentação manual, porém com esforço reduzido para realizar tarefas como edição de imagens.

A classificação é feita com base na Função Densidade de Probabilidade e da distância de um ponto para uma região de interesse qualquer.

Conforme descrito em [1] uma grande vantagem deste técnica é que as marcações não precisam ser minuciosas (*pixel* a *pixel*), elas precisam apenas representar as características de cor e/ou textura das regiões de interesse, se o fundo de uma imagem não é uniforme então as regiões não-uniformes devem ser marcadas separadamente mas pertencendo à mesma região. A intervenção do usuário facilita o processo de segmentação tornando-o mais simples e eficiente. Essas marcações podem ser consideradas como uma heurística para o algoritmo

que é simplificado baseado nessas premissas.

Para imagens mais complexas, onde o fundo e os objetos de interesse possuem cores e/ou texturas parecidas, faz-se necessária uma marcação mais abrangente e que marque de forma mais clara a posição dos objetos, conforme mostrado na Figura 3.1, para que a distância exerça uma influência maior na classificação. É possível perceber na Figura 3.1 que os objetos em si são não-uniformes e não apenas o fundo, resultado em uma marcação bastante extensa (i.e, com muitos *pixels*) o que resultará em um aumento no tempo de execução, uma vez que, para calcular a menor distância de um ponto a uma região é necessário calcular a distância deste ponto para todos os *pixels* da região em questão.

Conforme mostrado acima a técnica apresentada em [1] é bastante robusta e pode ser usada tanto em imagens simples (i.e, uniformes e com poucas cores) quanto em imagens complexas (i.e, não-uniformes e com cores semelhantes no objeto e no fundo) e isso ocorre basicamente porque a técnica se baseia em dois pilares fundamentais, a probabilidade e a distância de um *pixel* para uma região específica.

## 3.2 Descrição da técnica estudada

### 3.2.1 Segmentação de regiões uniformes

A técnica implementada neste trabalho, introduzida em [1], pode ser classificada como semi-automática pois necessita da intervenção do usuário para marcar as regiões de interesse da imagem e considerando a separação em processos de [3] citada no Capítulo 2. Esta técnica pode ser incluída nos processos de médio nível. Estas regiões podem ser objeto ou fundo e havendo a possibilidade de se marcar mais de um objeto para segmentação ou marcar objetos não-uniformes, nesse caso a imagem final será a soma das imagens de cada região não-uniforme separada.

A escolha das regiões se dá por meio de experimentação, isto é, não existe um procedimento padrão para realizar a marcações, o usuário normalmente tem que realizar mais de uma marcação até chegar no resultado desejado. É possível, todavia, reduzir o número de tentativas considerando a uniformidade da imagem e sua distribuição de cores e a partir disso definir se a distância terá um papel mais importante na segmentação do que a cor do objeto, definindo assim uma estratégia de marcações para que o número de tentativas seja o mínimo possível.

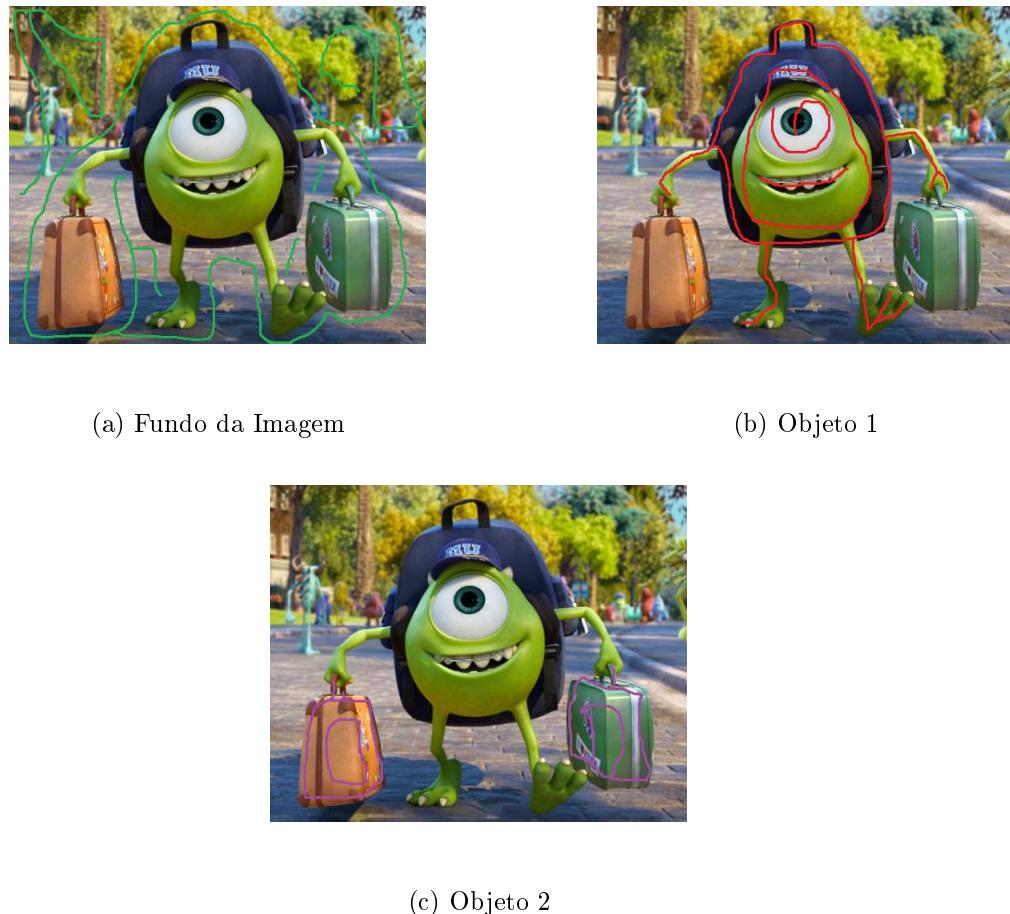


FIGURA 3.1: Exemplo de marcação de uma figura complexa. A Figura 3.1a mostra a marcação do fundo da imagem, a Figura 3.1b mostra um dos objetos de interesse e a Figura 3.1c mostra o outro objeto de interesse.

O algoritmo consiste em encontrar a menor distância entre cada *pixel* da imagem de entrada e as regiões marcadas, isso é feito calculando a distância geodésica (que nesse caso é uma reta entre os dois pontos de interesse) de cada *pixel* para os pontos da região marcada ponderada por um peso  $\Omega$ , chamado de peso geodésico, calculado a partir dos valores dos *pixels* das regiões marcadas. Para que um ponto seja considerado de uma determinada região tanto a sua distância para a região quando a sua intensidade são levados em consideração.

Partindo da premissa de que as regiões de interesse a serem definidas são bem distintas em termos de cor e textura e utilizando o conjunto de *pixels* marcados  $\Delta_l$ ,  $\forall l = 1, 2, 3, \dots, N_l$ , sendo  $N_l$  o número de regiões distintas, é calculada a FDP (Função Densidade de Probabilidade), neste caso foi utilizada a função gaussiana, mostrando a probabilidade de um ponto  $p(x,y)$  pertencer a uma determinada região  $l$ . Com base nessas distribuições são calculados pesos ( $\omega_i$ ) para cada canal da imagem que serão explicados mais detalhadamente. A Figura 3.2 mostra um exemplo da FPD de uma imagem com duas regiões.

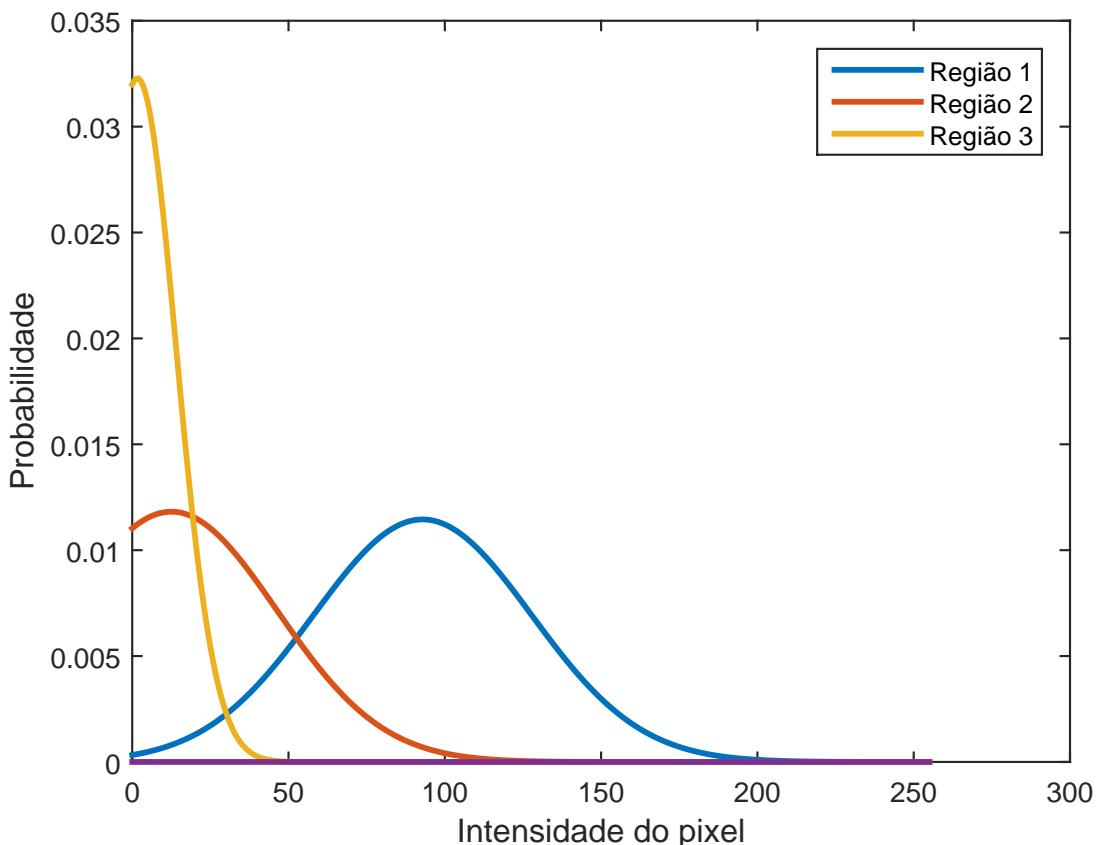


FIGURA 3.2: FDP's de uma imagem com duas regiões estimadas a partir dos *pixels* marcados.

Em [1] o autor utilizou 19 canais para segmentação, sendo 3 destes canais a Luminância ( $Y$ ) e Crominância ( $Cr$  e  $Cb$ ) e os outros 16 são o resultado da filtragem do canal de  $Y$  por 16 filtros de Gabor, [20]. As direções  $\theta = 0, \pi/4, \pi/2$  e  $3\pi/4$  e as frequências centrais  $\omega = 1/2, 1/4, 1/8$  e  $1/16$  foram utilizadas para definir os filtros. A escolha de apenas 4 direções se dá em função da simetria, uma vez que o sentido não importa, ou seja,  $0 = \pi, \pi/4 = 5\pi/4, \pi/2 = 3\pi/2$  e  $3\pi/4 = 7\pi/4$ , sendo assim possível descrever um conjunto maior e mais rico de texturas usando o mínimo de filtros. O filtro de Gabor pode ser substituído por outro tipo de filtro 2D, entretanto foi escolhido pelo autor devido à sua avançada capacidade em distinguir texturas [21], [22].

A utilização de vários canais torna a técnica adaptativa uma vez que os pesos (importância) de cada canal varia de acordo com a imagem e por isso a necessidade de usar um conjunto de filtros capaz de descrever um rico conjunto de texturas. A ideia é que cada um dos filtros realce uma parte diferente da imagem e com isso o canal resultante que ressaltar melhor a(s) parte(s) de interesse da imagem ganha um peso maior.

Os pesos mencionados anteriormente,  $\omega_i$ ,  $\forall i = 1, 2, \dots, N_c$ , são calculados usando a equação 3.1 com base na probabilidade  $P_i$ ,  $\forall i = 1, 2, \dots, N_c$  de um *pixel*  $x$  ser erroneamente assinalado à uma região (Equação 3.2).

$$\forall i = 1, 2, 3, \dots, N_c : \omega_i = \frac{(P_i^{-1})}{\sum_{k=1}^{N_c} (P_k^{-1})} \quad (3.1)$$

$$\forall k = 1, 2, \dots, l : P_i = \frac{1}{l} \int_{-\infty}^{\infty} \min(p_1^i(x), p_2^i(x), \dots, p_k^i(x)) dx \quad (3.2)$$

Dessa forma tem-se um vetor com  $N_c$  (número total de canais) posições que representa o peso que cada canal terá na hora de calcular a probabilidade,  $P_{1|2}^i(x)$ ,  $\forall i = 1, 2, \dots, N_c$ , de um *pixel* pertencer a uma determinada região, segundo a Equação 3.3. A probabilidade final de um *pixel* pertencer a uma região é dada pela soma dos valores de  $P_{1|2}^i(x)$  ponderados por  $\omega_i$  (Equação 3.4), privilegiando o canal com maior peso, ou seja, os valores da FDP dos *pixels* dos canais com maiores peso é que irão de fato definir a qual região pertence o *pixel* em questão.

$$P_{1|2}^i(x) = \frac{p_1^i(F_i(x))}{p_1^i(F_i(x)) + p_2^i(F_i(x))} \quad (3.3)$$

$$P_{1|2}(x) := P_r(x \in l_1) = \sum_{i=1}^{N_c} \omega^i P_{1|2}^i(x) \quad (3.4)$$

Expandindo as equações 3.3 e 3.4 para  $l$  regiões ao invés de apenas duas é possível calcular a probabilidade,  $P_{a|b}(x)$ , de um *pixel* pertencer a uma dada região  $a$  em comparação com outra região  $b$ , de acordo com a Equação 3.5, sendo esta a Equação utilizada na implementação.

$$P_{a|b}(x) := P_r(x \in l_a) = \sum_{i=1}^{N_c} \omega^i \frac{p_a^i(F_i(x))}{p_a^i(F_i(x)) + p_b^i(F_i(x))} \quad (3.5)$$

O peso geodésico de um *pixel* da região  $a$ ,  $\Omega_a$ ,  $\forall a = 1, 2, \dots, N_l$ , competindo somente com a região  $b$  é dado pela Equação 3.6a, generalizando para mais de duas regiões uniformes obtém-se a Equação 3.6b que calcula o valor de  $\Omega_a$ ,  $\forall a = 1, 2, \dots, N_l$ , considerando todas as outras regiões de interesse.

$$\Omega_a = \Omega_{a|b} = 1 - P_{a|b}(x) \quad (3.6a)$$

$$\Omega_a = \sum_{b=1, a \neq b}^l \Omega_{a|b} \quad (3.6b)$$

O peso  $\Omega$  é utilizado para calcular a distância geodésica  $d(s, t)$  de um *pixel*  $s(x_0, y_0)$  para um *pixel*  $t(x_1, y_1)$  na imagem de acordo com a Equação 3.7, onde  $\dot{C}(s, t) = \sqrt[3]{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2}$  representa o menor caminho (distância euclidiana para este caso) entre os pontos. A Equação 3.8 utiliza a Equação 3.7 para calcular a menor distância geodésica  $d_k(x)$  de um *pixel* para cada uma das regiões  $r_k \forall k = 1, 2, \dots, N_l$  de interesse levando em consideração apenas os pontos pertencentes a região em análise. Armazenando os resultados em um vetor (ou matriz quando houver sub-regiões), esses valores serão usados para calcular a probabilidade final  $P$  de um *pixel* pertencer a uma região, que será detalhada no Capítulo 4.

$$d(s, t) := \min_{C_{s,t}}(\Omega \dot{C}_{s,t}) \quad (3.7)$$

$$d_k(x) = \min_{s \in \Delta_c: \text{label}(s)=r_k} d(s, t) \quad (3.8)$$

### 3.2.2 Segmentação de regiões não-uniformes

O algoritmo apresentado até este ponto recebe como entrada imagens com regiões distintas e uniformes, porém pode também ser expandido para

trabalhar com imagens que possuam regiões não-uniformes. A mudança acontece apenas no cálculo dos pesos geodésicos  $\Omega$ . As regiões da imagem são divididas em sub-regiões de tal forma que cada sub-região compete apenas com sub-regiões de outras regiões. Definindo  $l_k^s$  como a componente (sub-região)  $s$  da região  $k$  pode-se definir o peso  $\Omega_k^s$  pela Equação 3.9. Um exemplo deste tipo de imagem pode ser visto na Figura 3.1b.

$$\Omega_k^s = \sum_{k \neq r} \sum_l \Omega_{l_k^s | l_r^l} \quad (3.9)$$

### 3.3 Metodologia

A técnica escolhida é bastante robusta sendo capaz de segmentar objetos em imagens complexas e não-uniformes, entretanto o tempo de execução do algoritmo é alto uma vez que é necessário calcular a distância de cada *pixel* da imagem para cada um dos *pixels* marcados a fim de descobrir a menor distância e de acordo com o algoritmo descrito fazer a classificação dos pontos da imagem.

Após análise detalhada dos passos da técnica implementada percebeu-se que o tempo gasto para calcular todas as distâncias para todos os *pixels* representava boa parte do tempo total de execução do algoritmo, o gráfico da Figura 3.3 mostra o histograma da relação  $\frac{T_{distancia}}{T_{total}}$  para as 24 imagens utilizadas. É possível perceber que em todas as imagens o tempo gasto apenas no cálculo da distância representa pelo menos 96% do tempo total de execução do algoritmo. A partir disto foi decidido o foco do trabalho.

A solução proposta é reduzir o número de *pixels* marcados, ou seja, fazer uma re-amostragem desses *pixels* seguindo o princípio da técnica de utilizar a heurística provida pelo usuário nas marcações. Em outras palavras, a re-amostragem tem que ser uniforme para que as informações de cor e textura inicialmente selecionadas sejam preservadas. As seções seguintes irão detalhar as modificações realizadas e como a avaliação será feita.

#### 3.3.1 Modificações realizadas

A implementação da técnica será mostrada com mais detalhes no Capítulo 4, porém para melhor compreensão da modificação alguns passos serão descritos nesta seção. O mais importante neste caso é que os *pixels* marcados são armazenados em uma matriz, chamada de matriz posição, que guarda tanto o valor quanto a posição dos *pixels* escolhidos.

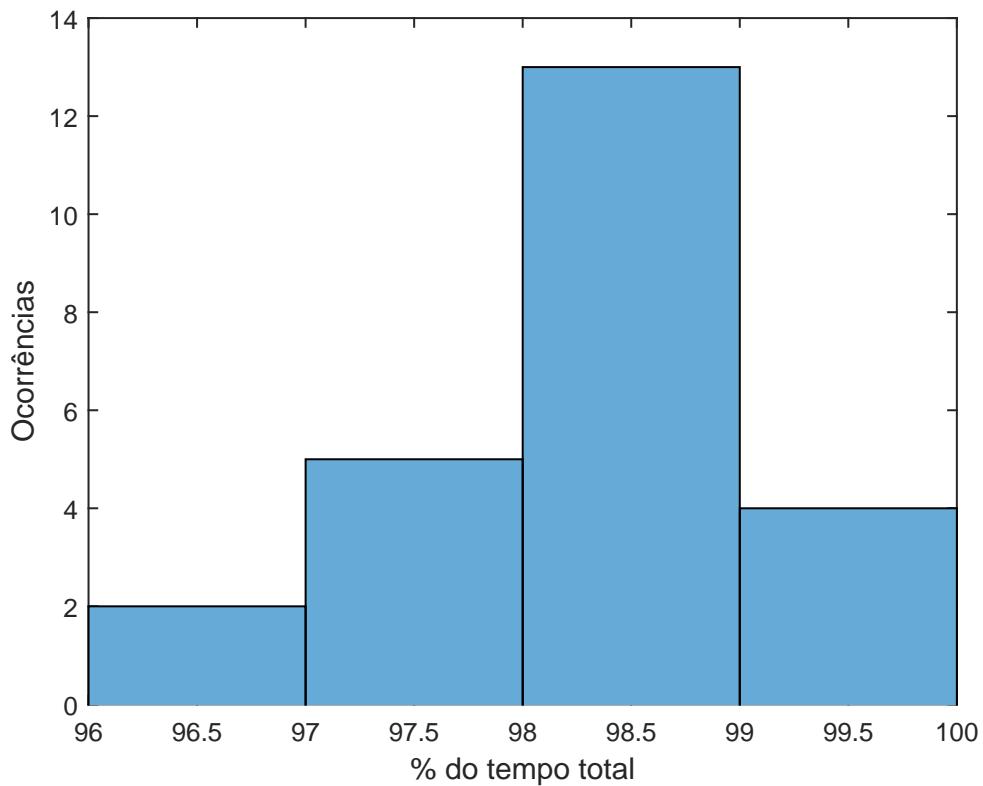


FIGURA 3.3: Histograma da relação  $\frac{T_{distancia}}{T_{total}}$ , para as 24 imagens de saída

A função *reamostragem.m* é responsável por esse passo, recebendo como entrada uma matriz contendo a sub-região a ser re-amostrada e a taxa de re-amostragem, e retorna a matriz re-amostrada de acordo com a taxa escolhida. Essa nova matriz é então utilizada pelo algoritmo para calcular as probabilidades e posteriormente fazer a classificação dos *pixels*.

O parâmetro modificado para análise do tempo é a taxa de re-amostragem, os valores escolhidos foram: 100 %, 50 %, 10 % e 1 % dos *pixels* originalmente marcados. Os valores foram escolhidos para que seja possível analisar se a redução dos conjuntos de *pixels* marcados está diretamente ligada ao tempo de execução do algoritmo, por exemplo, se o conjunto  $\Omega$  for reduzido pela metade acarretaria na redução pela metade no tempo total. Os números 10 e 1 foram escolhidos por representarem extremos, ou seja, verificar o impacto da eliminação de quase todos os *pixels* de  $\Omega$  no resultado final e determinar um *trade-off* sobre o ganho de tempo em relação à taxa de re-amostragem desses pontos.

A Figura 3.4 mostra um exemplo de re-amostragem com as taxas acima citadas, nesta figura é possível perceber nas Figuras 3.4b e 3.4c que as taxas de 50 % e 10 % não apresentam descontinuidade na marcação, enquanto que na

Figura 3.4d é possível perceber algumas descontinuidades na marcação, o que irá resultar em erros de classificação.

A performance das modificações realizadas também foi medida em termos de tempo relativo, ou seja, qual foi a melhoria em relação ao tempo de execução utilizando todos os *pixels* marcados (*Full Set*). O tempo relativo  $T_r$  é calculado usando a Equação 3.10.

$$T_r^i = 100 - \left( 100 \frac{T_{total}^i}{T_{FullSet}} \right), \text{ onde } i = 1, 10, 50. \quad (3.10)$$

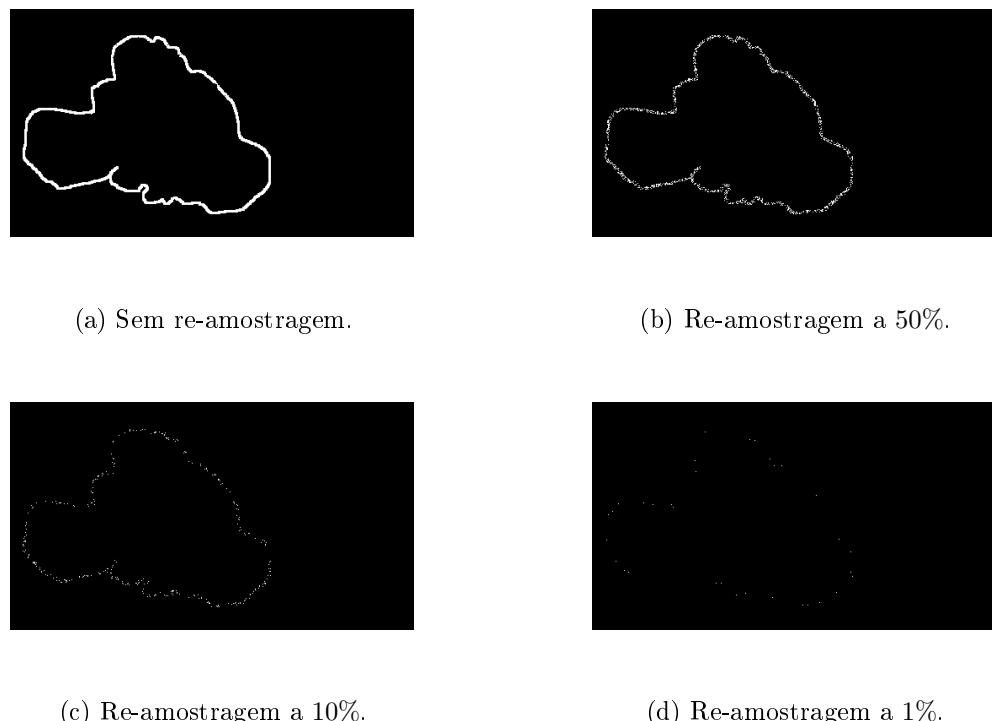


FIGURA 3.4: Exemplo de re amostragem com taxas de 50 %, 10 % e 1 %.

### 3.3.2 Parâmetros avaliados

Para avaliar o resultado das diferentes taxas de re amostragem foram utilizados dois parâmetros principais: tempo e o erro na classificação dos *pixels*, sendo que para avaliar o último foi considerado a imagem resultado sem re amostragem como ponto de referência e a comparação é feita subtraindo as outras imagens resultado dessa imagem referência. Para análise do tempo foram utilizadas duas funções do *MatLab*, *tic/toc* e *etime* para garantir que a conformidade do tempo medido. Esta avaliação de tempo ocorre de duas formas diferentes, primeiramente a função *tic/toc* é utilizada para medir o tempo de

execução de cada passo do algoritmo, que foi divido em oito etapas listadas abaixo. Enquanto que a função *etime* foi usada para medir o tempo de execução total da função *segmenta.m.*

## Capítulo 4

# Implementação e resultados

### 4.1 Implementação

A técnica descrita anteriormente foi implementada utilizando o *Matlab*. A implementação foi dividida em partes para facilitar tanto o desenvolvimento quanto a manutenção do código fonte, estando este agrupado em 9 diferentes funções descritas abaixo com sua relação hierárquica mostrada na Figura 4.1. O fluxo do código e seus principais resultados são mostrados no diagrama da Figura 4.2. As cores utilizadas nesse diagrama correspondem às funções da Figura 4.1 que realizam as tarefas descritas abaixo.

- **segmenta.m:** função que realiza a classificação dos *pixels* de acordo com a probabilidade.
- **getPixelsPosition.m:** função que guarda em uma matriz a posição e os valores dos *pixels* marcados pelo usuário.
- **getChannels.m:** função que calcula os canais.
  - **gaborFilter.m:** função que implementa o filtro de Gabor.
  - **getPixelsDist.m:** função que guarda em uma matriz a posição e os valores dos pixels marcados pelo usuário para todos os canais.
- **getChannelWeight:** função que calcula o peso de cada canal seguindo a Equação 3.1.
- **getGeodesicWeight:** função que calcula o peso que irá ponderar a distância do *pixel*  $t$  para o *pixel*  $x$ , onde  $x$  pertence à uma região marcada.
- **resampleMatrix.m:** função que faz a re-amostragem dos *pixels* marcados pelo usuário.

- **getMinDistance.m:** função que calcula a menor distância de um *pixel* para uma determinada região marcada na imagem

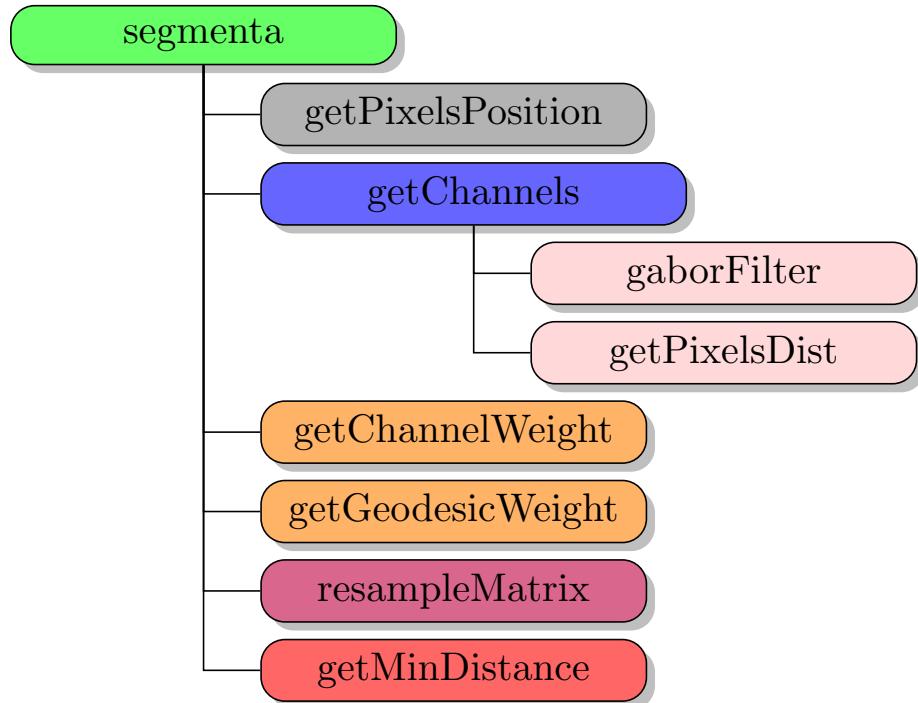


FIGURA 4.1: Hierarquia das funções criadas.

A função *segmenta.m* recebe os parâmetros de entrada listados abaixo. É importante notar que o formato da imagem deve ser “.png” para que não haja compressão, ou seja, os valores dos *pixels* não sejam alterados após a imagem ser gravada com as marcações desejadas. Para cada região de interesse deve ser gerada uma imagem com as sub-regiões de interesse.

Para armazenar os valores dos pontos das regiões de interesse as imagens marcadas são comparadas ponto a ponto com a imagem original de tal forma que os valores que forem diferentes representam os *pixels* marcados, esses pontos então tem seu valor escrito em uma matriz guardando a mesma posição original. A partir desta matriz cada sub-região é armazenada em uma matriz diferente, estas são distinguidas verificando os *pixels* 8-conectados com seus vizinhos, assim cada imagem marcada é varrida apenas uma vez. Feito isto, é calculada a FDP das regiões de interesse, todo este processo é realizado pela função *getPixelsPosition.m*.

A função *getChannels.m* irá construir os filtros utilizando a função *gaborFilter.m*. Uma vez construídos os filtros são utilizados no canal de

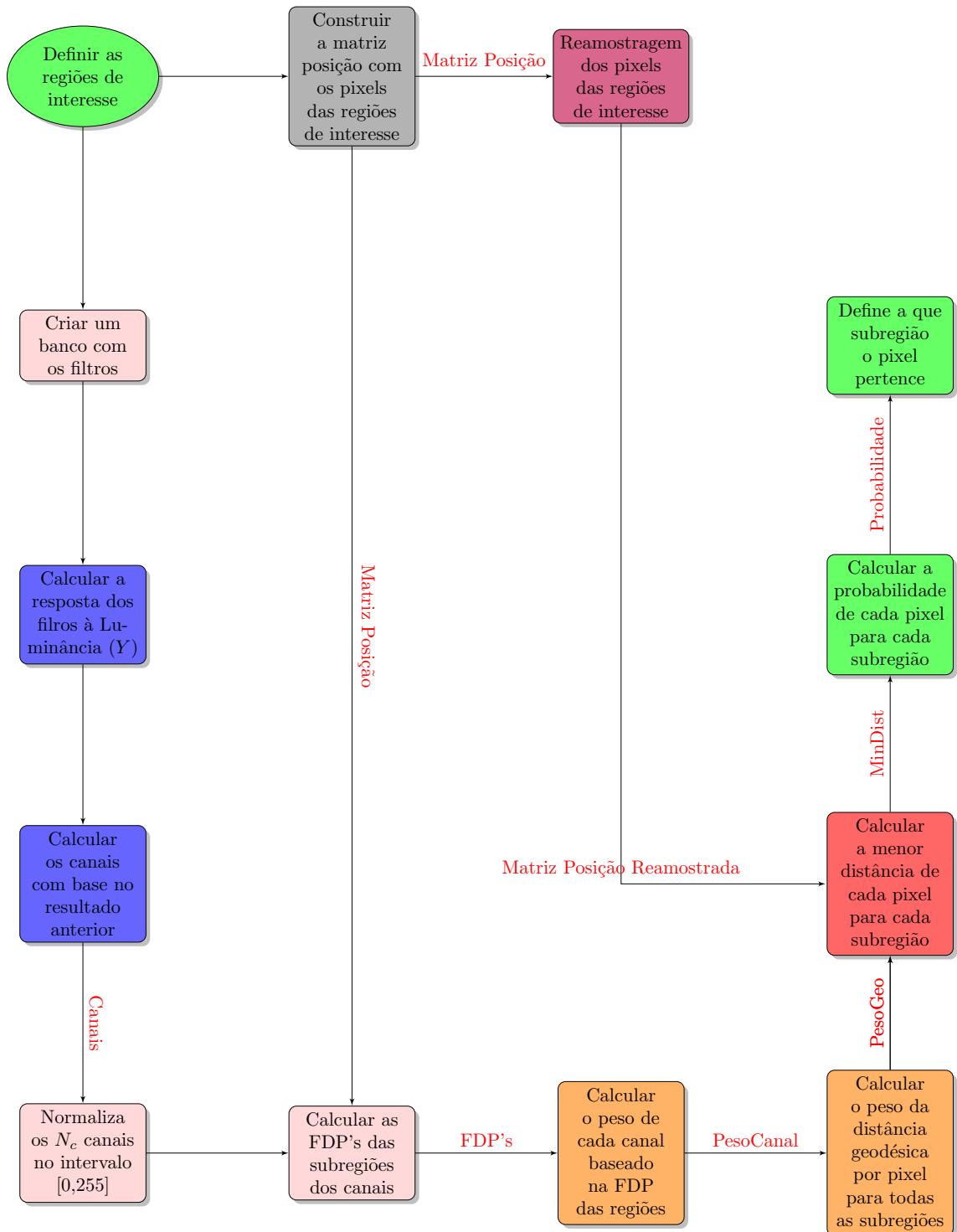


FIGURA 4.2: Fluxo do algoritmo.

luminância ( $Y$ ) e sua saída ( $G_i$ ) é utilizada na Equação 4.1 para definição dos canais, alé dos canais de crominância ( $Cb$  e  $Cr$ ) da imagem. Após a criação do banco de canais, a função *getPixelsDist.m* é chamada para calcular a FDP dos *pixels* das regiões marcadas para cada um dos 19 canais utilizados.

$$\forall(x, y) \in \Omega : F_i(x, y) = \frac{1}{N^2} \int \int_{\Omega_{x,y}} \tanh \left( \alpha \frac{G_i(u, v)}{\sigma(G_i)} \right) dudv, \quad \text{onde } \alpha = 0.25 \text{ e } N = 5 \quad (4.1)$$

Uma vez calculadas as FDP's das regiões de interesse de cada canal, é possível calcular o peso de cada canal em função dessas probabilidades, conforme descrito anteriormente nas equações 3.1 e 3.2. Este cálculo é feito pela função *getChannelsWeight.m* que utiliza a matriz contendo as FDP's das sub-regiões de todos os canais. O valor final da probabilidade de um *pixel*  $x$  pertencer a uma região é a soma das probabilidades de  $x$  pertencer a cada uma das sub-regiões existentes.

Cada *pixel*  $x$  ( $x \in \mathbb{I}$ ) no intervalo  $[0, 255]$  tem um peso geodésico associado, descrito na Equação 3.6b, que representa o complemento da probabilidade de  $x$  pertencer a uma determinada região ou sub-região. A função *getGeodesicWeight.m* utilizada as equações 3.5 e 3.6a para encontrar os valores de  $\Omega$  de uma sub-região em comparação com outra. Para cada valor de *pixel* é criada uma matriz  $\Omega(r, s)$ , onde  $r$  é o número de regiões e  $s$  é o número de sub-regiões. A função *getGeodesicWeight.m* é chamada dentro de um laço para calcular o peso para cada sub-região. Tais pesos são calculados comparando uma a uma das sub-regiões, considerando o fato de que sub-regiões de uma mesma região não competem entre si, e a soma desses pesos é o peso geodésico final para o *pixel* em questão.

Por fim, a classificação dos *pixels* é feita diretamente na função *segmenta.m* que utiliza a função *getMinDistance.m* para encontrar a menor distância de um ponto entre todas as sub-regiões, calculadas a partir da Equação 3.7 e armazena em uma matriz  $D(r, s)$ , conforme descrito anteriormente. A partir dessa matriz é calculada um outra matriz  $P(r, s)$  que armazena a probabilidade, segundo a Equação 4.2 do *pixel* atual pertencer a cada uma das sub-regiões e então o menor valor da matriz  $P$  representa a qual sub-região pertence o *pixel* analisado:

$$Pr(t \in l_i) = \frac{d_i(t)^{-1}}{\sum_{j \in [1, N_l]} d_j(t)^{-1}} \quad (4.2)$$

## 4.2 Resultados

Para avaliar o impacto da re-amostragem dos *pixels* marcados pelo usuário na redução do tempo de execução do algoritmo apresentado em [1],

bem como mensurar o erro de classificação dos *pixels*, foram definidas 3 taxas de re-amostragem diferentes (50%, 10% e 1%) e 6 imagens distintas foram selecionadas, sendo 3 artificiais (Figuras 4.3a,4.3b e 4.3c) e 3 naturais (Figuras 4.3d,4.3e e 4.3f). As Figuras 3.1, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 representam, respectivamente, as marcações do fundo e do(s) objeto(s) das imagens 1 a 6.



(a) Imagem 1



(b) Imagem 2



(c) Imagem 3



(d) Imagem 4



(e) Imagem 5



(f) Imagem 6

FIGURA 4.3: Imagens utilizadas. A Figura 4.3a mostra Imagem 1, a Figura 4.3b mostra a Imagem 2, a Figura 4.3c mostra a Imagem 3, a Figura 4.3d mostra a Imagem 4, a Figura 4.3e mostra a Imagem 5 e a Figura 4.3f mostra a Imagem 6.

Analisando as imagens 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14 e 4.15 é possível



(a) Fundo da Imagem 2

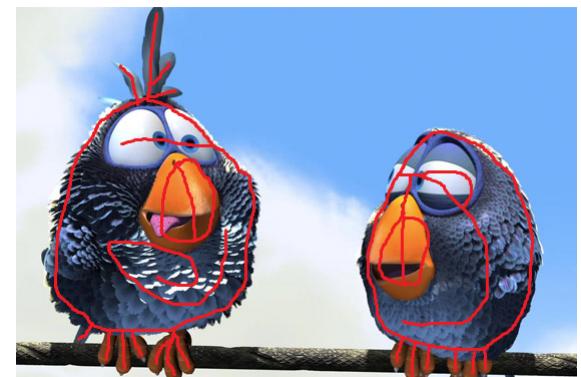


(b) Região de interesse

FIGURA 4.4: Marcação da Imagem 2. A Figura 4.4a mostra a marcação do fundo da imagem, a Figura 4.4b mostra o objeto de interesse.



(a) Fundo da Imagem 3

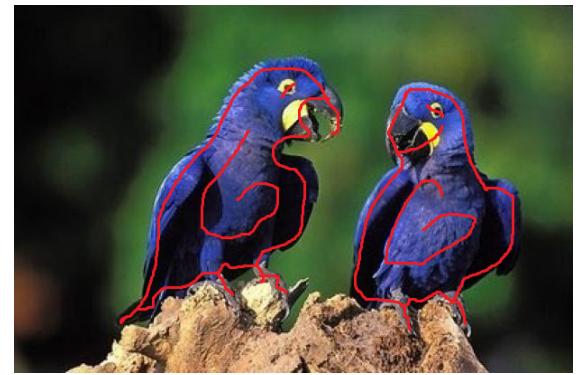


(b) Região de interesse

FIGURA 4.5: Marcação da Imagem 3. A Figura 4.5a mostra a marcação do fundo da imagem, a Figura 4.5b mostra o objeto de interesse.



(a) Fundo da Imagem 4



(b) Região de interesse

FIGURA 4.6: Marcação da Imagem 4. A Figura 4.6a mostra a marcação do fundo da imagem, a Figura 4.6b mostra o objeto de interesse.

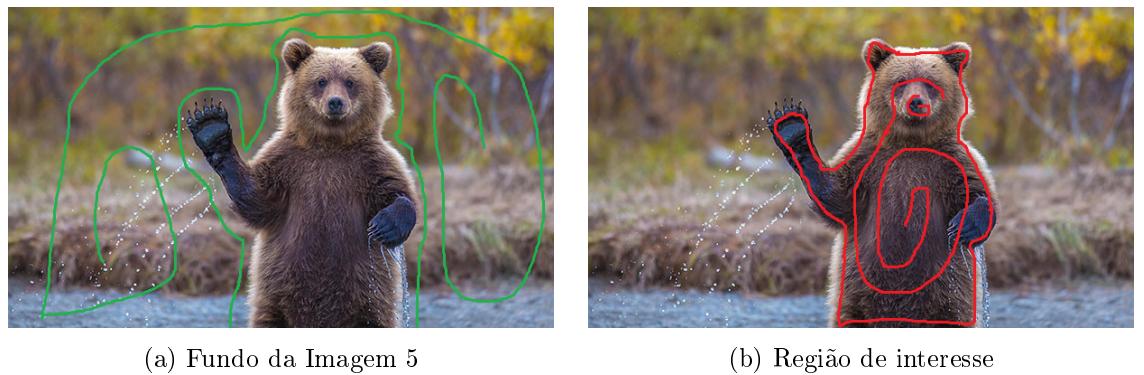


FIGURA 4.7: Marcação da Imagem 5. A Figura 4.7a mostra a marcação do fundo da imagem, a Figura 4.7b mostra o objeto de interesse.

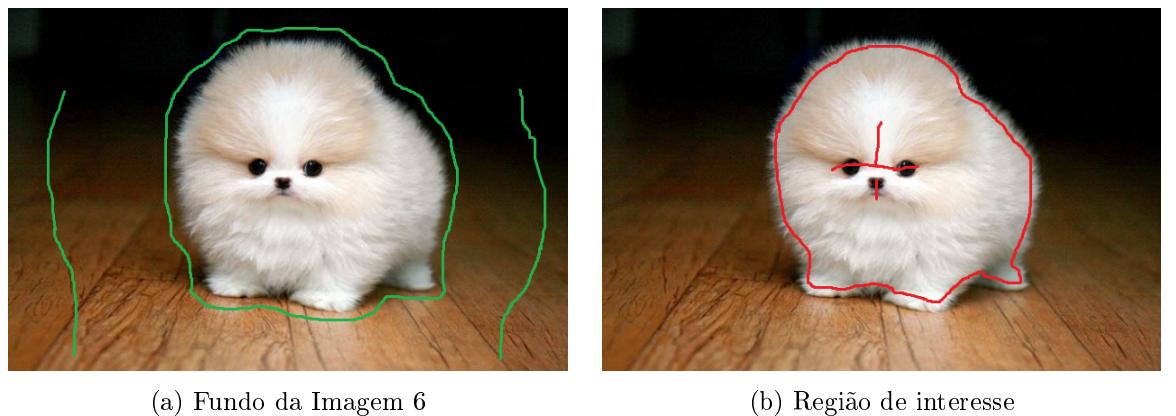


FIGURA 4.8: Marcação da Imagem 6. A Figura 4.8a mostra a marcação do fundo da imagem, a Figura 4.8b mostra o objeto de interesse.

perceber que apenas a re-amostragem com taxa de 1% apresentou resultados onde é possível perceber visualmente, que *pixels* foram classificados de forma errada, apesar das imagens re-amostradas com taxas de 50% e 10% também apresentarem erros, estes são praticamente imperceptíveis ao olho humano, ou seja, existe pouca diferença visual entre as imagens com essas taxas, especialmente as imagens 2, 4, e 6 (Figuras 4.3b, 4.3d e 4.3f, respectivamente) que são imagens mais simples, onde o fundo possui cores bem diferentes do objeto de interesse e portanto, a distância de um ponto na imagem para os *pixels* marcados não é tão relevante para o resultado final.

Enquanto que nas imagens 1, 3 e 5 (Figuras 4.3a, 4.3c e 4.3e, respectivamente), que são imagens mais complexas (i.e., o fundo da imagem possui cores de intensidade similar às do(s) objeto(s) de interesse) é possível perceber alguns pequenos erros de segmentação, pequenos *pixels* pretos nos objetos que



(a) Resultado da segmentação do objeto 1 da Imagem 1 com todos os *pixels*



(b) Resultado da segmentação do objeto 1 da Imagem 1 com taxa de re-amostragem de 50%



(c) Resultado da segmentação do objeto 1 da Imagem 1 com taxa de re-amostragem de 10%



(d) Resultado da segmentação do objeto 1 da Imagem 1 com taxa de re-amostragem de 1%

FIGURA 4.9: Resultado da segmentação do objeto 1 da Imagem 1. A Figura 4.9a mostra a segmentação com 100% dos *pixels* marcados, a Figura 4.9b mostra a segmentação com 50% dos *pixels* marcados, a Figura 4.9c mostra a segmentação com 10% dos *pixels* marcados e a Figura 4.9d mostra a segmentação com 1% dos *pixels* marcados.

foram classificados de forma errônea, isto ocorreu porque as marcações feitas não foram suficientes, uma vez que nesse caso a distância entre os *pixels* é um fator determinante para um resultado satisfatório.

Para quantificar os erros de classificação de todas as imagens, tomou-se como referência as imagens segmentadas com 100% dos *pixels* marcados ( $I_{100\%}^i$ ,  $\forall i = 1, 2, \dots, 6$ ). Este erro é calculado da seguinte forma:  $E_k^1 = I_{100\%}^1 - I_k^1 \forall k = 50\%, 10\% \text{ e } 1\%$ . Em outras palavras, é feita uma subtração entre a imagem segmentada de referência e as imagens segmentadas com re-amostragem e o resultado desta operação é o conjunto de *pixels* que deveria

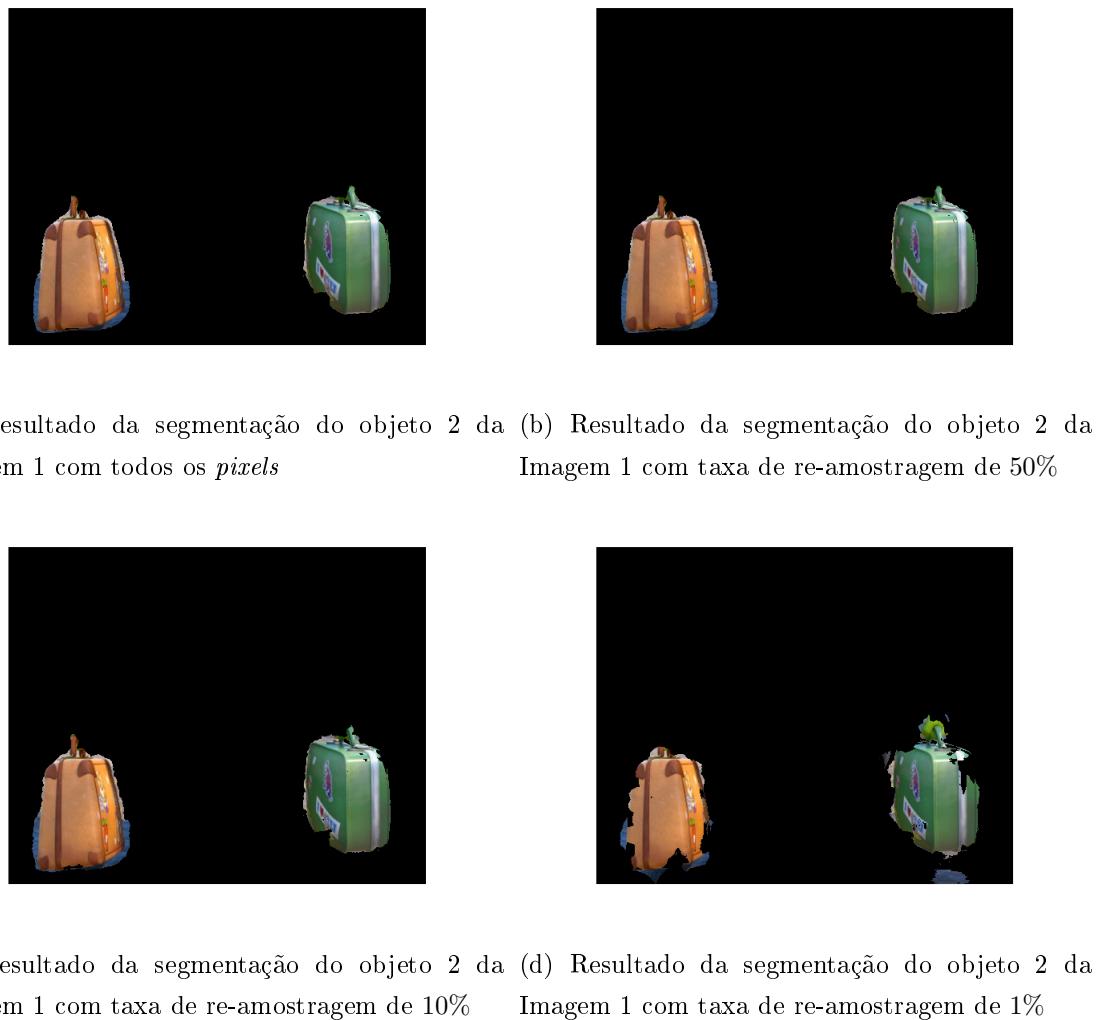
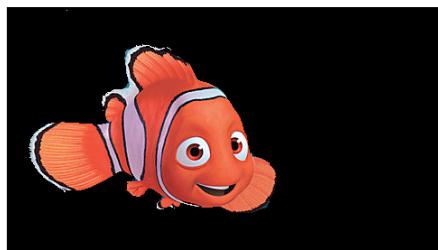


FIGURA 4.10: Resultado da segmentação do objeto 2 da Imagem 1. A Figura 4.10a mostra a segmentação com 100% dos *pixels* marcados, a Figura 4.10b mostra a segmentação com 50% dos *pixels* marcados, a Figura 4.10c mostra a segmentação com 10% dos *pixels* marcados e a Figura 4.10d mostra a segmentação com 1% dos *pixels* marcados.

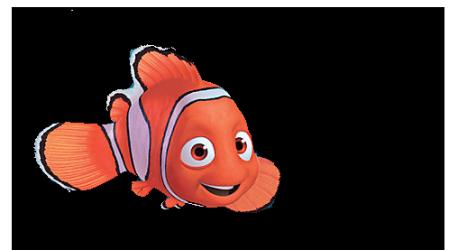
ter sido classificado como objeto e/ou fundo da imagem, mas não foram, ou seja, o erro de classificação.

Estes *pixels* de erro são então quantificados e o erro final de classificação final se dá relativo ao número total de *pixels* da imagem. Dessa forma tem-se  $E_{final(k)}^i = \frac{E_k^i}{Total_{pixels}^i} 100$ ,  $\forall k = 50\%, 10\% \text{ e } 1\%$ ,  $i = 1, 2, \dots, 6$  como sendo a porcentagem de *pixels* de uma dada imagem que foram classificados erroneamente. A Figura 4.16 mostra o gráfico do erro de classificação para todas as imagens.

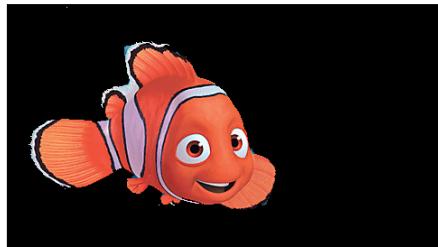
A avaliação do tempo, aferido conforme descrito na seção 3.3.2, pode ser feita em termos do tempo absoluto, mostrado no gráfico da Figura 4.17, e



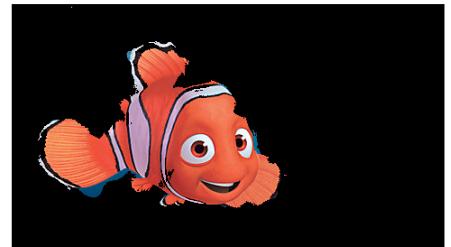
(a) Resultado da segmentação da Imagem 2 com todos os *pixels*



(b) Resultado da segmentação Imagem 2 com taxa de re-amostragem de 50%



(c) Resultado da segmentação Imagem 2 com taxa de re-amostragem de 10%



(d) Resultado da segmentação Imagem 2 com taxa de re-amostragem de 1%

FIGURA 4.11: Resultado da segmentação do objeto 2 da Imagem 2. A Figura 4.11a mostra a segmentação com 100% dos *pixels* marcados, a Figura 4.11b mostra a segmentação com 50% dos *pixels* marcados, a Figura 4.11c mostra a segmentação com 10% dos *pixels* marcados e a Figura 4.11d mostra a segmentação com 1% dos *pixels* marcados.

em termos de tempo relativo, mostrado no gráfico da Figura 4.18, este gráfico mostra o quanto o tempo de execução do algoritmo com re-amostragem de 50%, 10%, e 1% foi menor do que a execução do algoritmo original com 100% dos *pixels* marcados. É possível perceber que a redução de tempo não passou de 40% e avaliando separadamente a segmentação obtida com taxa de re-amostragem de 10% dos *pixels* marcados (que é a menor taxa onde não é possível perceber visualmente erros significativos de classificação), à exceção da imagem 2 que obteve uma redução em torno de 32% do tempo de execução, todas as outras imagens não atingiram a marca de 20% de redução do tempo de execução do algoritmo.



(a) Resultado da segmentação da Imagem 3 com todos os *pixels*



(b) Resultado da segmentação Imagem 3 com taxa de re-amostragem de 50%



(c) Resultado da segmentação Imagem 3 com taxa de re-amostragem de 10%



(d) Resultado da segmentação Imagem 3 com taxa de re-amostragem de 1%

FIGURA 4.12: Resultado da segmentação do objeto 2 da Imagem 3. A Figura 4.12a mostra a segmentação com 100% dos *pixels* marcados, a Figura 4.12b mostra a segmentação com 50% dos *pixels* marcados, a Figura 4.12c mostra a segmentação com 10% dos *pixels* marcados e a Figura 4.12d mostra a segmentação com 1% dos *pixels* marcados.



(a) Resultado da segmentação da Imagem 4 com todos os *pixels*



(b) Resultado da segmentação Imagem 4 com taxa de re-amostragem de 50%



(c) Resultado da segmentação Imagem 4 com taxa de re-amostragem de 10%



(d) Resultado da segmentação Imagem 4 com taxa de re-amostragem de 1%

FIGURA 4.13: Resultado da segmentação do objeto 2 da Imagem 4. A Figura 4.13a mostra a segmentação com 100% dos *pixels* marcados, a Figura 4.13b mostra a segmentação com 50% dos *pixels* marcados, a Figura 4.13c mostra a segmentação com 10% dos *pixels* marcados e a Figura 4.13d mostra a segmentação com 1% dos *pixels* marcados.



(a) Resultado da segmentação da Imagem 5 com todos os *pixels*



(b) Resultado da segmentação Imagem 5 com taxa de re-amostragem de 50%



(c) Resultado da segmentação Imagem 5 com taxa de re-amostragem de 10%



(d) Resultado da segmentação Imagem 5 com taxa de re-amostragem de 1%

FIGURA 4.14: Resultado da segmentação do objeto 2 da Imagem 5. A Figura 4.14a mostra a segmentação com 100% dos *pixels* marcados, a Figura 4.14b mostra a segmentação com 50% dos *pixels* marcados, a Figura 4.14c mostra a segmentação com 10% dos *pixels* marcados e a Figura 4.14d mostra a segmentação com 1% dos *pixels* marcados.



(a) Resultado da segmentação da Imagem 6 com todos os *pixels*



(b) Resultado da segmentação Imagem 6 com taxa de re-amostragem de 50%



(c) Resultado da segmentação Imagem 6 com taxa de re-amostragem de 10%



(d) Resultado da segmentação Imagem 6 com taxa de re-amostragem de 1%

FIGURA 4.15: Resultado da segmentação do objeto 2 da Imagem 6. A Figura 4.15a mostra a segmentação com 100% dos *pixels* marcados, a Figura 4.15b mostra a segmentação com 50% dos *pixels* marcados, a Figura 4.15c mostra a segmentação com 10% dos *pixels* marcados e a Figura 4.15d mostra a segmentação com 1% dos *pixels* marcados.

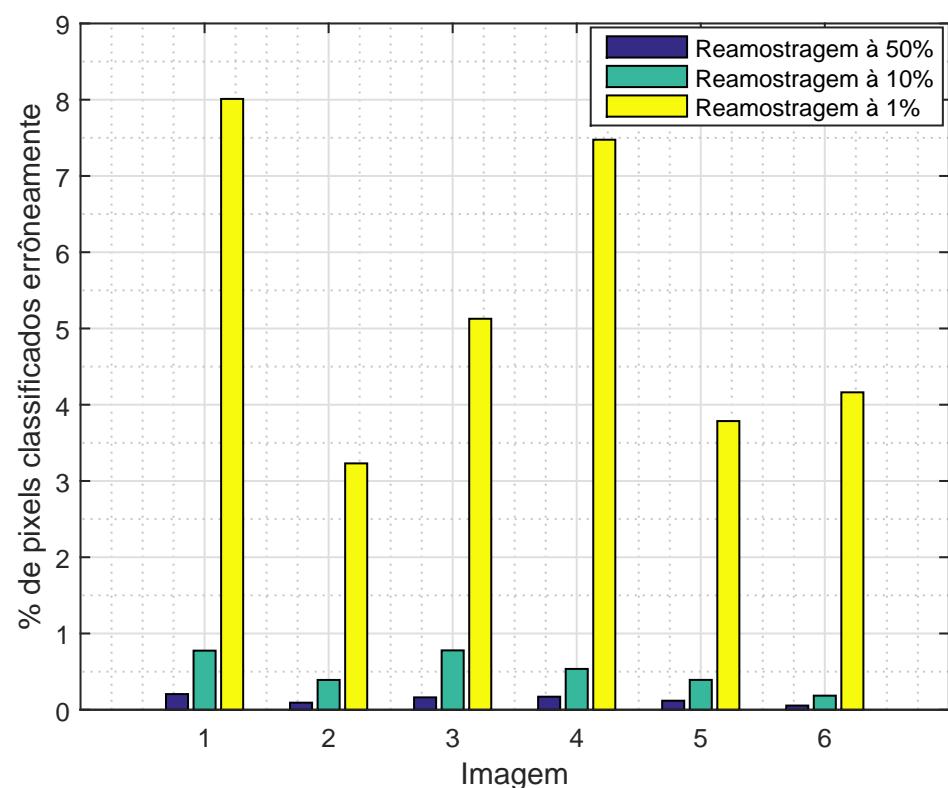


FIGURA 4.16: Gráfico do erro de classificação relativo ao total de *pixels* de cada imagem %

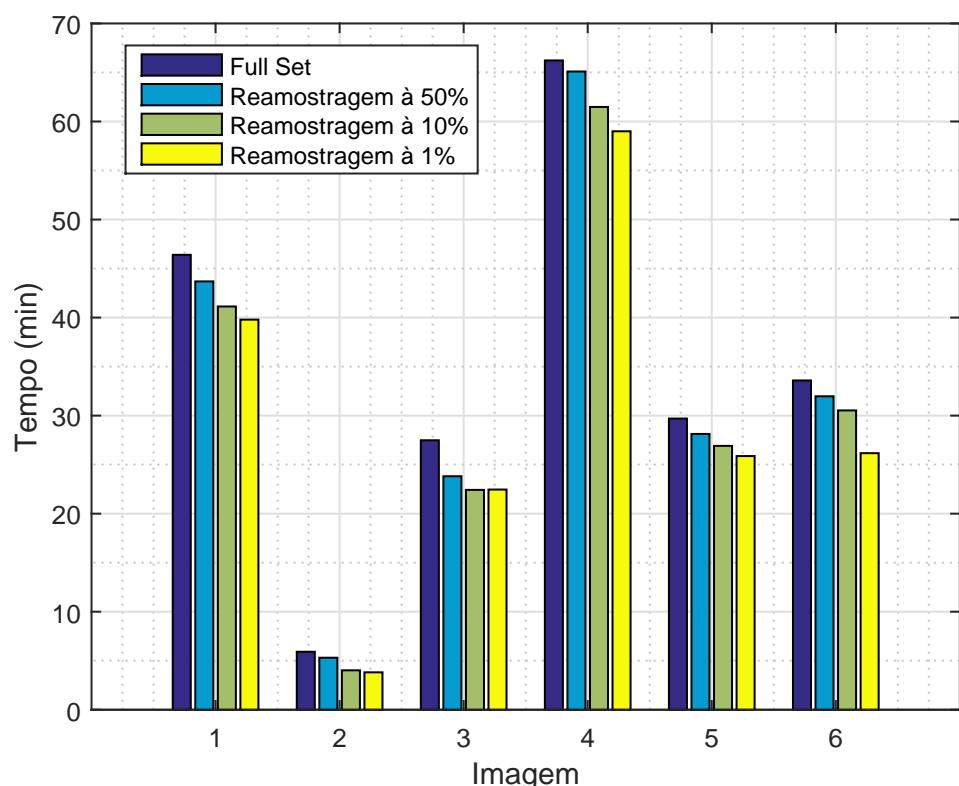


FIGURA 4.17: Gráfico do tempo absoluto para classificação das imagens (em minutos)

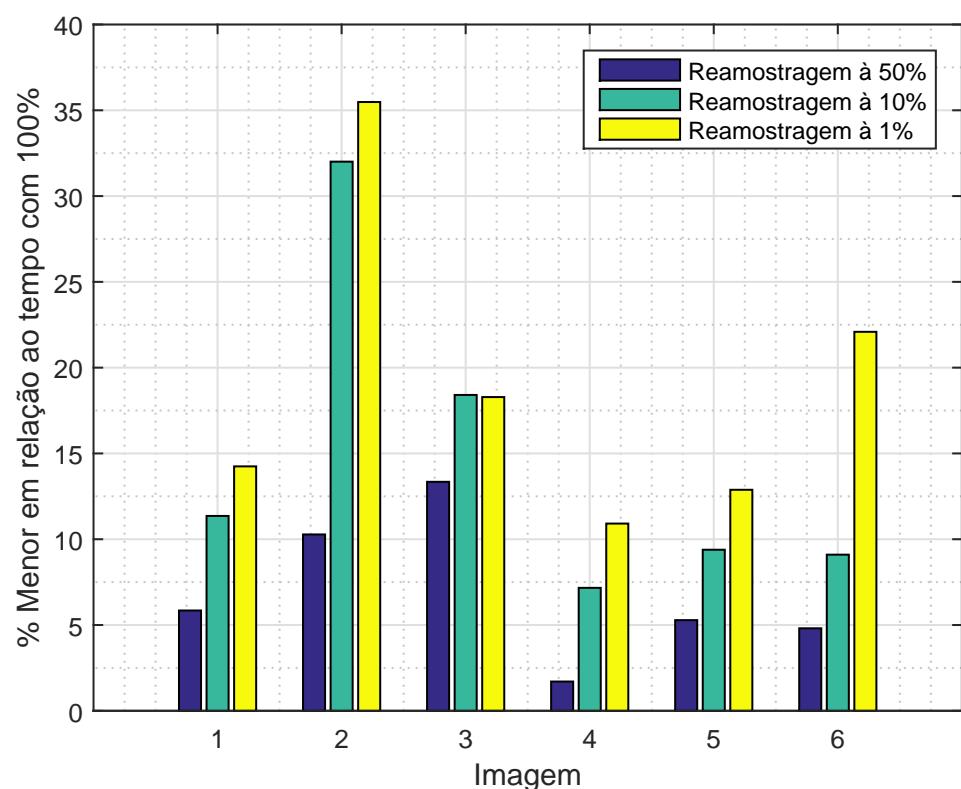


FIGURA 4.18: Gráfico do tempo relativo para classificação das imagens (em %)

## Capítulo 5

# Considerações finais e trabalhos futuros

As modificações realizadas apresentaram resultados positivos e as segmentações obtidas (exceto as com taxa de re-amostragem de 1%) são visualmente satisfatórias, no sentido que as diferenças em relação à situação em que não há re-amostragem são quase imperceptíveis ao olho humano.

Os gráficos das Figuras 4.16, 4.17 e 4.18 comprovam que a redução de tempo proposta implicou em um erro de classificação menor que 1% para taxas de re-amostragem de 50% e 10%, entretanto para que se chegue a uma conclusão mais precisa, é necessário fazer uma avaliação com imagens mais complexas, de tamanhos mais variados e em quantidade maior para alcançar um bom nível de confiança. Utilizando também outras taxas no intervalo de 10% a 50%, que foram as taxas que apresentaram melhor custo benefício entre redução de tempo e erro de classificação, em conjunto com técnicas não-uniformes de re-amostragem.

Este trabalho mostrou que é possível reduzir o tempo de execução do algoritmo, mostrando também que um possível caminho para isso está em otimizar o cálculo da distância (conforme o gráfico da Figura 3.3) dos pontos da imagem para os pontos das regiões marcadas, em outras palavras, encontrar formas de reduzir o número de cálculos realizados para encontrar a menor distância entre um *pixel* e as regiões marcadas.

De acordo com Sapiro et. al. [1], o algoritmo usado para etapa do cálculo da distância possui complexidade  $O(n)$ , isto é, o número de operações é diretamente proporcional ao número de *pixels* na entrada. Tendo em vista que esta é a etapa mais demorada, é válido concentrar os esforços futuros em encontrar alternativas para reduzir o tempo do cálculo da distância a fim de melhorar o desempenho geral do algoritmo.

# Referências Bibliográficas

- [1] A. Protiere and G. Sapiro. Interactive image segmentation via adaptive weighted distances. *IEEE Transactions on Image Processing*, 16(4):1046–1057, 2007.
- [2] L. Shapiro and G. Stockman. Computer Vision. 9:609, 2000.
- [3] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and B. R. Masters. Digital image processing, third edition. *Journal of biomedical optics*, 14(2):029901.
- [4] S.S. Haykin and B. V. Venn. *Sinais e sistemas*. Bookman, 2001.
- [5] S. Bambach. A Survey on Recent Advances of Computer Vision Algorithms for Egocentric Video. *2013*, 2013.
- [6] W. Khan. Image Segmentation Techniques: A Survey. *Journal of Image and Graphics*, 1(4):166–170, 2014.
- [7] A. S. Chauhan, S. Silakari, and M. Dixit. Image Segmentation Methods: A Survey Approach. *2014 Fourth International Conference on Communication Systems and Network Technologies*, 6:929–933, 2014.
- [8] N. Jain and A. Lala. Image Segmentation : A Short Survey. In *Confluence 2013: The Next Generation Information Technology Summit (4th International Conference)*, pages 380–384, 1993.
- [9] S. Saraswathi and A. Allirani. Survey on image segmentation via clustering. *2013 International Conference on Information Communication and Embedded Systems, ICICES 2013*, pages 331–335, 2013.
- [10] J. Acharya, S. Gadhiya, and K. Raviya. Segmentation Techniques for Image Analysis: A Review. *International Journal of Computer Science and Management Research*, 2(1):1218–1221, 2013.
- [11] H. Huang, C. Kuo, and P. Li. Adaptive segmentation method of currency image based on texture features. . . (NCM), 2011 7th . . . , pages 49–53, 2011.
- [12] F. Yi and I. Moon. Image segmentation: A survey of graph-cut methods. *2012 International Conference on Systems and Informatics, ICSAI 2012*, (Icsai):1936–1941, 2012.
- [13] B. S. Deshmukh. Segmentation of Microscopic Images : A Survey. pages 10–12, 2014.

- [14] N. Senthilkumaran and R. Rajesh. Image segmentation - A survey of soft computing approaches. *ARTCom 2009 - International Conference on Advances in Recent Technologies in Communication and Computing*, (1):844–846, 2009.
- [15] S. Raut, M. Raghuvanshi, R. Dharaskar, and A. Raut. Image segmentation - A state-of-art survey for prediction. *Proceedings - International Conference on Advanced Computer Control, ICACC 2009*, pages 420–424, 2009.
- [16] Inspiração do Photoshop, Informações do Photoshop | Photoshop.com, 2015.
- [17] S. Lakshmi and D. V. Sankaranarayanan. A study of Edge Detection Techniques for Segmentation Computing Approaches. *International Journal of Computer Applications*, CASCT(1):35–41, 2010.
- [18] N. Otsu. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 9(1):62–66, 1979.
- [19] H. G. Kaganami and Z. Beiji. Region-based segmentation versus edge detection. *IHH-MSP 2009 - 2009 5th International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, pages 1217–1221, 2009.
- [20] B. Manjunath and W. Ma. Texture features for browsing and retrieval of image data. *\mbox{IEEE} Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 8(18):837–842, 1996.
- [21] M. Sivalingamaiah and B. D. V. Reddy. Texture Segmentation Using Multichannel Gabor Filtering. 2(6):22–26, 2012.
- [22] T. Shioyama, H. Wu, and S. Mitani. Segmentation and object detection with Gabor filters and cumulative histograms. *Proceedings - International Conference on Image Analysis and Processing, ICIAP 1999*, (1):412–417, 1999.