

**Segmentação de Imagens de Mapas
Telefônicos por Morfologia Matemática**

Pablo Martins

Dissertação de Mestrado

Segmentação de Imagens de Mapas Telefônicos por Morfologia Matemática

Pablo Martins

4 de fevereiro de 2000

Banca Examinadora:

- Prof. Dr. Neucimar Jerônimo Leite
IC - Unicamp (Orientador)
- Prof. Dr. Geovane Cayres Magalhães
IC - Unicamp
- Prof. Dr. Abdenaim El Yacoubi
DI - PUC-PR
- Prof. Dr. Paulo Lício de Geus (Suplente)
IC - Unicamp

UNIDADE BC
N.º ORÇAMENTAL:
T/UNICAMP
M366A
V. 41134
TOMADA DE PREÇOS: 278/00
C. D.
PREÇO: R\$ 11,00
DATA: 16-06-00
CPD

CM-00142456-2

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA CENTRAL DA UNICAMP

M366s Martins, Pablo
 Segmentação de imagens de mapas telefônicos
 por morfologia matemática / Pablo Martins. -- Campinas,
 SP : [s.n.], 2000.

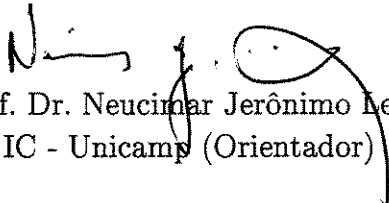
 Orientador : Neucimar Jerônimo Leite.
 Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
 Campinas, Instituto de Computação.

 1. Morfologia (Matemática). 2. Processamento de
 imagens. 3. Cartografia - Processamento de dados.
 4. Reconhecimento de padrões. I. Leite, Neucimar
 Jerônimo. II. Universidade Estadual de Campinas.
 Instituto de Computação. III. Título.

Segmentação de Imagens de Mapas Telefônicos por Morfologia Matemática

Este exemplar corresponde à redação final da
Dissertação devidamente corrigida e defendida
por Pablo Martins e aprovada pela Banca Exa-
minadora.

Campinas, 4 de fevereiro de 2000.

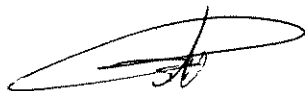


Prof. Dr. Neucimar Jerônimo Leite
IC - Unicamp (Orientador)

Dissertação apresentada ao Instituto de Com-
putação, UNICAMP, como requisito parcial para
a obtenção do título de Mestre em Ciência da
Computação.

TERMO DE APROVAÇÃO

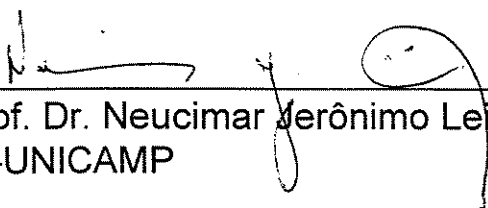
Tese defendida e aprovada em 02 de fevereiro de 2000, pela
Banca Examinadora composta pelos Professores Doutores:



Prof. Dr. Abdenaim El Yacoubi
PUC - PR



Prof. Dr. Geovane Cayres Magalhães
IC-UNICAMP



Prof. Dr. Neucimar Jerônimo Leite
IC-UNICAMP

Agradecimentos

A Deus, acima de qualquer coisa, por toda a bênção que Dele tenho recebido.

À minha mãe e minhas irmãs, Paula e Paola, pelo companherismo e por participarem comigo de mais essa conquista.

Ao Neucimar, pelo seu apoio e orientação no desenvolvimento deste trabalho.

A todos os amigos, que de uma forma ou outra, me ajudaram neste trabalho, seja emprestando o computador, dando dicas úteis ou me carregando de lá pra cá.

Ao CPqD, pelo fornecimento das plantas cadastrais fundamentais para a realização deste trabalho.

À FAPESP e ao CNPq pelo apoio financeiro.

Este trabalho foi parcialmente realizado no contexto do projeto PRONEX-MCT SAI - Sistemas Avançados de Informação.

Resumo

Em visão computacional, segmentar consiste em identificar e extrair estruturas homogêneas presentes em uma cena. As estruturas podem ser identificadas a partir de aspectos que caracterizam sua forma, geometria e topologia, escolhidas de modo a possibilitar a melhor distinção.

Neste trabalho, exploramos o paralelismo intrínseco das operações de Morfologia Matemática, através de uma combinação das operações fundamentais de erosão e dilatação para o desenvolvimento de um conjunto de funções de segmentação responsáveis pela identificação e reconhecimento de componentes existentes em mapas telefônicos, representando esquemáticos de redes telefônicas correspondentes a uma determinada área urbana.

Abstract

In computer vision, segmenting consists in the recognition and extraction of homogenous structures from a scene. These structures are recognized based on their shape, geometry and topology, chosen in such a way to provide the best results.

In this work, we explore the intrinsic parallelism from Mathematical Morphology operations, as an unification of conventional erosion and dilation, to develop a set of segmentation functions responsible for the recognition and extraction of geometric features from telephone maps, of an urban area, containing telephone network schemes.

Sumário

Agradecimentos	iv
Resumo	v
Abstract	vi
1 Introdução	1
1.1 Considerações Gerais	1
1.2 Visão Geral do Problema	2
1.3 Proposta	2
1.4 Organização do Trabalho	4
2 Segmentação Morfológica de Mapas Telefônicos	5
2.1 Conceito de Segmentação	5
2.2 Processo de Aquisição dos Mapas	6
2.3 Elementos de uma Planta Cadastral	8
2.4 Métodos de Segmentação Cartográfica	10
2.4.1 Segmentação por Grafos	10
2.4.2 Sistema MARIS	11
2.4.3 Segmentação Cartográfica por Morfologia Matemática	12
3 Conceitos Teóricos	13
3.1 Morfologia Matemática	13
3.1.1 Introdução	13
3.1.2 Transformações Clássicas	14
3.1.3 Transformações HMT	14
3.1.4 Dilatação e erosão binárias	15
3.1.5 Abertura e Fechamento Binários	16
3.1.6 Operações Geodésicas	17
3.1.7 Reconstrução Binária	18

3.1.8	Espessamento Homotópico	19
3.2	Morfologia Matemática Direcional	20
3.3	Afinamento	22
3.4	Medidas de Propriedades Geométricas em Imagens	23
3.4.1	Inclinação e Curvatura	23
3.4.2	Retilidade	23
4	Funções Morfológicas de Segmentação	25
4.1	Introdução	25
4.2	Nomenclatura das Funções	26
4.3	Função para Detecção de Contorno (f^{cont})	28
4.4	Função para Filtragem do Contorno (f^{aresta})	29
4.5	Função para Extração Inicial de Componentes Longos ($f^{longos_inicial}$)	33
4.6	Reconstrução de Componentes Longos (f^{longos})	40
4.7	Obtenção de Componentes Curtos (f^{curtos})	42
5	Funções Específicas	50
5.1	Seção de Serviço ($f^{demarcações}$)	50
5.2	Caracteres ($f^{caracteres}$)	55
5.3	Caixas Subterrâneas (f^{caixas})	58
5.4	Armários de Distribuição ($f^{armários}$)	59
5.5	Lances de Cabos (f^{cabos})	62
5.6	Faces de Lote e Limites de Arruamento (f^{lotes})	66
5.7	Caixas Prediais Internas ($f^{prediais}$)	71
5.8	Caixa Terminal ($f^{terminais}$)	73
6	Conclusões	80
6.1	Contribuições	80
6.2	Limitações e Extensões ao Trabalho	81
A	Afinamento por Zhang-Suen	82
A.1	Introdução	82
A.2	Distorções no Afinamento	84
B	Exemplos Adicionais	87
	Bibliografia	93

Lista de Figuras

1.1	Seqüência de passos para o processamento de mapas telefônicos. Cada mapa entrante gera imagens individuais contendo cada um dos seus componentes. .	3
2.1	Trecho de mapa telefônico e o resultado de sua binarização.	7
2.2	Exemplo de histograma de um mapa com dois picos, de fácil limiarização. .	7
2.3	Trechos de uma planta cadastral, com representações para os componentes definidos nesta seção. (1) Face de lote; (2) Seção de Serviço; (3) Lance de cabo; (4) Caixa Interna Predial; (5) Caixa Terminal; (6) Caixa Subterrânea; (7) Armário de distribuição e (8) Caracteres.	9
2.4	Trecho de mapa cadastral italiano	11
2.5	Exemplo de um mapa topográfico de escala reduzida do Japão.	12
3.1	Dilatação binária do objeto A pelo elemento estruturante B.	15
3.2	Erosão binária de A pelo mesmo elemento estruturante B originando o objeto pontilhado.	16
3.3	Resultado da abertura e fechamento de uma imagem binária por um pequeno círculo euclidiano.	17
3.4	Distância Geodésica.	17
3.5	Exemplo de reconstrução binária em dois passos: a erosão, identificando os marcadores e a dilatação, reconstruindo os componentes.	19
3.6	Resultado da aplicação de um espessamento homotópico.	20
3.7	Direções individuais consideradas a partir de um elemento estruturante 3x3. .	21
3.8	Comparação do efeito da aplicação de uma erosão utilizando elementos estruturantes diferentes. Em (a), temos a imagem original; em (b), o resultado da erosão por um elemento 3x3 não direcional; e em (c), o resultado por um elemento na direção 0.	21
3.9	Exemplo de reta com dois valores distintos para o ângulo de inclinação: 0° para alguns pontos e 45° para outros.	23

3.10	Caracterização de pontos a partir do cálculo da curvatura de uma linha. Em (a) o ponto selecionado possui pequeno módulo para a curvatura, formando uma curva suave e classificando-se como ponto intermediário de linha; Em (b) o ponto selecionado apresenta módulo de curvatura elevado, correspondendo a um ponto onde a inclinação muda abruptamente, classificando o ponto como junção entre dois segmentos.	24
4.1	Funcionamento da função f_d^{cont} a partir da operação morfológica de erosão, com resultados para as direções 0 e 1.	28
4.2	Função para extração de contorno. (a) Imagem original; (b) Contorno na direção $d = 0$	29
4.3	Função para extração de contorno. (a) Contorno na direção $d = 1$; (b) Contorno na direção $d = 2$; (c) Contorno na direção $d = 3$; (d) Contorno na direção $d = 4$	30
4.4	Função para extração de contorno.(a) Contorno na direção $d = 5$; (b) Contorno na direção $d = 6$; (c) Contorno na direção $d = 7$ e (d) Resultado final, correspondendo à união das oito direções consideradas.	31
4.5	Resultado da aplicação da função para extração de contorno. (a) Imagem original; (b) Resultado final da função f^{cont}	32
4.6	Resultado da aplicação da função para extração de contorno. (a) Imagem original; (b) Resultado final da função f^{cont}	32
4.7	Resultados parciais da filtragem da função para extração de contorno. Em (a), a imagem original; e os resultados da filtragem para direções individuais: (b) $d = 0$; (c) $d = 1$; (d) $d = 2$	34
4.8	Resultados parciais da filtragem da função para extração de contorno. (a) $d = 3$; (b) $d = 4$; (c) $d = 5$; (d) $d = 6$	35
4.9	Filtragem da função para extração de contorno. (a) Resultado parcial para a direção $d = 7$; (b) Resultado final, correspondendo à união das oito direções consideradas.	36
4.10	Resultado final da aplicação da função para filtragem de contorno para dois trechos de mapas.	37
4.11	Função de extração inicial de componentes longos.(a) Imagem original; e os resultados com componentes longos para direções individuais: (b) $d = 0$; (c) $d = 1$; (d) $d = 2$	38
4.12	Resultados parciais para a função de extração de componentes longos em direções individuais. (a) $d = 3$; (b) $d = 4$; (c) $d = 5$; (d) $d = 6$	39
4.13	Função para extração de componentes longos. (a) Resultado parcial para a direção $d = 7$; (b) Resultado final, correspondendo à união das oito direções consideradas.	40

4.14	Componentes longos obtidas a partir da função $f^{longos_inicial}$ para dois trechos de mapas.	41
4.15	Função de extração inicial de componentes longos.(a) Imagem original; e os resultados com componentes longos para direções individuais: (b) $d = 0$; (c) $d = 1$; (d) $d = 2$	43
4.16	Resultados parciais para a função de extração de componentes longos em direções individuais. (a) $d = 3$; (b) $d = 4$; (c) $d = 5$; (d) $d = 6$	44
4.17	Função para extração de componentes longos. (a) Resultado parcial para a direção $d = 7$; (b) Resultado final, correspondendo à união das oito direções consideradas.	45
4.18	Resultados da aplicação da função f^{longos} para dois trechos de mapas.	46
4.19	Resultados intermediários para a obtenção de componentes curtos para a direção $d = 0$	47
4.20	Resultados intermediários para a obtenção de componentes curtos para a direção $d = 0$	48
4.21	Trecho de mapa telefônico e resultado obtido pela função f^{curtos}	48
4.22	Trecho de mapa telefônico e resultado obtido pela função f^{curtos}	49
5.1	Resultados intermediários para a obtenção de seções de serviço. (R0) Imagem original; (R1) Imagem de componentes longos; (R2) Eliminação de linhas finas e (R3) Linhas Espessas reconectadas.	52
5.2	Resultados intermediários para a obtenção de seções de serviço. (R4) Imagem em (R3) afinada; (R5) Eliminação de resíduos e (R6) Resultado final, correspondendo às demarcações.	53
5.3	Aplicação da função para extração de seções de serviço para dois trechos de mapas.	54
5.4	Resultados intermediários para a obtenção de caracteres. (R1) Imagem original; (R2) Imagem de componentes curtos; (R3) Seções de serviço e (R4) Imagens de componentes longos.	56
5.5	Resultados intermediários para a obtenção de caracteres. (R5) Dilatação de componentes curtas; (R6) Componentes espessas; (R7) Componentes espessas sem seções de serviço e (R8) Resultado final, correspondendo aos caracteres.	57
5.6	Resultado obtido pela aplicação da função $f^{caracteres}$ em um trecho de mapa. (a) Imagem original; (b) Imagem de caracteres.	58
5.7	Resultados intermediários para a obtenção de caixas telefônicas. (R1) Imagem original; (R2) Imagem de componentes longos; (R3) Imagem em (R2) sem caracteres e (R4) Imagem em (R3) após aplicação do espessamento homotópico.	60

5.8	Resultados intermediários para a obtenção de caixas telefônicas. (R5) Pontos identificados pela HMT; (R6) Reconstrução parcial de (R4); (R7) Identificação parcial das caixas telefônicas e (R8) Resultado final, correspondendo às caixas, reconstruídas.	61
5.9	Resultados intermediários para a obtenção de armários de distribuição. (R0) Imagem original; (R1) Imagem de componentes longos e (R2) Imagem em (R1) sem caracteres, seções de serviço e caixas telefônicas e (R3) Resultado da erosão aplicada sobre a imagem em (R2)	63
5.10	Resultados intermediários para a obtenção de armários de distribuição. (R4) Imagem erodida afinada; (R5) Resultado da eliminação de resíduos de outros componentes e (R6) Resultado final, correspondendo ao armário reconstruído.	64
5.11	Exemplo de aplicação da avaliação de coeficientes angulares para uma linha classificada como curva. Os coeficientes sofrem uma grande variação ao longo da linha.	65
5.12	Eliminação de curvas através de critérios de retilinidade e análise de coeficientes angulares. (a) Imagem original; (b) Resultado obtido após eliminação de curvas.	66
5.13	Resultados intermediários para a obtenção de lances de cabos. (R1) Imagem de componentes longos; (R2) Imagem obtida pela fase 1; (R3) Resultado da erosão e (R4) Resultado da reconstrução da imagem em (R3).	67
5.14	Resultados intermediários para a obtenção de lances de cabos. (R5) Afinamento da imagem reconstruída; (R6) Resultado da eliminação de resíduos de outros componentes e (R7) Resultado final, correspondendo aos lances de cabos reconstruídos.	68
5.15	Resultados intermediários para a obtenção de faces de lotes. (R1) Imagem original e (R2) Lances de cabos.	69
5.16	Resultados intermediários para a obtenção de faces de lotes lotes. (R3) Caixas Subterrâneas e (R4) Caracteres e (R5) Resultado final, correspondendo às faces de lotes.	70
5.17	Possíveis representações de uma caixa terminal.	72
5.18	Resultados intermediários para a obtenção de caixas prediais. (R0) Imagem original; (R1) Imagem de componentes longos; (R2) Imagem em (R1), sem outros componentes e (R3) Imagem em (R2) afinada.	74
5.19	Resultados intermediários para a obtenção de caixas prediais. (R4) Resultado obtido pela primeira filtragem; (R5) Resultado obtido pela segunda filtragem; (R6) Resultado da reconstrução da imagem em (R5), correspondendo às caixas prediais.	75

5.20	Exemplo da geometria de uma caixa terminal: c corresponde ao ponto médio do segmento imaginário formado por a e b	76
5.21	Resultados intermediários para a obtenção de caixas terminais. (R0) Imagem original; (R1) Imagem de componentes longos; (R2) Imagem em (R1), sem outros componentes e (R3) Imagem em (R2) afinada.	78
5.22	Resultados intermediários para a obtenção de caixas terminais. (R4) Resultado obtido pela primeira filtragem; (R5) Resultado obtido pela segunda filtragem; (R6) Resultado da reconstrução da imagem em (R5), correspondendo às caixas terminais.	79
A.1	Vizinhança 3x3 8 – <i>conectada</i> de um ponto com seus vizinhos.	82
A.2	Vizinhança 3x3 com exemplos de conexidades. Em (b), o ponto central possui conexidade 1. Em (c) e (d), a conexidade é 2 e 4, respectivamente.	83
A.3	Afinamento de uma imagem binária pelo método de Zhang-Suen.	84
A.4	Exemplos de distorções geradas pelo afinamento. (a) Objetos binarizados; (b) Distorções geradas nesta ordem: <i>necking</i> , <i>tailing</i> e <i>spurious projection</i> ; (c) Resultados gerados após processamento de suavização.	85
B.1	Amostra 2. (a) Imagem original e (b) Lances de cabos.	87
B.2	Amostra 2. (a) Imagem original; (b) Caracteres; (c) Lances de cabos e (d) Caixas terminais.	88
B.3	Amostra 3. (a) Imagem original; (b) Caracteres; (c) Lances de cabos e (d) Caixas terminais.	89
B.4	Amostra 4. (a) Imagem original; (b) Caracteres; (c) Armários de distribuição e (d) Caixas subterrâneas.	90
B.5	Amostra 5. (a) Imagem original; (b) Lances de cabos; (c) Limites de arruamento e (d) Caixas prediais.	91
B.6	Amostra 6. (a) Imagem original; (b) Lances de cabos; (c) Limites de arruamento e (d) Caixas prediais.	92

Capítulo 1

Introdução

“Uma imagem vale mais do que mil palavras”. O autor desta frase certamente não se referia às aplicações baseadas no processamento digital de imagens quando a criou, mas com o rápido progresso das tecnologias ligadas ao computador, hoje é indiscutível que a visão computacional tem permitido o acesso a técnicas cada vez mais precisas e eficazes na solução de problemas das mais diversas áreas de conhecimento.

1.1 Considerações Gerais

O início do interesse por técnicas de processamento digital de imagens data da década de vinte e desde então tem prestado inúmeros benefícios a diversos campos de atividade. Tais técnicas permitiram a captação e manipulação de dados visuais em auxílio ao estudo de problemas científicos até então impossibilitados. Além disso, o processamento de imagens é visto, hoje, como uma das técnicas mais promissoras em aplicações de transmissão digital, eletrônica, medicina, biologia, reconhecimento de padrões, cartografia, sensoriamento remoto, etc. [9]

Em um mundo globalizado, onde tempo é dinheiro, a automação de sistemas que envolvem o tratamento de um grande volume de informação tornou-se fundamental para o sucesso de uma organização. Neste contexto, encontramos os sistemas que envolvem o tratamento de imagens relacionadas a mapas.

Com a crescente necessidade de conversão de mapas em papel para um formato eletrônico e do desenvolvimento de métodos de processamento para aplicações específicas, muita pesquisa tem surgido na área e hoje já existem sistemas automatizados para aquisição, armazenamento e processamento de imagens representando mapas [6] [7].

1.2 Visão Geral do Problema

Os mapas foram uma das primeiras formas de comunicação visual utilizadas pelo homem, e têm sido usados desde os primórdios da humanidade. É possível que mesmo os desenhos encontrados em cavernas, aparentemente sem significado, sejam registros do território onde a civilização pré-histórica vivia.

Com o advento da sociedade moderna e das técnicas de processamento de imagens, foi criado um conceito mais técnico. Hoje, os mapas são não apenas instrumentos destinados a um propósito específico, mas também imagens, como forma de símbolo e ilustração.

A representação aérea de uma superfície através de um mapa não é uma tarefa trivial e requer procedimentos complexos. A forma geométrica dos elementos presentes na superfície deve ser definida e em um segundo momento deve ser feita sua representação. Assim, o mapa corresponde à representação gráfica de uma área geográfica onde os elementos reais foram substituídos por símbolos considerando a sua posição no espaço em uma escala reduzida.

O interesse por parte de pesquisadores na segmentação de mapas cartográficos surgiu da necessidade de se armazenar informações em bancos de dados geográficos, fornecendo um método automático de aquisição de dados, permitindo assim um melhor controle estratégico, o que levou ao surgimento da variedade de métodos de segmentação de mapas existentes hoje.

Consideremos o exemplo de um mapa cartográfico aéreo com diversos componentes, algumas vezes sobrepondo-se uns aos outros. O processo de identificação e separação de componentes nestes mapas pode ser feito manualmente. Entretanto, o processamento digital destes mapas torna a segmentação mais prática, rápida e segura, eliminando as falhas naturais do trabalho manual.

Esta pesquisa visa o desenvolvimento de um conjunto de funções para a identificação e segmentação de componentes de mapas contendo esquemáticos de redes telefônicas utilizadas pelo projeto SAGRE da Fundação CPqD - Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações. O propósito da segmentação é gerar dados para o abastecimento de bancos de dados geográficos. Para isso, deve ser levada em consideração a existência de uma variedade de representações de objetos nos mapas, como ruas, avenidas, cabos telefônicos, entre outros, dentro de uma determinada área urbana.

1.3 Proposta

Consideramos, neste trabalho, o problema de segmentação de imagens de cartas impressas utilizadas pela Fundação CPqD representando redes telefônicas. O processo de segmentação consiste em separar em imagens específicas os componentes existentes na imagem de entrada, representando ruas, avenidas, fios, caixas telefônicas, etc.

De um modo geral, a informação cartográfica existente neste tipo de mapa apresenta

dois tipos principais de componentes [10]: os lineares, como ruas e avenidas, que possuem comprimento arbitrário, e os simbólicos, como os caracteres.

A utilização de conceitos de Morfologia Matemática [18] [11], mais precisamente no seu aspecto direcional, permite que as características da geometria dos componentes, como as citadas acima, sejam consideradas e extraídas de acordo com planos direcionais particulares, facilitando o processo de reconhecimento de componentes. Por exemplo, caracteres e números presentes na carta apresentam forma e comprimento totalmente diferentes de caixas telefônicas e fios.

Os mapas são convertidos para o formato eletrônico através de um processo de *scanning* e passam por uma fase de pré-processamento, onde são convertidos em imagens em preto e branco, através de um processo de binarização.

O proposta do trabalho é, portanto, definir dois grupos de funções morfológicas com a capacidade de extrair os componentes existentes nas cartas, a partir do conhecimento da geometria de cada um. As funções genéricas são responsáveis por preparar a imagem para a segmentação de componentes específicas, diminuindo a densidade de componentes existentes na imagem. As funções específicas, por outro lado, são destinadas a cada tipo de componente presente em um mapa telefônico.

A estrutura do sistema de processamento e segmentação de mapas telefônicos pode ser visualizada na figura 1.1.

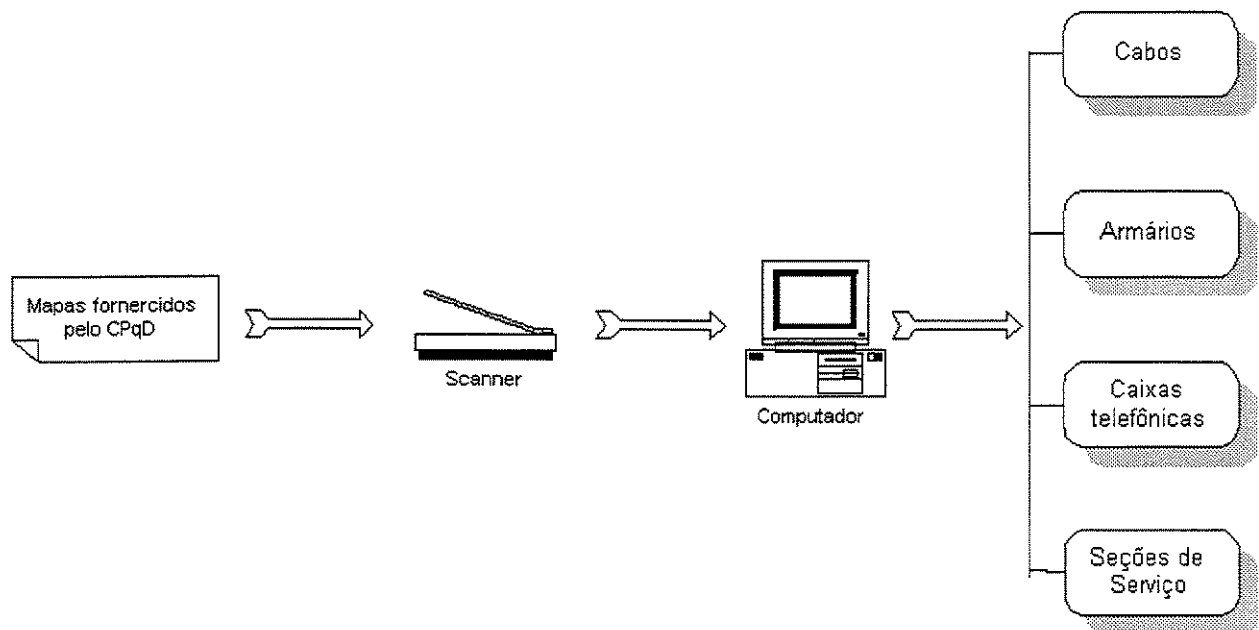


Figura 1.1: Seqüência de passos para o processamento de mapas telefônicos. Cada mapa entrante gera imagens individuais contendo cada um dos seus componentes.

1.4 Organização do Trabalho

O trabalho está organizado da seguinte forma: neste primeiro capítulo foram apresentados conceitos básicos relativos ao processamento de imagens representando mapas e a motivação para realização da pesquisa; no capítulo 2 é descrito o conteúdo de uma planta cadastral e apresentado o método de aquisição utilizado; no capítulo 3, são introduzidos conceitos teóricos relativos a Morfologia Matemática, métodos de afinamento e medidas de propriedades geométricas de imagens, relevantes ao desenvolvimento do trabalho. As funções de segmentação são definidas em dois capítulos: no capítulo 4 são apresentadas as *funções genéricas* e no capítulo 5, as *funções específicas*; e, finalmente, as conclusões e propostas para trabalhos futuros são apresentadas no capítulo 6.

Capítulo 2

Segmentação Morfológica de Mapas Telefônicos

A implantação de sistemas de operação por parte das empresas de telecomunicações requer a construção de bases de dados de grande porte. Tais bases de dados, contendo imagens, são muito complexas, exigindo uma elaboração custosa e demorada. O processo de formação dessas bases de dados é de suma importância, pois os dados nelas registrados devem representar o mais fielmente possível a realidade. Neste contexto, as técnicas de segmentação de imagens apresentam-se como ferramentas eficientes na geração de resultados altamente satisfatórios.

2.1 Conceito de Segmentação

No processo de análise de elementos de uma imagem, é essencial que possamos distinguir os objetos de interesse, o *foreground* (a forma), do *background*, ou fundo da imagem. As técnicas utilizadas para identificar os objetos de interesse são conhecidas como técnicas de segmentação, separando a forma do fundo. É importante ressaltar que a segmentação de imagens é um processo complexo e envolve um processo longo de análise do conteúdo da imagem. Não existe nenhuma técnica que funcione para todas as imagens, além disso, nenhuma das técnicas existentes pode ser considerada perfeita [1].

De um modo geral, as principais abordagens para a segmentação de imagens envolvem técnicas de limiarização, métodos baseados em contorno e técnicas baseadas em regiões.

A segmentação por limiarização, por exemplo, considera unicamente o valor de brilho de um pixel para verificar se ele pertence ou não a um objeto. Para tanto, é preciso estabelecer o intervalo de valores de brilho que caracterizam a região de interesse. Quando o objeto (forma) a ser segmentado estiver separado do fundo, o histograma da imagem apresenta uma distribuição bimodal com duas regiões de máximo distintas, o que facilita a definição

de um limiar e, conseqüentemente, a separação entre a forma e o fundo da imagem.

Entretanto, não é sempre que o processo de segmentação por limiarização é tão simples. Em muitos casos, não há uma distinção perfeita entre forma e fundo, onde o histograma da imagem não é bimodal, podendo apresentar um único pico ou mais de dois. Nestes casos, pode-se recorrer à divisão do histograma em blocos e aplicar a limiarização a cada um dos blocos separadamente [1].

Os métodos baseados em contorno identificam os objetos a partir de sua borda [15] [12]. Os resultados são normalmente satisfatórios. Entretanto, em imagens “embaçadas”, é comum haver falhas na união de linhas desconexas que formam o contorno dos objetos na imagem.

Os métodos baseados em regiões seguem, geralmente, o seguinte procedimento [14]: a imagem é particionada em regiões conexas agrupando-se pixels de níveis de intensidade próximos. As regiões adjacentes são unidas de acordo com critérios que analisam a homogeneidade dos limites das regiões. O problema desses métodos é que a utilização de critérios muito específicos pode gerar uma imagem muito fragmentada. Por outro lado, um critério “leve” pode unir regiões que não tenham um grau de identidade alto.

2.2 Processo de Aquisição dos Mapas

A etapa inicial neste projeto de processamento de imagens consiste em digitalizar as imagens impressas, através do processo conhecido como *scanning*.

O processo de aquisição de imagens a partir de papel impresso deve ser conduzido de forma a gerar imagens com qualidade suficiente para possibilitar um desempenho adequado das funções de segmentação.

Uma imagem pode ser definida como um conjunto de pontos denominados *pixels*. A escolha da resolução de captura da imagem deve ser baseada na necessidade de qualidade do sistema que irá processá-la. Quanto maior a resolução escolhida, maior será o número de pixels usados na representação da imagem e, conseqüentemente, maior a qualidade. Entretanto, a memória de armazenamento também será maior. Deve ser escolhido um ponto de equilíbrio, que satisfaça a qualidade necessária e a memória disponível.

Com base neste princípio, a captura das imagens dos mapas, fornecidos pelo CPqD como cartas impressas desenhadas em uma escala 1:1000, foi feita a partir de um scanner em uma resolução de 360 dpi. O resultado obtido foram imagens em níveis de cinza. A etapa que se seguiu foi a binarização das imagens através de um processo simples de limiarização [1].

A limiarização consiste em estabelecer um parâmetro, dentro do intervalo de níveis de cinza (0 a 255), de tal forma que todos os pixels que apresentem valor de brilho inferior a este parâmetro recebem valor de brilho 0 (preto), e todos que apresentem valor de brilho superior a ele, recebem o valor 255 (branco).

A figura 2.1 apresenta um trecho de mapa telefônico em níveis de cinza e o resultado de sua binarização. O histograma bimodal correspondente pode ser visto na figura 2.2.

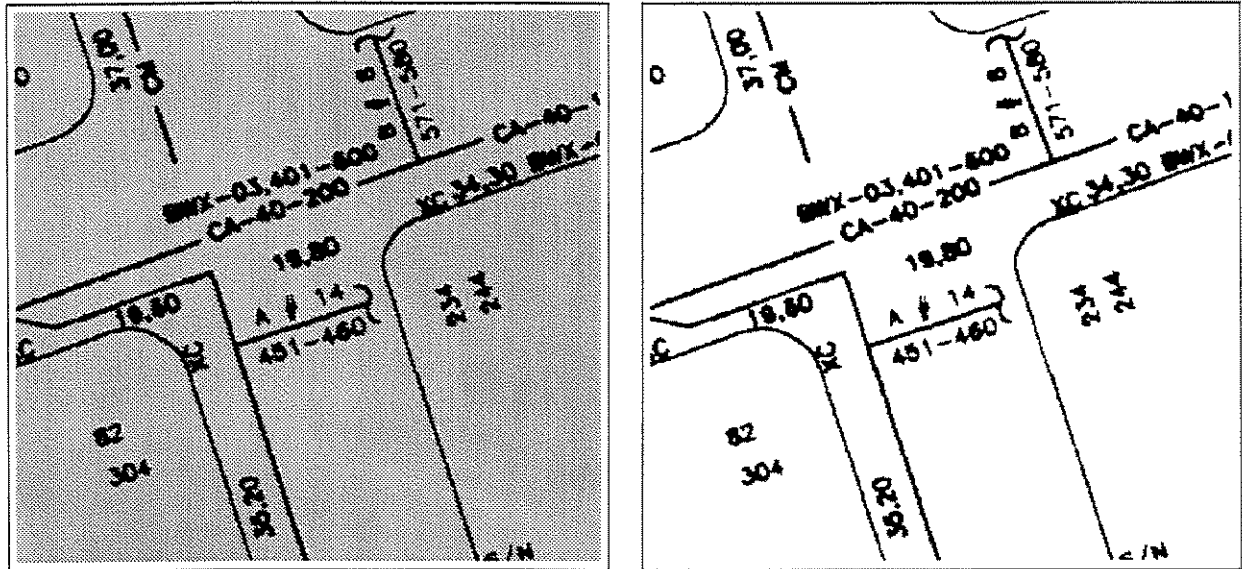


Figura 2.1: Trecho de mapa telefônico e o resultado de sua binarização.

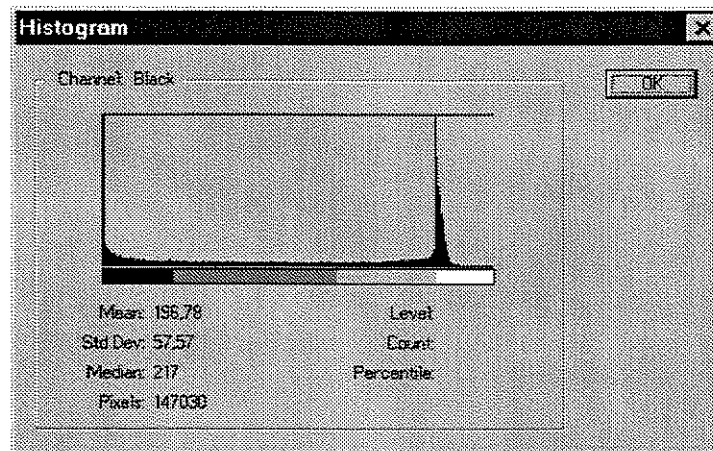


Figura 2.2: Exemplo de histograma de um mapa com dois picos, de fácil limiarização.

A aplicação da limiarização gera uma imagem binária (em preto e branco) contendo o conjunto dos componentes de interesse da imagem original. A manipulação de imagens binárias é prática devido a fatores como menor espaço de armazenamento e menor tempo computacional na execução das operações.

Em termos de armazenamento, existem vários formatos disponíveis para arquivos de imagens. Para este trabalho, foi escolhido o PBM, formato para armazenamento de imagens

binárias, que permite a leitura da imagem como uma matriz de 0's e 1's, em formato ASCII.

2.3 Elementos de uma Planta Cadastral

As bases de dados utilizadas no projeto SAGRE (Sistema Automatizado de Gerência de Rede Externa) são compostas de elementos que se caracterizam por informações alfanuméricas, gráficas e de conectividade. Os mapas utilizados aqui são provenientes de uma experiência prática realizada pela TELEBRÁS na cidade de Valinhos-SP [21].

A *figura 2.3* apresenta dois trechos de uma planta cadastral de uma rede aérea, apresentando as informações descritas nesta seção.

Face de Lote e Limites de Arruamento

Constitui as linhas demarcatórias de faces de lotes ou limites de meio-fio no caso de arruamento. É representada pela linha de quadra correspondente à face, rua, praça, etc. Uma característica importante desse componente é a presença de quinas arredondadas, o que, normalmente, não acontece nos lances de cabos.

Seção de Serviço

Este elemento é indicativo de limites de uma seção de serviço. As seções de serviço correspondem a demarcações, linhas longas e espessas que dividem determinada área urbana em regiões. A sua representação gráfica é constituída por uma linha poligonal, mais espessa que a de outras componentes, com a presença de cruces (+) ao longo de seu comprimento.

Lance de Cabo

Constitui um elemento formado por um conjunto de condutores físicos com a finalidade de levar facilidades e serviços à rede. É considerado um lance de cabo um conjunto de segmentos de reta interligados interceptados por um texto explicativo.

Caixa Interna Predial

Constitui um elemento indicativo de ligação de prédio à rede. Seu símbolo indicativo é representado por um "X" digitalizado na extremidade de um lance de cabo.

Caixa Terminal

Constitui um equipamento destinado à conexão da rede externa com o assinante através de fio telefônico externo. Sua representação gráfica é constituída de uma linha reta opcional e o símbolo representativo de tipo de caixa na extremidade, geralmente um ~ (til).

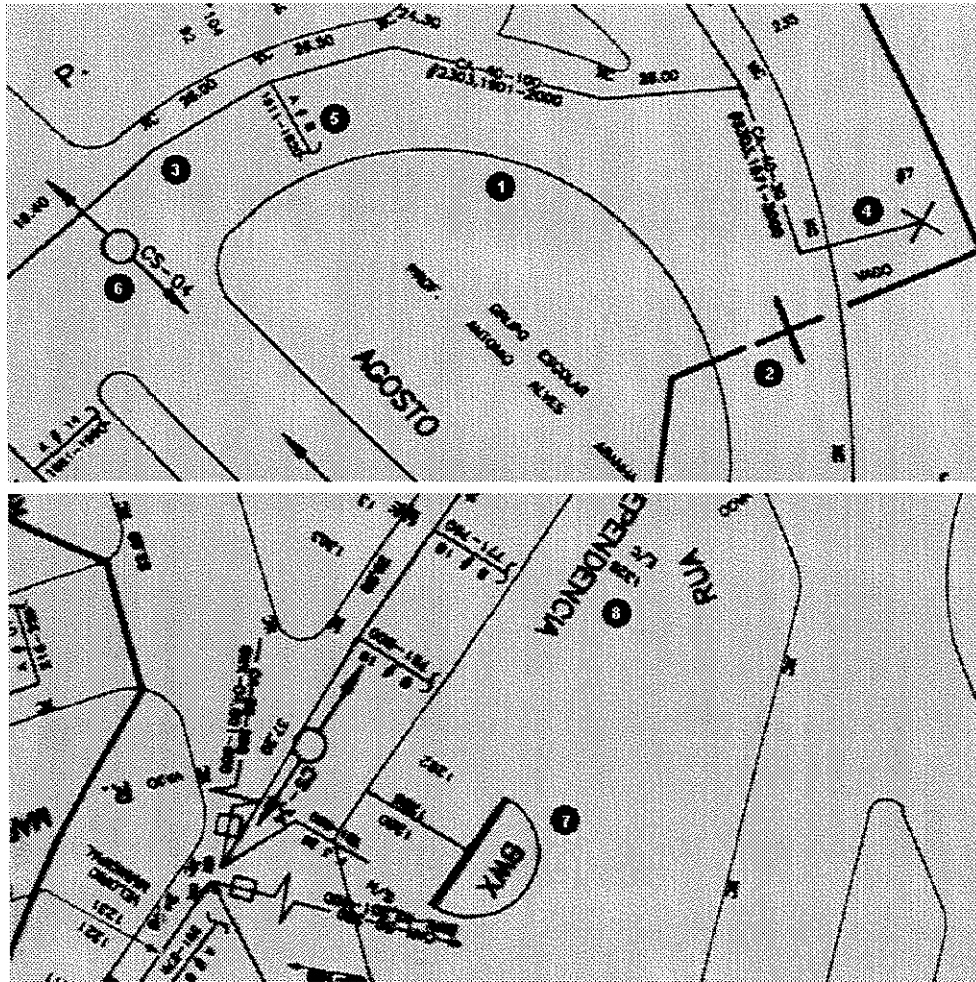


Figura 2.3: Trechos de uma planta cadastral, com representações para os componentes definidos nesta seção. (1) Face de lote; (2) Seção de Serviço; (3) Lance de cabo; (4) Caixa Interna Predial; (5) Caixa Terminal; (6) Caixa Subterrânea; (7) Armário de distribuição e (8) Caracteres.

Caixa Subterrânea

Constitui um elemento presente no sub-solo da rede, sendo representado por um círculo conjuntamente com um ou dois segmentos de reta opostos.

Armário de Distribuição

Constitui um elemento destinado a dar flexibilidade de pares à rede. Seu símbolo de representação é constituído por um arco com extremidades unidas por uma reta e, partindo do centro da reta, um segmento de reta perpendicular a ela, além de um texto explicativo em seu interior.

Caracteres

Os caracteres constituem-se em rótulos para os componentes encontrados nos mapas, identificando ruas, praças, postes, cabos, etc.

2.4 Métodos de Segmentação Cartográfica

A criação de uma base de dados cartográfica envolve a aquisição de dados a partir de mapas em papel. A implementação de métodos para a automação do abastecimento dessas bases de dados é complicada e muitas técnicas têm sido explorados nas últimas décadas para a obtenção de um método eficaz.

Os métodos de segmentação cartográfica mais comumente usados armazenam os dados da imagem em alguma estrutura de dados, como grafos, tabelas de segmentos e listas encadeadas. Através da análise do conteúdo destas estruturas de dados, é possível identificar determinados componentes.

Nas próximas seções, são apresentados alguns aspectos relacionados às diferentes abordagens utilizadas por estes métodos.

2.4.1 Segmentação por Grafos

A abordagem utilizada por este método considera que a escolha da representação da imagem tem papel fundamental na identificação de seus componentes.

Este método foi utilizado em [8] para a segmentação de mapas cadastrais italianos, uma forma de dividir um território em polígonos, cada um representando um trecho de terra, um prédio ou uma rua, de acordo com a *figura 2.4*. De um modo geral, os mapas cadastrais são desenhados em uma escala que pode variar de 1:500 a 1:5000.

Os algoritmos utilizados por este método são baseados em uma forma de representação de imagens denominada *representação por grafos*. A grande vantagem na utilização desta forma

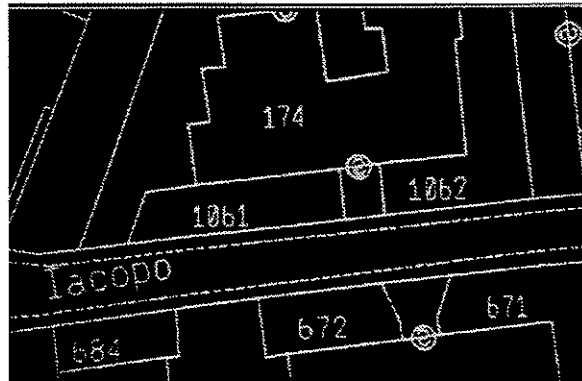


Figura 2.4: Trecho de mapa cadastral italiano

de representação é que ela decompõe a estrutura do mapa em vértices e arestas, formalizando a noção intuitiva de linhas e cruzamento de linhas.

A partir do grafo, cada elemento é classificado como pertencentes a uma das categorias: linhas contínuas, linhas pontilhadas, símbolos e caracteres e padrões sombreados. Finalmente, o método estabelece relações espaciais e semânticas entre entidades geométricas, e reconhece entidades de alto nível como parcelas, lagoas e estradas. Cada componente do mapa é segmentado com base nesta classificação.

As razões para a utilização da representação por grafos são enumeradas a seguir:

1. Permite a extração de componentes da imagem através da identificação de padrões correspondentes nos grafos.
2. Facilita a identificação de elementos que sofreram rotação, tarefa difícil em imagens raster.

Apesar das vantagens dessa forma de representação, no caso de imagens complexas, com uma grande concentração de componentes, o grafo gerado é muito complexo, tornando difícil a sua interpretação.

2.4.2 Sistema MARIS

O sistema MARIS ("Map Recognition Input System") é um sistema para a extração de componentes presentes em mapas topográficos do Japão, desenhados em uma escala reduzida, como mostrado na *figura 2.5*. O sistema realiza a vetorização da imagem digital e binária do mapa, e aplica, em seqüência, algoritmos de traçamento de bordas e rastreamento de linhas contínuas. Finalmente, são reconhecidos os componentes, tais como estradas, prédios e isolinhas, através da análise de características topológicas [20].



Figura 2.5: Exemplo de um mapa topográfico de escala reduzida do Japão.

2.4.3 Segmentação Cartográfica por Morfologia Matemática

Provou-se que qualquer transformação entre reticulados completos pode ser expressa em termos de operadores elementares da Morfologia Matemática [2]. Assim, a utilização destes operadores permite a criação de procedimentos automáticos ou semi-automáticos para a extração de informação de imagens cartográficas.

A segmentação de componentes em mapas cartográficos por Morfologia Matemática baseia-se nas características geométricas e topológicas dos elementos dos mapas.

Neste trabalho, utilizamos uma combinação das operações convencionais de erosão e dilatação, explorando seu aspecto direcional, para a definição de um conjunto de funções de segmentação de imagens cartográficas correspondendo a esquemáticos de redes telefônicas. No próximo capítulo, são definidos os conceitos teóricos relativos à Morfologia Matemática, utilizados na definição das funções de segmentação apresentadas nos capítulos subseqüentes.

Capítulo 3

Conceitos Teóricos

Uma imagem digital é geralmente associada a métodos de processamento que interpretem o seu conteúdo. Assim, no desenvolvimento de um sistema de processamento de imagens, deve ser feito um levantamento de funções, filtros e métodos que facilitem a análise e o reconhecimento da estrutura da imagem.

Nos mapas de redes telefônicas, os componentes podem ser categorizados de acordo com suas características geométricas, topológicas e disposição nas cartas.

O objetivo deste capítulo é apresentar conceitos relativos ao tratamento de imagens utilizados na caracterização de componentes, pré-processamento e definição das funções de segmentação do sistema.

3.1 Morfologia Matemática

3.1.1 Introdução

Morfologia Matemática [3] [18] [16] é uma teoria destinada à análise de estruturas espaciais introduzida por George Matheron e Jean Serra na École de Mines de Paris. O termo Morfologia vem do fato de que a teoria tem como objetivo a análise de formas de objetos. E o termo Matemática vem do fato de que a análise é baseada na teoria de conjuntos, topologia e funções matemáticas.

A teoria de Morfologia Matemática fornece meios para o processamento digital de imagens baseada na forma dos objetos. Quando utilizadas adequadamente, as operações de Morfologia Matemática tendem a simplificar os dados da imagem preservando suas características importantes e eliminando irrelevâncias [19].

A idéia central da teoria de Morfologia Matemática é testar uma imagem com um elemento estruturante, qualificando e quantificando a maneira com que este elemento se ajusta à imagem. É importante notar, portanto, que este estudo dependerá da geometria deste

elemento estruturante. Uma má escolha pode levar a resultados indesejáveis e à perda de informação relevante à imagem em estudo. As operações de conjunto em Morfologia Matemática classificam-se em dois grupos: transformações clássicas e transformações em tudo ou nada (Hit or Miss Transformation).

As operações morfológicas binárias apresentadas aqui podem ser naturalmente estendidas a imagens em níveis de cinza. Conceituamos apenas a morfologia binária porque, neste trabalho, lidamos apenas com imagens binárias [3] [11].

3.1.2 Transformações Clássicas

Considere dois conjuntos X e Y representando uma imagem binária Σ , tal que $X = \{f(x) \in 0, 1 : x \in Z^2\}$ e $Y = \{f(y) \in 0, 1 : x \in Z^2\}$. Podemos definir as seguintes operações sobre os conjuntos X e Y :

- união: $X \cup Y$
- interseção: $X \cap Y$
- complemento: $(\bar{X})_Z = \bar{X} \cap Z$
- diferença: $X \setminus Y = X \cap \bar{Y}$
- diferença simétrica: $(X - Y) = (X \cup Y) \setminus (X \cap Y) = (X \cup Y) \cap \overline{(X \cap Y)}$

3.1.3 Transformações HMT

Este tipo de transformação resulta em um novo subconjunto que caracteriza a estrutura de um objeto X .

O princípio é a escolha de um elemento estruturante B , de geometria conhecida. Este elemento é deslocado sobre X de tal forma que sua origem (ponto característico) passe por todas as posições do espaço que constituem o objeto. Para cada posição é colocada uma questão relativa à união, interseção ou inclusão de B com/em X . Cada uma destas operações define um tipo de transformação.

As transformações HMT possuem algumas propriedades algébricas e topológicas importantes, citadas abaixo:

- crescente: dados dois conjuntos X e Y : Se $X \subset Y \Rightarrow \phi(X) \subset \phi(Y)$, então a transformação é crescente.
- extensiva: dados X e $\phi(X)$, se $X \subset \phi(X)$ então a transformação é extensiva.
- anti-extensiva: dados X e $\phi(X)$, se $\phi(X) \subset X$ então a transformação é anti-extensiva.

- idempotente: se $\phi(\phi(X)) = \phi(X)$, então a transformação é idempotente.
- homotopia: uma transformação é homotópica se ela não modifica o número de componentes conexos de um conjunto.
- conexidade: uma transformação preserva a conexidade se dado X conexo, $\phi(X)$ também é conexo.

As duas operações morfológicas de base são a erosão e a dilatação, derivadas da adição e subtração de Minkowski [18], respectivamente. A partir dessas operações, introduzidas na próxima seção, pode-se definir qualquer operação morfológica mais complexa [11].

3.1.4 Dilatação e erosão binárias

Seja $f(x)$ uma imagem binária, isto é, $\{f(x) \in 0, 1 : x \in Z^2\}$. Esta imagem pode ser representada pelo conjunto $X = \{x \in Z^2 : f(x) = 1\}$ sendo o complemento \bar{X} , dado por $\bar{X} = \{x \in Z^2 : f(x) = 0\}$. O conjunto simétrico \check{X} de X é igual a $\check{X} = \{-x : x \in X\}$ e a translação X_u igual a $X_u = \{z : z = x + u, x \in X\}$.

Seja o elemento estruturante B um subconjunto finito. Podemos definir a dilatação do conjunto X por B [18] como

$$X \oplus B = \{u : X \cap B_u \neq \emptyset\} = \bigcup_{b \in B} X_b; \quad (3.1)$$

e a erosão por

$$X \ominus B = \{u : B_u \subseteq X\} = \bigcap_{b \in \check{B}} X_b. \quad (3.2)$$

As figuras 3.1 e 3.2 apresentam um exemplo de dilatação e erosão, respectivamente, a partir do deslocamento de um elemento estruturante B sobre a imagem.

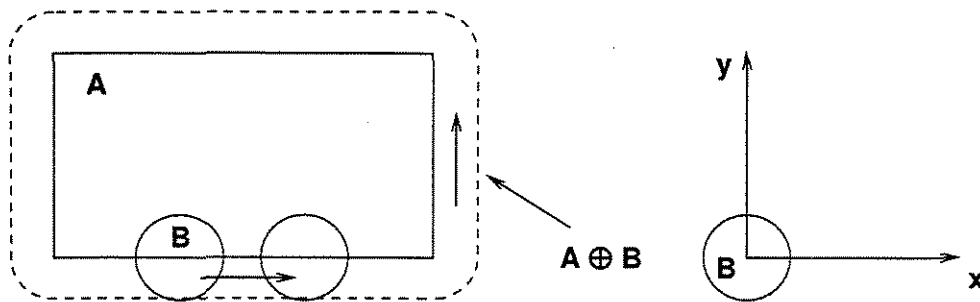


Figura 3.1: Dilatação binária do objeto A pelo elemento estruturante B.

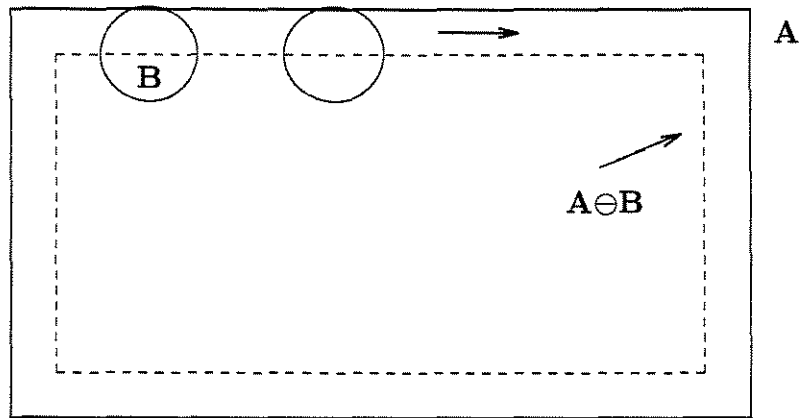


Figura 3.2: Erosão binária de A pelo mesmo elemento estruturante B originando o objeto pontilhado.

Propriedades

Dados X e Y duas imagens binárias e B o elemento estruturante, a erosão e a dilatação possuem as seguintes propriedades:

- A dilatação e a erosão são operações duais em relação ao complemento, isto é,

$$X \ominus B = \overline{(X \oplus B)}. \quad (3.3)$$

- A erosão e a dilatação são operações crescentes, ou seja, se $X \subset Y$, então

$$(X \ominus B) \subset (Y \ominus B) \text{ e } (X \oplus B) \subset (Y \oplus B). \quad (3.4)$$

- A erosão é uma transformação anti-extensiva e a dilatação extensiva, isto é,

$$(X \ominus B) \subset X \text{ e } X \subset (X \oplus B). \quad (3.5)$$

3.1.5 Abertura e Fechamento Binários

A partir das operações básicas de dilatação e erosão podemos derivar outras operações morfológicas interessantes como abertura e fechamento, com características citadas a seguir.

A abertura de uma imagem A por um elemento estruturante B , denotada por $A \circ B$, é definida por:

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B.$$

O fechamento, operação morfológica dual à abertura, de uma imagem A por um elemento estruturante B , $A \bullet B$, é definida por:

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B.$$

Uma operação de abertura de uma imagem utilizando um círculo como elemento estruturante suaviza contornos e elimina pequenas ilhas, istmos e cabos estreitos de uma imagem. O fechamento de uma imagem com o mesmo elemento estruturante suprime pequenos lagos, fecha canais e golfos estreitos, de acordo com a *figura 3.3* [11] [18].

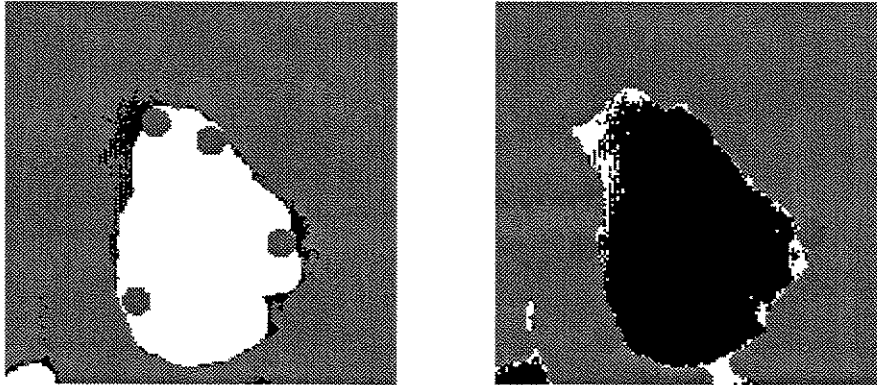


Figura 3.3: Resultado da abertura e fechamento de uma imagem binária por um pequeno círculo euclidiano.

3.1.6 Operações Geodésicas

Dado um conjunto X , a distância geodésica, $d_X(p, q)$, entre dois pixels p e q é o comprimento do menor caminho unindo p a q e incluído em X . Caso este caminho não exista, a distância é considerada infinita, de acordo com a *figura 3.4*.

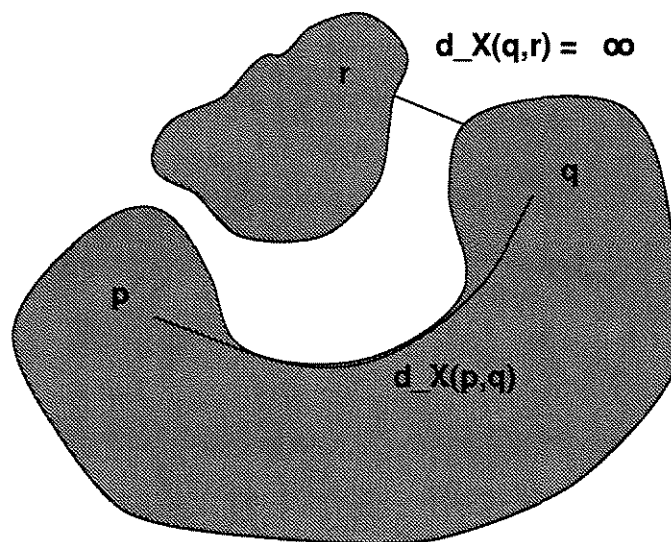


Figura 3.4: Distância Geodésica.

Todas as operações morfológicas (dilatação, erosão, etc.) podem ser definidas usando a métrica (X, d_X) .

Dilatação e Erosão Geodésica Binárias

Se $Y \subset X$, pontos x pertencentes a X tal que $B_X(x, \lambda)$ intercepta Y constitui o conjunto λ – *dilatado* de Y em X , representado simbolicamente por:

$$D_X^\lambda(Y) = \{x \in X : B_X(x, \lambda) \cap Y \neq \emptyset\} \quad (3.6)$$

em que $B_X(x, \lambda) = \{y \in X : d_X(x, y) \leq \lambda\}$.

A dilatação geodésica digital de tamanho n pode ser obtida a partir de n iterações da dilatação geodésica de tamanho 1,

$$D_X^n(Y) = \underbrace{D_X^1(D_X^1(\dots D_X^1(Y)))}_{n \text{ vezes}}, \quad (3.7)$$

em que a dilatação geodésica elementar, $D_X^1(Y)$, pode ser representada por

$$D_X^1(Y) = (Y \oplus B) \cap X. \quad (3.8)$$

Da mesma forma, podemos definir a erosão geodésica de Y em X por

$$E_X^\lambda(Y) = \{x \in X : B_X(x, \lambda) \subseteq Y\}. \quad (3.9)$$

3.1.7 Reconstrução Binária

Sejam duas imagens binárias, X e Y , definidas em um mesmo domínio discreto e tais que $Y \subseteq X$. Y é denominado imagem marcadora e X , máscara. Sejam X_1, \dots, X_n componentes conexos de X . A reconstrução da máscara X pelo marcador Y , $\rho_X(Y)$, é a união dos componentes de X contendo, no mínimo, um pixel em Y [11].

$$\rho_X(Y) = \bigcup_{Y \cap X_k \neq \emptyset} X_k, \text{ para } 0 < k \leq n. \quad (3.10)$$

A reconstrução binária pode ser obtida pela iteração da dilatação geodésica elementar de Y no interior de X , até a idempotência.

$$\rho_X(Y) = \bigcup_{n \geq 1} D_X^{(n)}(Y). \quad (3.11)$$

Um exemplo prático de reconstrução binária, utilizada para eliminar elementos de dimensão inferior a um determinado parâmetro é apresentado na *figura 3.5*.

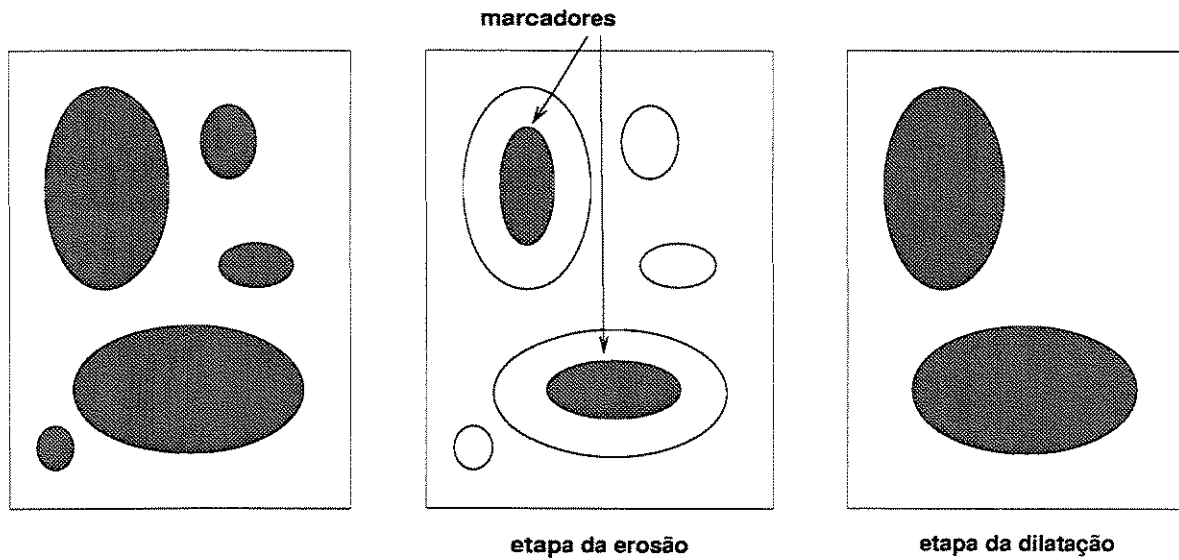


Figura 3.5: Exemplo de reconstrução binária em dois passos: a erosão, identificando os marcadores e a dilatação, reconstruindo os componentes.

3.1.8 Espessamento Homotópico

O espessamento é uma operação morfológica utilizada para “ampliar” regiões específicas em imagens binárias, assim como a dilatação, criando um pseudo envoltório convexo [18]. Assim como nas outras operações morfológicas, o comportamento do espessamento é determinado por um elemento estruturante. A operação de espessamento está associado à transformação em tudo ou nada (Hit-Miss Transformation) e pode ser definida a partir dela, de acordo com a equação 3.12, onde I é a imagem e J o elemento ou conjunto de elementos estruturantes:

$$I \odot J = I \cup \text{HitMiss}(I, J) \quad (3.12)$$

O espessamento consiste, portanto, na imagem original com a adição de alguns pontos a partir da Transformação em Tudo ou Nada sem alterar a homotopia da imagem. Em termos práticos, o espessamento é calculado movendo-se a origem do elemento estruturante para cada possível posição na imagem. Nesta posição, compara-se os pontos da imagem com os pontos do elemento estruturante. Se houver um casamento perfeito entre os pontos de forma e fundo da imagem e do elemento estruturante, o ponto da imagem sob a origem do elemento estruturante passa a ser ponto de forma; caso contrário, ele permanece inalterado.

A escolha do elemento estruturante determina em quais casos um ponto de fundo na imagem deve tornar-se um ponto de forma, e é dependente da aplicação em questão. No processo de segmentação de mapas, o espessamento homotópico de um conjunto X é dado pela aplicação da seguinte seqüência de transformações, até a idempotência:

$$(X \odot E)_{\infty} = (\dots(((X \odot E^0) \odot E^1)\dots \odot E^j) \quad (3.13)$$

Onde E^j , com $j = 0, 1, 2, \dots, 7$, corresponde à família homotópica de elementos estruturantes apresentada abaixo:

$$E^0 = \begin{bmatrix} 1 & * & * \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & * & * \end{bmatrix} \quad E^1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & * \\ 1 & * & 0 \end{bmatrix} \quad E^2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ * & 0 & * \\ * & 0 & * \end{bmatrix} \quad E^3 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ * & 0 & 1 \\ 0 & * & 1 \end{bmatrix}$$

$$E^4 = \begin{bmatrix} * & * & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ * & * & 1 \end{bmatrix} \quad E^5 = \begin{bmatrix} 0 & * & 1 \\ * & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad E^6 = \begin{bmatrix} * & 0 & * \\ * & 0 & * \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad E^7 = \begin{bmatrix} 1 & * & 0 \\ 1 & 0 & * \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Um exemplo de aplicação do espessamento homotópico pode ser visualizado na *figura 3.6*.

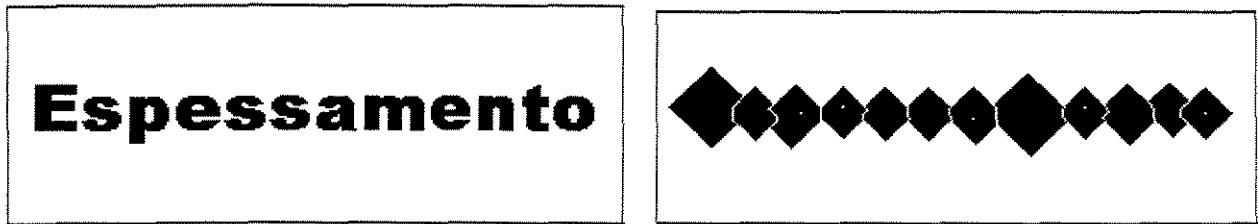


Figura 3.6: Resultado da aplicação de um espessamento homotópico.

Como será visto na definição de componentes de segmentação específicas, a partir da operação de espessamento, é possível crescer regiões da imagem obtendo pontos de interesse, facilitando o processo de segmentação de um tipo de componente presente em mapas telefônicos: as caixas subterrâneas.

3.2 Morfologia Matemática Direcional

Em muitas informações de imagens, características orientadas estão presentes em nível de alguns pixels. Nestes casos, o objetivo dos operadores morfológicos direcionais é considerar a orientação local para resolver problemas relativos ao processamento da imagem, tais como: designar filtros apropriados, restaurar contornos com falhas, ou segmentar texturas orientadas que possuam a mesma orientação morfológica [13].

As operações morfológicas direcionais são uma expansão das operações morfológicas convencionais, em que cada pixel da imagem é visto como uma composição de elementos direcionais. Este tipo de representação é dependente da vizinhança utilizada.

A noção de direção, utilizada neste trabalho, nada mais é do que a utilização de segmentos contidos em um elemento estruturante 3x3 individualmente, responsáveis por privilegiar informação contida na imagem em cada uma das direções correspondentes, de acordo com a *figura 3.7* [5] [10].

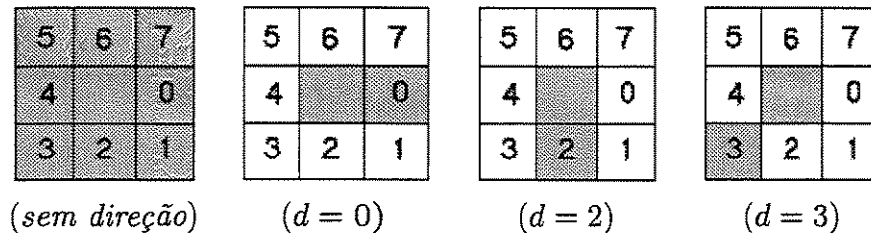


Figura 3.7: Direções individuais consideradas a partir de um elemento estruturante 3x3.

A aplicação de operadores direcionais enfatiza a informação encontrada em uma dada direção da imagem, diferentemente dos operadores convencionais, onde o efeito de um operador ocorre de forma uniforme na imagem. A *figura 3.8* apresenta os diferentes resultados de uma operação de erosão aplicada a uma imagem com a utilização de um elemento estruturante direcional e outro não-direcional. No caso direcional, a informação contida na direção utilizada é privilegiada.

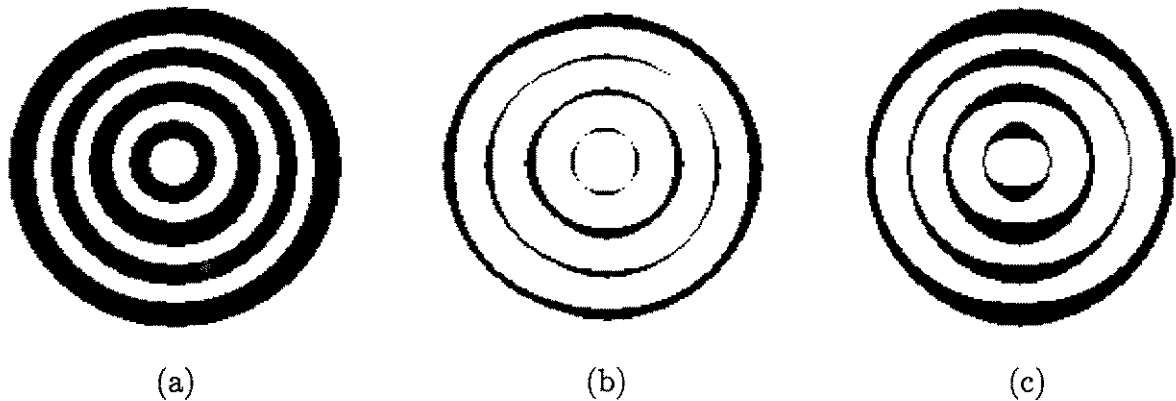


Figura 3.8: Comparação do efeito da aplicação de uma erosão utilizando elementos estruturantes diferentes. Em (a), temos a imagem original; em (b), o resultado da erosão por um elemento 3x3 não direcional; e em (c), o resultado por um elemento na direção 0.

Quando uma aplicação exige uma maior precisão da direção de propagação, é suficiente aumentar o número de elementos direcionais, através do aumento do número de vizinhos considerados, obtendo-se maior precisão na direção especificada.

As operações direcionais foram definidas, portanto, como forma de explorar a informação direcional presente na imagem, atuando como operações locais em vizinhos não isotrópicos, para cada uma das direções especificadas pelos elementos direcionais.

3.3 Afnamento

Os métodos de afnamento são utilizados com frequência no pré-processamento de imagens para a extração de características. O afnamento pode ser utilizado como meio de obtenção do esqueleto de uma imagem e constitui na eliminação progressiva de pontos que não afetam a estrutura dos objetos presentes na imagem.

Uma imagem afinada tem como característica importante a possibilidade de diferenciação de cada ponto a partir de seus vizinhos, o que justifica a utilização do afnamento como método de pré-processamento. Nos mapas telefônicos, por exemplo, a identificação do ponto de junção entre componentes em uma imagem afinada pode ser feita a partir a avaliação do número de vizinhos ou conexidade deste ponto.

A aplicação do afnamento para a obtenção do esqueleto de uma imagem deve ser considerado apenas nos casos onde o resultado obtido seja útil, ao tornar mais fácil a caracterização das propriedades dos objetos. Normalmente, isso ocorre com imagens constituídas por linhas e os segmentos de reta contidos no esqueleto, obtidos após o afnamento, representam os objetos da imagem original [4] [17].

Os mapas telefônicos são constituídos basicamente por muitos componentes representados por linhas e outros representados por formas menores. Em um estágio intermediário de processamento, com a extração dessas formas menores, a aplicação do afnamento é adequada, viabilizando a detecção dos componentes representados por linhas.

Como um método de pré-processamento, o afnamento deve gerar uma imagem que tenha características que viabilizem a segmentação dos componentes de interesse. O resultado gerado deve evitar a redundância e permitir, por exemplo, a fácil identificação do ponto de interseção entre linhas.

Há diversos métodos de afnamento que exploram diferentes características da imagem, variando em tempo de processamento, qualidade do afnamento e quantidade de distorções geradas com os segmentos.

O afnamento morfológico, por exemplo, é uma operação homotópica definida a partir da transformação HMT elementar da Morfologia Matemática (*Seção 3.1.3*). Esta operação consiste na supressão de pontos de uma imagem I , de acordo com um elemento estruturante J , indicando configurações homotópicas na vizinhança de um ponto. Simbolicamente:

$$I \circ J = I \setminus HitMiss(I, J) \quad (3.14)$$

Para a aplicação em mapas telefônicos, entretanto, o método iterativo de Zhang-Suen [22] gerou o resultado mais satisfatório. Uma descrição detalhada deste método pode ser encontrada no *apêndice A*.

3.4 Medidas de Propriedades Geométricas em Imagens

No processo de segmentação de imagens, torna-se às vezes necessário a medida de determinadas características geométricas e sua relação dentro de subconjuntos de uma imagem. Discutiremos aqui aspectos relacionados a curvatura, ângulo de inclinação de uma linha e retilidade [1].

3.4.1 Inclinação e Curvatura

A inclinação entre dois pontos quaisquer de uma linha é definida como um valor múltiplo de 45 graus, variando com a direção da linha, podendo assumir um total de oito valores, dentro de um círculo de 360 graus. Por exemplo, na *figura 3.9*, há uma reta com dois valores para a inclinação entre seus pontos.

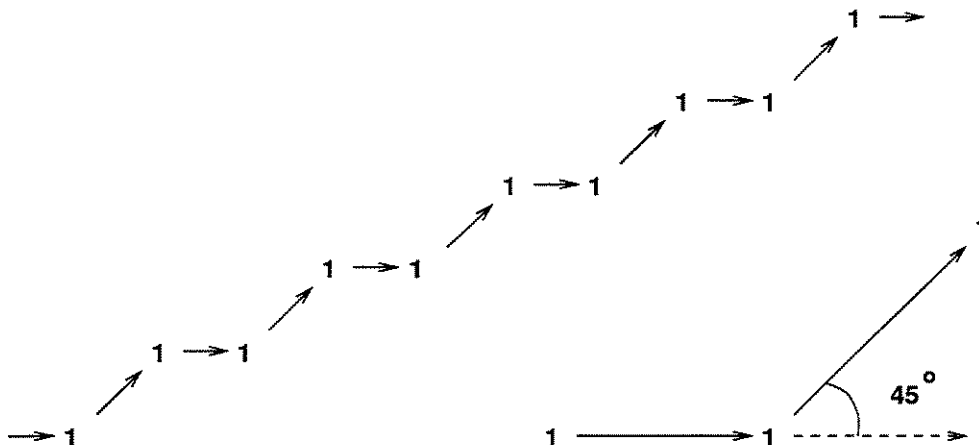


Figura 3.9: Exemplo de reta com dois valores distintos para o ângulo de inclinação: 0° para alguns pontos e 45° para outros.

A curvatura é medida a partir da taxa de mudança da inclinação. Para obtermos valores mais contínuos, podemos definir a curvatura da linha em determinado ponto como sendo a diferença das inclinações entre os k pontos posteriores e anteriores a este ponto. Quanto maior o valor de k utilizado, mais preciso é o módulo obtido para a curvatura. O módulo desta curvatura classifica-o como ponto intermediário qualquer de uma linha ou como ponto de junção entre dois segmentos, de acordo com a *figura 3.10*:

3.4.2 Retilidade

Um segmento de reta em uma imagem pode ser caracterizado a partir de algumas condições que não se verificam para uma curva. Tais condições são baseadas na inclinação entre dois pontos.

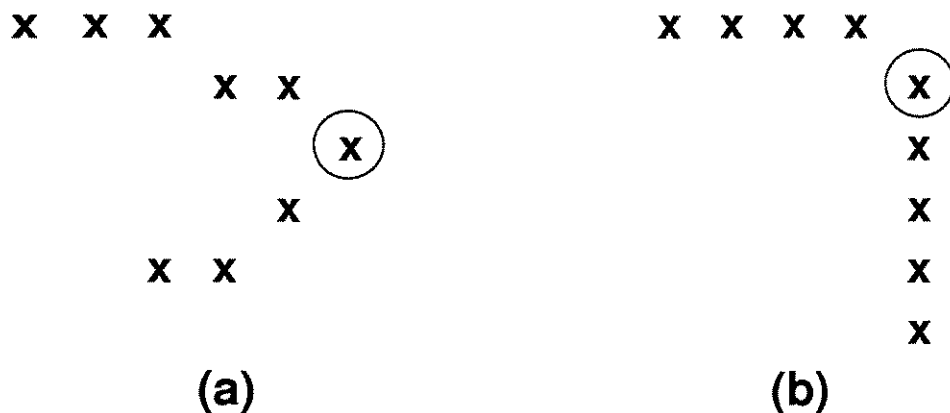


Figura 3.10: Caracterização de pontos a partir do cálculo da curvatura de uma linha. Em (a) o ponto selecionado possui pequeno módulo para a curvatura, formando uma curva suave e classificando-se como ponto intermediário de linha; Em (b) o ponto selecionado apresenta módulo de curvatura elevado, correspondendo a um ponto onde a inclinação muda abruptamente, classificando o ponto como junção entre dois segmentos.

O histograma de inclinação de uma linha nos diz o número de vezes que cada uma das oito possíveis inclinações ocorre na mesma. Este histograma não nos diz a disposição dessas inclinações dentro da linha, entretanto, a partir dele é possível estabelecer duas condições para a retilidade de uma linha, enumeradas a seguir:

1. No máximo duas inclinações distintas podem ocorrer majoritariamente em uma reta; neste caso, elas devem diferir entre si em 45 graus.
2. Pelo menos uma dessas inclinações deve ocorrer em trechos de comprimento unitário. Caso contrário, haveria uma mudança brusca na direção, descaracterizando a reta.

Estas condições não são suficientes para classificar uma linha como reta. Entretanto, se aplicadas em conjunto com um segundo critério, tornam-se eficazes na correta classificação de linhas como curvas ou retas.

Para a linha da *figura 3.9*, por exemplo, as duas condições são satisfeitas. Há apenas duas inclinações (0 e 45), diferindo em 45 graus, e além disso, ocorrem em trechos de comprimento um.

Como será visto na definição das funções específicas de segmentação, este critério, juntamente com a avaliação dos coeficientes angulares de um conjunto de retas, é utilizado para a segmentação de dois tipos de componentes encontrados em mapas telefônicos que apresentam características semelhantes, distinguindo-se basicamente pela retilidade: lances de cabos e limites de arruamento.

Capítulo 4

Funções Morfológicas de Segmentação

Neste capítulo, são apresentadas as funções de segmentação responsáveis pela separação de componentes encontrados em plantas cadastrais, representando uma rede telefônica aérea. Os mapas utilizados neste trabalho foram fornecidos pelo projeto SAGRE da Fundação CPqD e correspondem a uma experiência realizada no município de Valinhos-SP [21].

A utilização de técnicas de Morfologia Matemática, explorando seu aspecto direcional, juntamente com medidas de propriedades geométricas de segmentos, possibilitou a análise das características estruturais e topológicas dos componentes presentes nos mapas, gerando um conjunto de funções robustas para segmentação de imagens de mapas telefônicos.

As funções apresentadas aqui foram desenvolvidas e agrupadas em duas categorias. As *funções genéricas* são responsáveis pela etapa inicial de processamento, onde a concentração de elementos nos mapas é grande. A aplicação dessas funções reduz o número de elementos e prepara a imagem para a aplicação das *funções específicas*, responsáveis pelo reconhecimento de cada componente do mapa, de acordo com a descrição feita na *Seção 2.3*.

4.1 Introdução

A aquisição das imagens constitui a fase inicial de um sistema de visão computacional. Neste trabalho, consideramos a aquisição de mapas representando elementos de telefonia presentes em uma determinada área urbana, desenhados em uma escala 1:1000. É fundamental que após a digitalização, as imagens consigam manter as características inerentes aos objetos reais. Além disso, a escolha de parâmetros de aquisição adequados simplifica a etapa de pré-processamento.

Considerando estes princípios, a aquisição foi feita a partir de um scanner a uma resolução de $360dpi$. As imagens obtidas, em níveis de cinza, passaram por uma etapa de pré-processamento, onde foram binarizadas através de um método simples de limiarização.

A utilização de imagens binárias é prática, devido à sua maior facilidade de manipu-

lação, redução no tempo de processamento das operações morfológicas e menor espaço de armazenamento requerido.

4.2 Nomenclatura das Funções

As funções de segmentação desenvolvidas neste trabalho foram, em sua maioria, derivadas das operações morfológicas introduzidas anteriormente no *Capítulo 3*, portanto, envolvem noções de direções, elemento estruturante, etc.

Com o objetivo de facilitar o significado de cada função, foi desenvolvido um padrão para a nomenclatura, descrito a seguir.

Seja B um elemento estruturante correspondente a uma vizinhança 3×3 e d uma das oito direções nesta vizinhança. Podemos definir a família B_d como o conjunto de elementos estruturantes responsáveis pela transmissão de informação em cada direção:

$$B_0 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \text{ e suas rotações de } 45^\circ$$

Onde B_d , com $d = 0, 1, 2, \dots, 7$, corresponde às rotações de B no sentido horário. O elemento estruturante B , sem índice, corresponde à união das oito direções, formando o elemento estruturante elementar 3×3 :

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Considere a família B_d definida acima, e seja n o número de iterações. As operações morfológicas utilizadas neste trabalho podem ser definidas da seguinte forma:

Erosão e Dilatação Básicas

As operações direcionais podem ser classificadas em dois tipos. No primeiro caso, a direção de aplicação é única, e portanto, a seleção direcional é mais restrita. Neste caso, $E_d^n(X)$ e $D_d^n(X)$, representam, respectivamente, a aplicação de n iterações de erosão e dilatação da imagem X pelo elemento estruturante B_d . Quando a direção não é mencionada, assume-se que o elemento estruturante utilizado é B . Por exemplo, $D^2 E^2(X) = D(D(E(E(X))))$.

O segundo tipo, utiliza mais de uma direção. Neste caso, as operações de erosão e dilatação são representadas por:

$$E_{>d}(X) = E_{d-1}(X) \cup E_d(X) \cup E_{d+1}(X) \text{ e } D_{>d}(X) = D_{d-1}(X) \cup D_d(X) \cup D_{d+1}(X).$$

A utilização do símbolo $*$, juntamente com a direção d de aplicação, denota uma operação cujos vizinhos formam as duas direções ortogonais a d . Assim,

$$E_{*d}(X) = E_{d-2}(X) \cap E_{d+2}(X) \quad e \quad D_{*d}(X) = D_{d-2}(X) \cup D_{d+2}(X).$$

Erosão e Dilatação Geodésicas

No caso de operações geodésicas, o símbolo $:$ representa a introdução de máscaras, também chamadas de espaço de restrição. Conseqüentemente, as operações geodésicas direcionais são dadas por:

$$E_{d:Y}^n(X) \quad e \quad D_{d:Y}^n(X)$$

onde Y corresponde ao espaço de restrição das operações.

Abertura e Fechamento

As operações de abertura e fechamento são combinações de operações de dilatação e erosão, e são definidas por:

$$Abert_d^n(X) = D_d^n E_d^n(X) \quad e \quad Fech_d^n = E_d^n D_d^n(X).$$

A utilização de espaços de restrição define as operações de forma análoga:

$$Abert_{>d:g}^n(X) = D_{>d:g}^n E_{>d}^n(X) \quad e \quad Fech_{>d:g}^n = E_{>d}^n D_{>d:g}^n(X).$$

A utilização conjunta dos símbolos $*$ e $:$ em uma abertura representa uma operação geodésica onde a operação de dilatação está restrita à própria imagem inicial, do seguinte modo:

$$Abert_{:*}(X) = D_{:*}E(X) = D_{:X}E(X)$$

Funções Definidas

De um modo geral, as funções definidas para a segmentação de componentes seguem a seguinte convenção:

$$f_d^{Nome}$$

Onde:

$Nome$ representa o nome da função

d representa a direção de atuação ou outro parâmetro de acordo com a função.

A transformação resultante desta operação é dada pela união dos conjuntos definidos considerando-se as oito direções utilizadas, da seguinte forma:

$$f^{Nome} = \bigcup_{d=0}^7 f_d^{Nome} \quad (4.1)$$

4.3 Função para Detecção de Contorno (f^{cont})

A grande vantagem na utilização de funções morfológicas direcionais é que elas tornam possível a distinção entre características lineares e pontuais [5] [10]. Neste trabalho, a correta extração de linhas é de suma importância.

A função para detectar os contornos de uma imagem, f^{cont} , é a primeira a ser aplicada devido a sua importância para a futura extração de componentes lineares, detectando o contorno dos objetos presentes na imagem. A extração do contorno facilita a futura identificação de uma seqüência de pixels conectados, caracterizando uma linha.

A função é definida a partir da operação morfológica de erosão e é representada pela equação 4.2. A aplicação de diferentes elementos estruturantes direcionais leva ao predomínio de informação em cada uma das oito direções existentes dentro de uma máscara 3x3, de acordo com a figura 4.1:

$$f_d^{cont} = \begin{cases} \overline{E_{d+4}f} & \text{se } d = 0, 2, 4, 6; \\ f_{d-1}^{cont} \cup f_{d+1}^{cont} & \text{se } d = 1, 3, 5, 7; \end{cases} \quad (4.2)$$

Onde d representa a direção de aplicação e f a imagem original, representando o mapa telefônico.

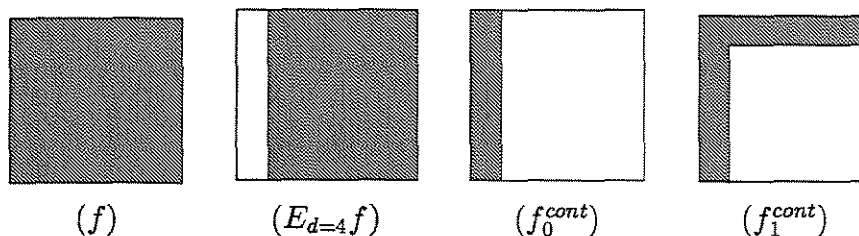


Figura 4.1: Funcionamento da função f_d^{cont} a partir da operação morfológica de erosão, com resultados para as direções 0 e 1.

A função para detecção de contorno, sem índice de direção, corresponde à união dos resultados da aplicação da função em todas as direções consideradas em sua definição, de acordo com a equação 4.3:

$$f_{cont} = \bigcup_{d=0}^7 f_d^{cont} \quad (4.3)$$

Resultados intermediários da aplicação da função f_{cont} , considerando cada direção individualmente para um trecho de mapa, podem ser visualizados nas figuras 4.2, 4.3 e 4.4

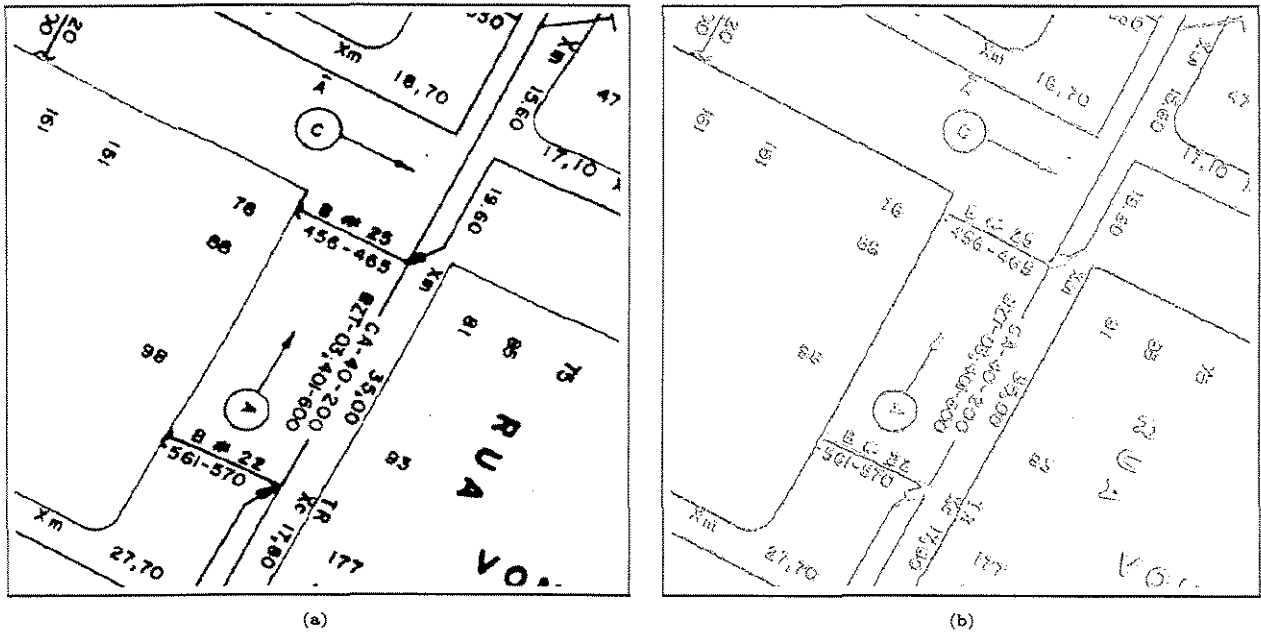


Figura 4.2: Função para extração de contorno. (a) Imagem original; (b) Contorno na direção $d = 0$.

As figuras 4.5 e 4.6 apresentam outros resultados da aplicação da função para detecção de contorno.

4.4 Função para Filtragem do Contorno (f_{aresta})

A aplicação da função para detecção de contorno gera como resultado uma imagem onde a noção de direção não está muito bem definida. A justificativa é que pontos gerados pela aplicação da função nas direções diagonais ($d = 1, 3, 5, 7$) também estão presentes nos resultados gerados pelas direções horizontais e verticais ($d = 0, 2, 4, 6$), como foi constatado na figura 4.1.

A aplicação de uma filtragem para diminuir a influência desses pontos elimina os pontos indesejáveis, além de eventuais resíduos. A função considera direções ortogonais à direção de

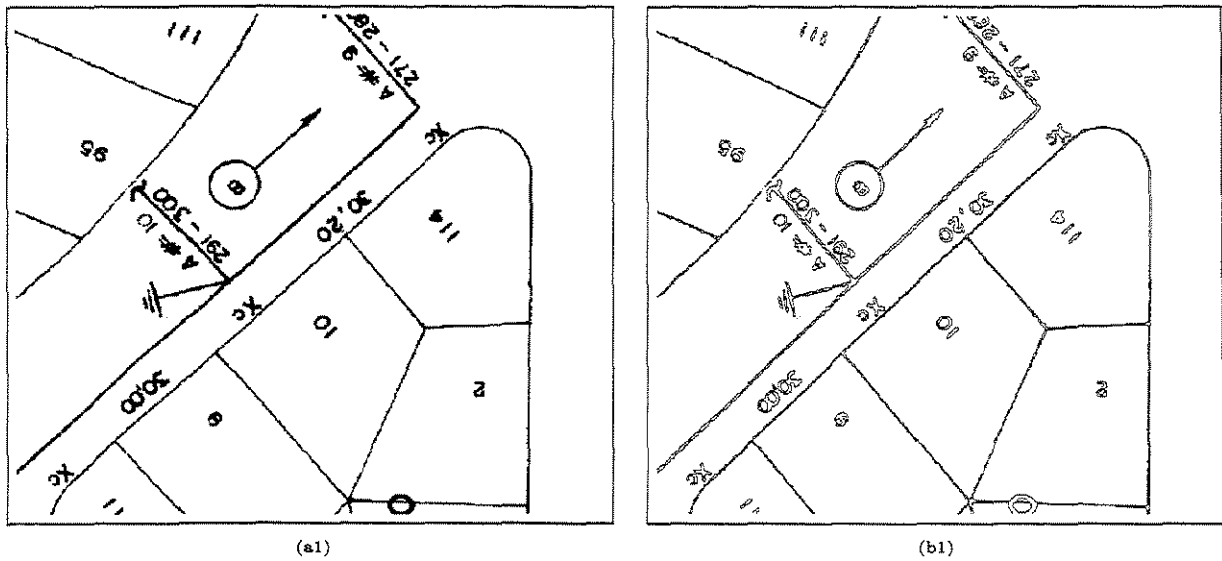


Figura 4.5: Resultado da aplicação da função para extração de contorno. (a) Imagem original; (b) Resultado final da função f_{cont} .

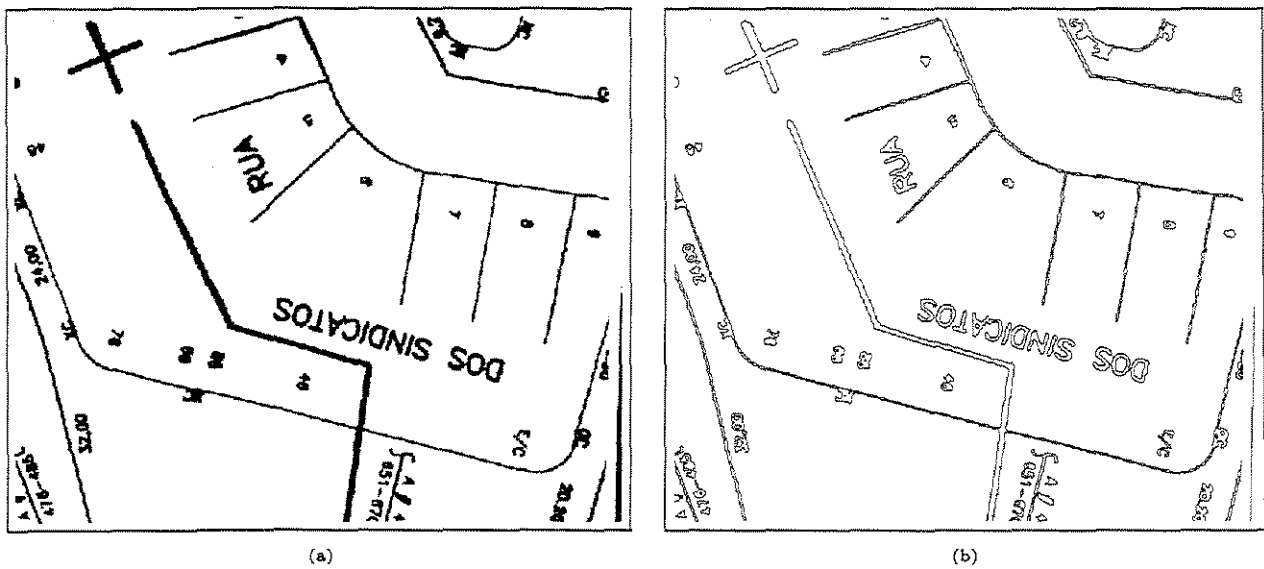


Figura 4.6: Resultado da aplicação da função para extração de contorno. (a) Imagem original; (b) Resultado final da função f_{cont} .

aplicação, eliminando os pontos redundantes em cada uma das direções através da aplicação de sucessivas erosões.

A função para filtragem da função de detecção de contorno, f^{aresta} , é representada pela equação 4.4:

$$f_d^{aresta} = \begin{cases} E_{d-2}f_d^{cont} \cup E_{d+2}f_d^{cont} & \text{se } d = 0, 2, 4, 6; \\ (E_{d-2}f_{d-1}^{cont} \cup E_{d+2}f_{d-1}^{cont}) \cup (E_{d-2}f_{d+1}^{cont} \cup E_{d+2}f_{d+1}^{cont}) & \text{se } d = 1, 3, 5, 7; \end{cases} \quad (4.4)$$

O resultado final obtido pela função de filtragem, sem índice de direção, assim como para a função de detecção de contorno, corresponde à união dos resultados desta função aplicada a cada uma das oito direções consideradas.

Resultados intermediários da aplicação da função f^{aresta} podem ser visualizados nas figuras 4.7, 4.8 e 4.9

Outros exemplos de resultados finais obtidos pela função f^{aresta} podem ser visualizados na figura 4.10.

4.5 Função para Extração Inicial de Componentes Longos ($f^{longos_inicial}$)

A função para detectar componentes longos, $f^{longos_inicial}$, é calculada a partir das imagens obtidas anteriormente pela função f^{aresta} , conectando-se os pontos da forma. Estas imagens possuem componentes longos, correspondendo aos cabos, seus elementos, limites de arruamento e caracteres representando nomes de ruas.

A função considera uma abertura de direção múltipla a partir de cada uma das oito direções, consideradas individualmente. A fase de erosão elimina totalmente os pontos pertencentes a componentes curtos e parcialmente os pontos pertencentes a componentes longos. Naturalmente, pontos que fazem parte dos caracteres correspondendo a nomes de ruas permanecem após a fase de erosão, devido à sua dimensão.

Na fase de dilatação, os segmentos desconectados pela aplicação da erosão são parcialmente conectados. A aplicação futura de uma reconstrução geodésica restaura integralmente os componentes longos.

A função é representada pela equação 4.5:

$$f_d^{longos_inicial} = Abert_{>*\ast}^{10}(f_d^{aresta}) \quad (4.5)$$

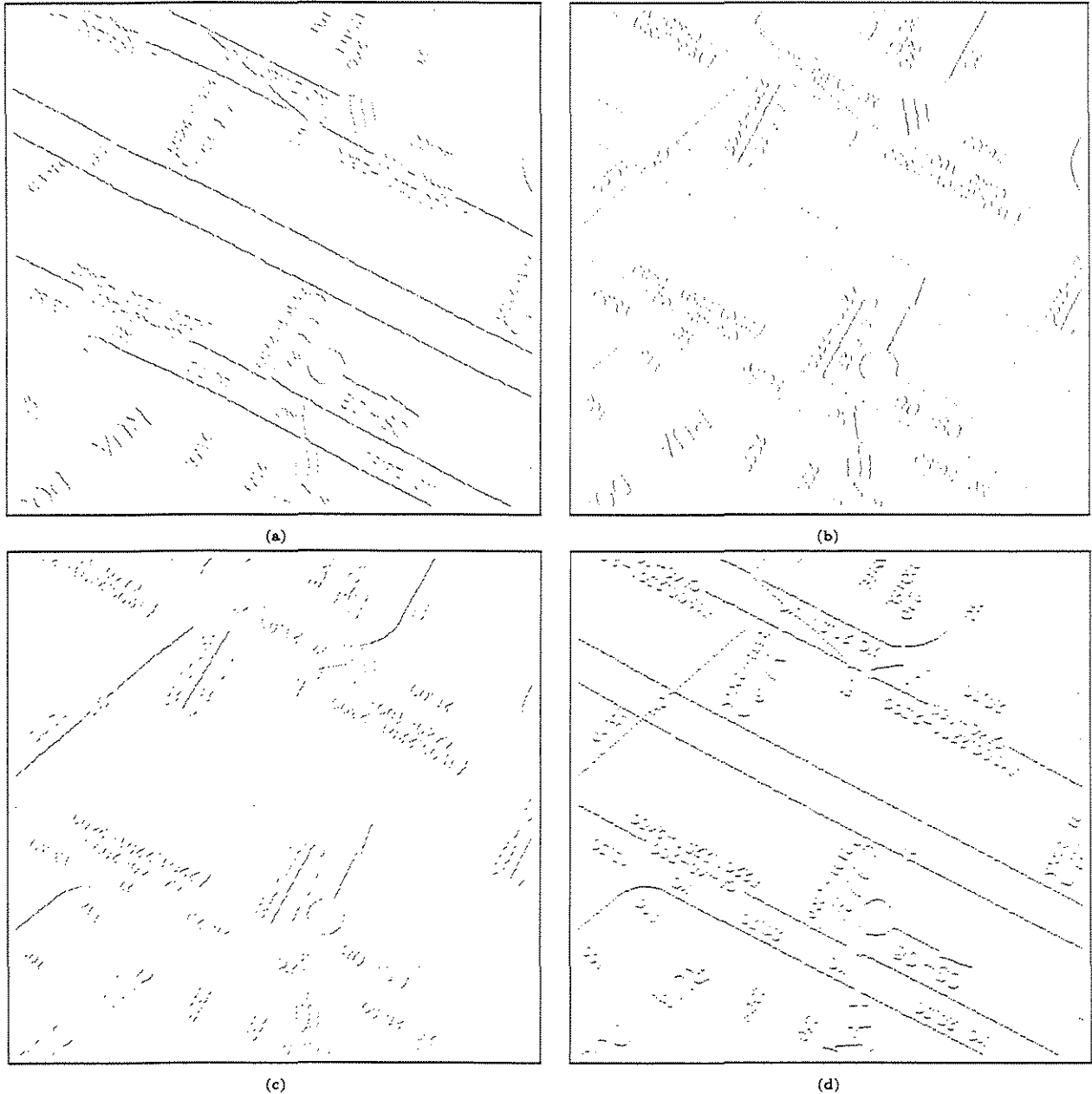


Figura 4.8: Resultados parciais da filtragem da função para extração de contorno. (a) $d = 3$; (b) $d = 4$; (c) $d = 5$; (d) $d = 6$.

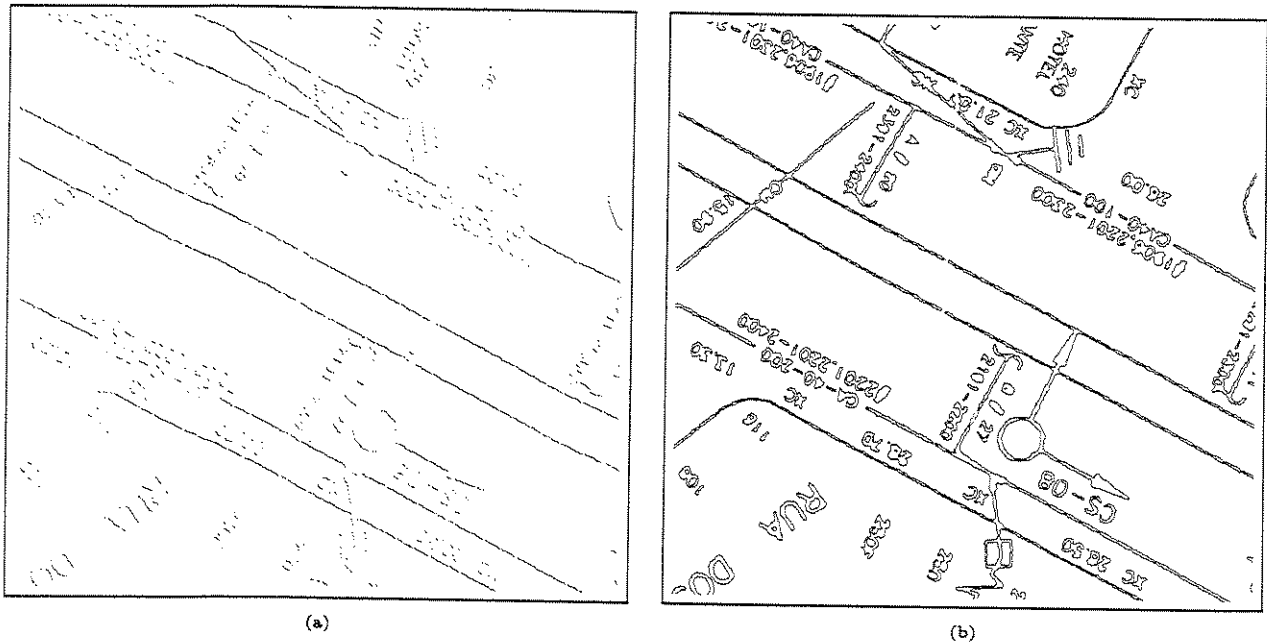


Figura 4.9: Filtragem da função para extração de contorno. (a) Resultado parcial para a direção $d = 7$; (b) Resultado final, correspondendo à união das oito direções consideradas.

O resultado final contendo componentes longos, sem índice de direção, corresponde à união dos resultados desta função aplicada a cada uma das oito direções consideradas.

Resultados parciais da aplicação da função $f_{longos_inicial}$ podem ser visualizados nas figuras 4.11, 4.12 e 4.13.

A aplicação, em seqüência, das funções f_{cont} , f_{aresta} e $f_{longos_inicial}$ avalia a retilinidade para a extração de características lineares dos mapas. Inicialmente, a detecção do contorno privilegia as bordas dos objetos, enfatizando linhas. Esta informação é filtrada e posteriormente refinada através da abertura, preservando os pontos ao longo do contorno que fazem parte de segmentos longos. Este procedimento, onde características não específicas são preservadas pela abertura, permite uma extração estável dos componentes lineares, fundamental na segmentação de mapas telefônicos.

Outros resultados obtidos pela aplicação da seqüência das funções anteriores podem ser visualizados na figura 4.14.

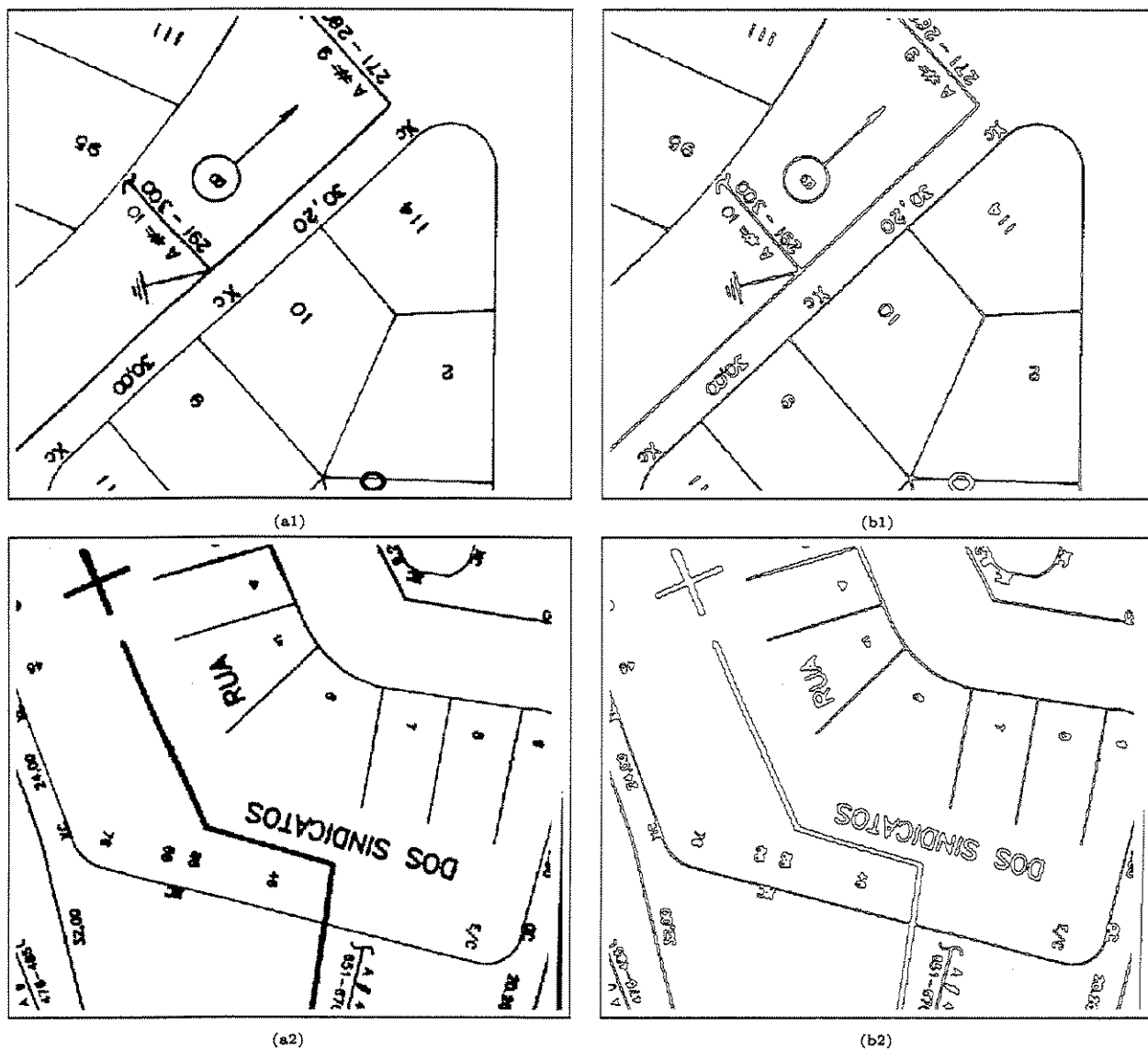


Figura 4.10: Resultado final da aplicação da função para filtragem de contorno para dois trechos de mapas.

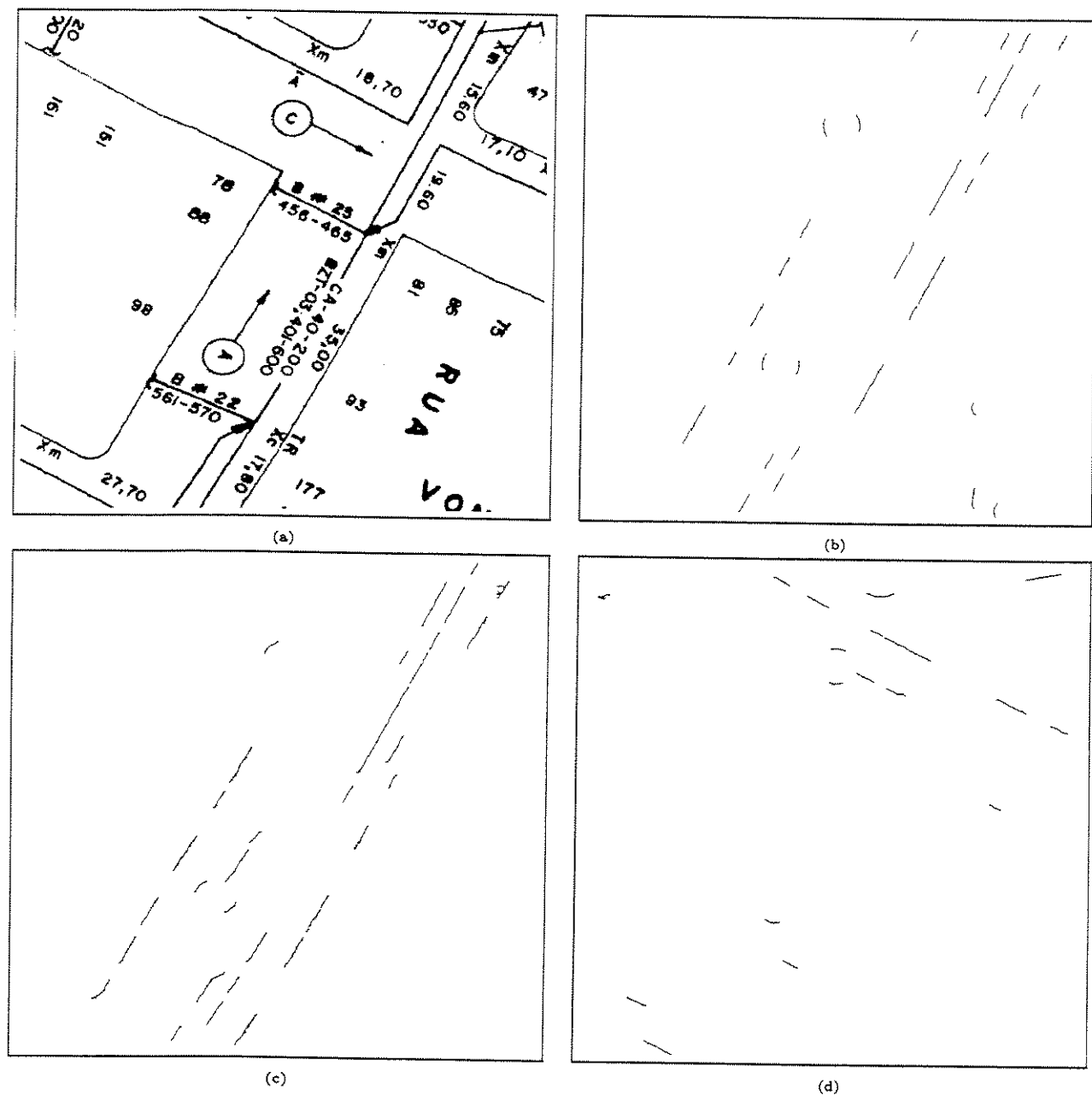


Figura 4.11: Função de extração inicial de componentes longos. (a) Imagem original; e os resultados com componentes longos para direções individuais: (b) $d = 0$; (c) $d = 1$; (d) $d = 2$.

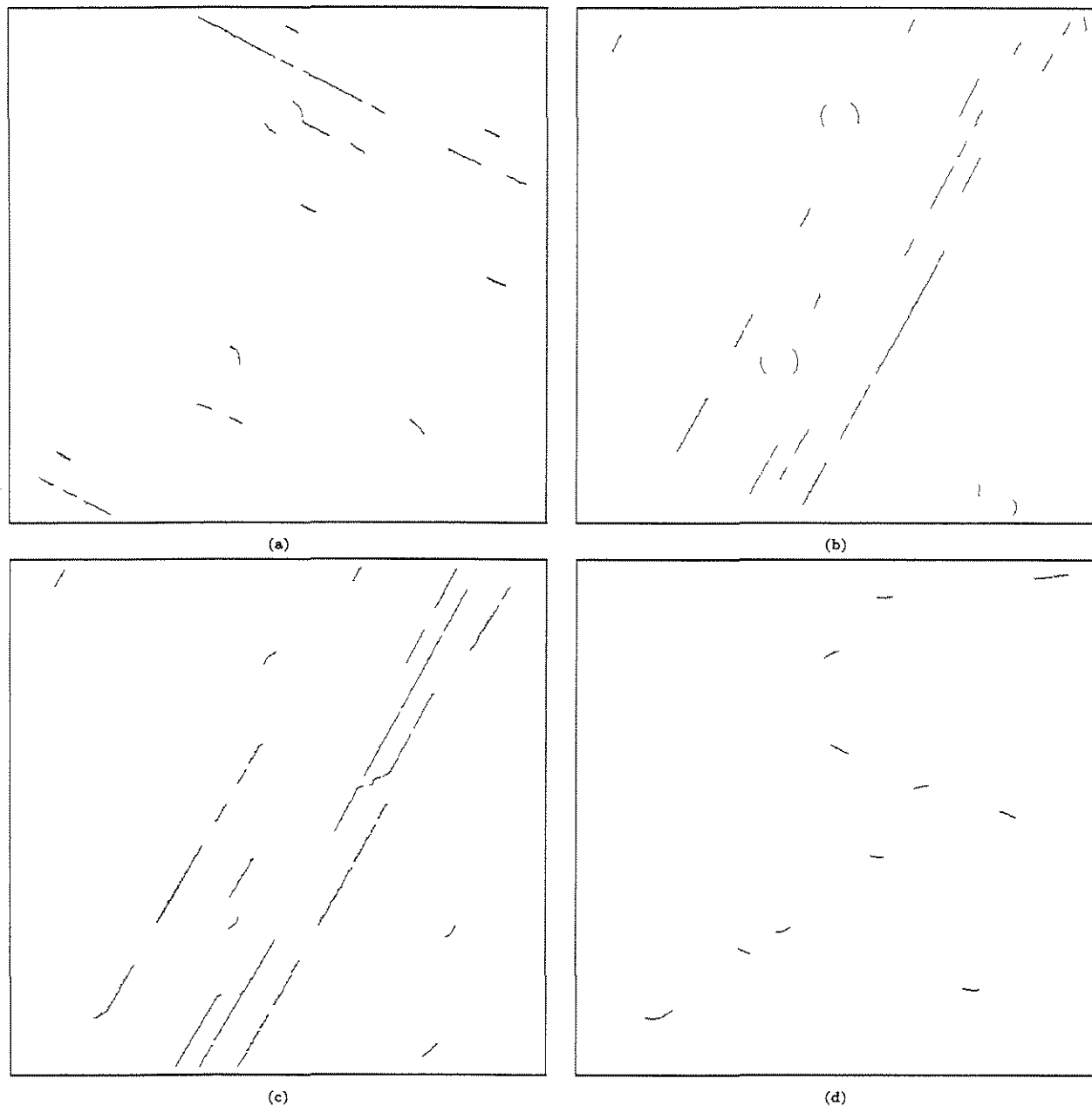


Figura 4.12: Resultados parciais para a função de extração de componentes longos em direções individuais. (a) $d = 3$; (b) $d = 4$; (c) $d = 5$; (d) $d = 6$.

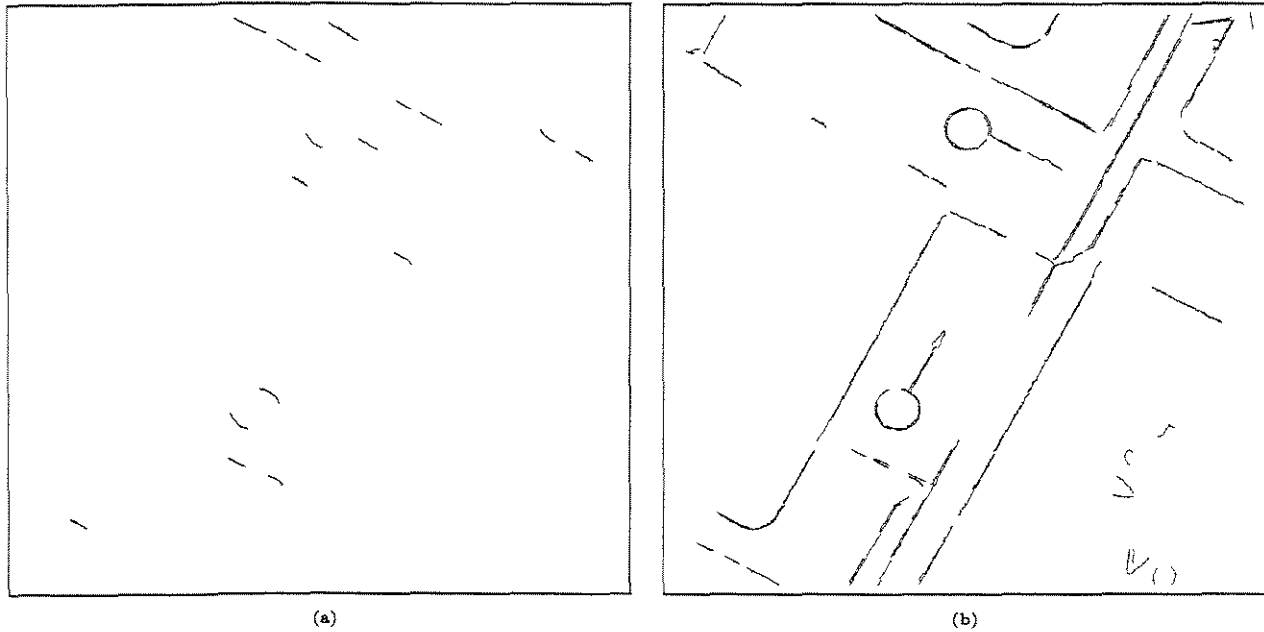


Figura 4.13: Função para extração de componentes longos. (a) Resultado parcial para a direção $d = 7$; (b) Resultado final, correspondendo à união das oito direções consideradas.

4.6 Reconstrução de Componentes Longos (f^{longos})

A aplicação da seqüência de operações anteriores enfatiza e identifica as linhas, porém é possível que resíduos de componentes mais curtas permaneçam após a obtenção do resultado. Isto ocorre devido ao fato de alguns componentes curtos estarem conectados a componentes longos.

A imagem obtida pela função $f^{longos_inicial}$ está livre de componentes curtos, indesejáveis na segmentação de componentes longos. Entretanto, a imagem apresenta apenas os contornos dos objetos. Alguns destes componentes também podem apresentar-se desconectados devido à aplicação da abertura anteriormente. O objetivo desta função, denominada f^{longos} , é reconectar e reconstruir os componentes longos ao seu tamanho original através de uma dilatação geodésica.

A dilatação geodésica considera o crescimento dos objetos de uma imagem marcadora dentro de um espaço de restrição, até que não seja mais possível a inclusão de nenhum ponto na imagem. Para a obtenção de f^{longos} , o espaço de restrição é o mapa telefônico original e $f^{longos_inicial}$, a imagem marcadora, considerados para cada direção, individualmente.

A equação 4.6 representa a obtenção da imagem de componentes longos, reconstruída.

$$f_d^{longos} = D_{>d:f}^{25}(f_d^{longos_inicial}) \quad (4.6)$$

onde f é a imagem original e $f^{longos_inicial}$, a imagem obtida pela função anterior.

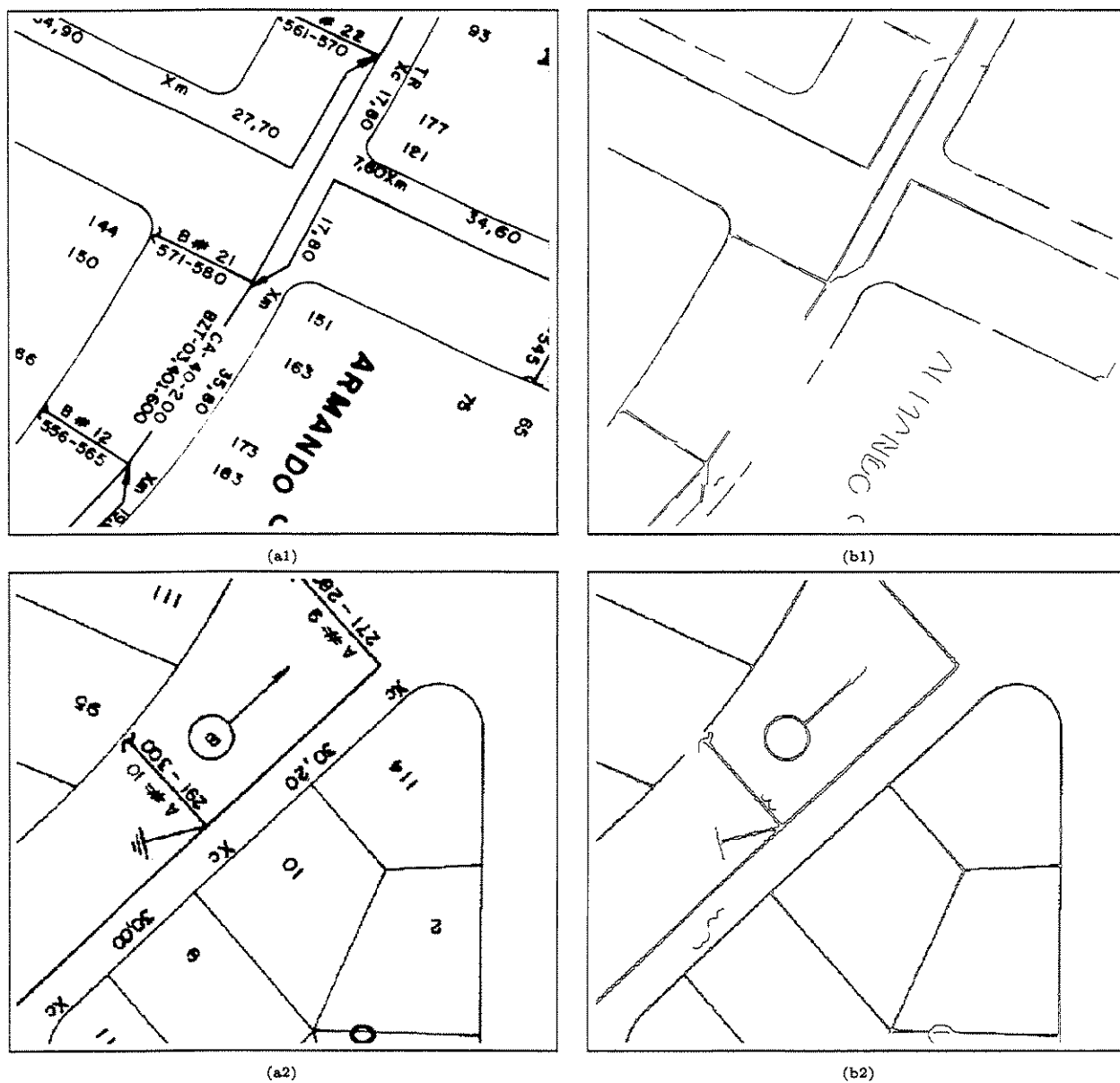


Figura 4.14: Componentes longos obtidas a partir da função $f^{longos_inicial}$ para dois trechos de mapas.

As figuras 4.15, 4.16 e 4.17. apresenta os resultados intermediários da aplicação da função de reconstrução para a obtenção dos componentes longos de um trecho de mapa telefônico, para cada direção considerada.

Outros resultados finais da obtenção de componentes longos reconstruídos, f^{longos} , podem ser visualizados na figura 4.18.

4.7 Obtenção de Componentes Curtos (f^{curtos})

Os componentes curtos nos mapas telefônicos apresentam-se basicamente como caracteres, mas a recíproca não é verdadeira, ou seja, nem todos os caracteres constituem-se em componentes curtos, como é o caso de caracteres identificando nomes de ruas.

A identificação de componentes curtos baseia-se na imagem de componentes longos reconstruída e será utilizada mais tarde na identificação de caracteres.

A equação 4.7 representa a função de obtenção de componentes curtos.

$$f_d^{curtos} = f \cap D^2(Abert_{>*d}(f \cap \overline{f^{longos}})) \quad (4.7)$$

Os componentes curtos são obtidos inicialmente a partir da eliminação dos componentes longos. A aplicação de uma abertura direcional elimina trechos de linhas que não foram identificados pela função f^{longos} e reconstitui caracteres, conectando os pontos da forma, juntamente com a dilatação não-geodésica. A operação de interseção final elimina pontos que originalmente não pertencem ao mapa e foram introduzidos pela dilatação

Resultados intermediários da obtenção de componentes curtos para a direção $d = 0$ em um mapa podem ser visualizados nas figuras 4.19 e 4.20, de acordo com o esquema abaixo:

$$f_d^{curtos} = f \cap D^2(\overbrace{Abert_{>*d}(\underbrace{f \cap \overbrace{f^{longos}}^{R4}}_{R3})}^{R5}}^{R6})$$

A imagem final, contendo as componentes curtos, corresponde à união das oito direções consideradas. A figura 4.21 apresenta o resultado final para a imagem da figura 4.19, considerando todas as direções.

A figura 4.22 apresenta outro resultado da aplicação da função f^{curtos} para a obtenção de componentes curtos em outro trecho de mapa.

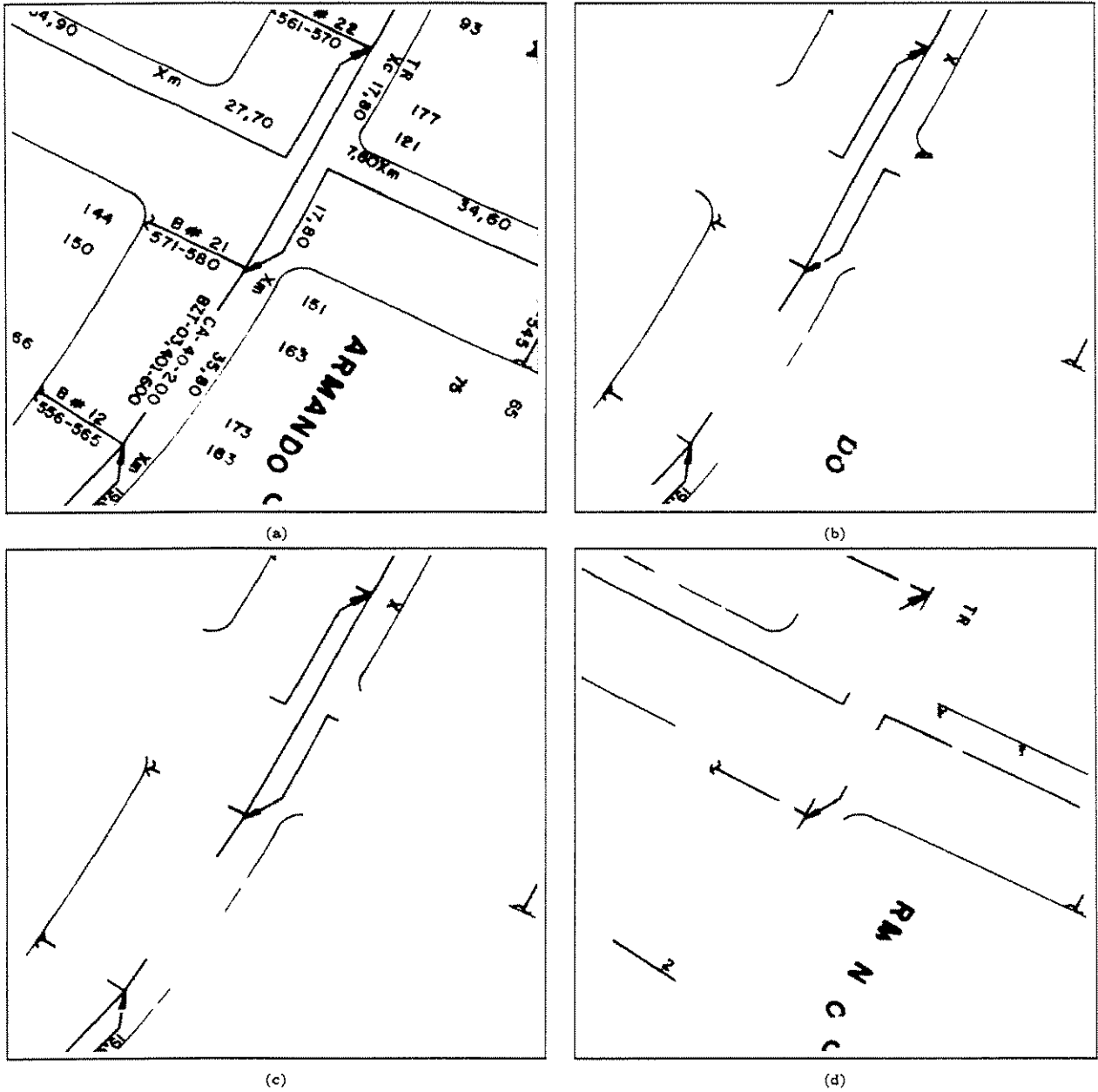


Figura 4.15: Função de extração inicial de componentes longos.(a) Imagem original; e os resultados com componentes longos para direções individuais: (b) $d = 0$; (c) $d = 1$; (d) $d = 2$.

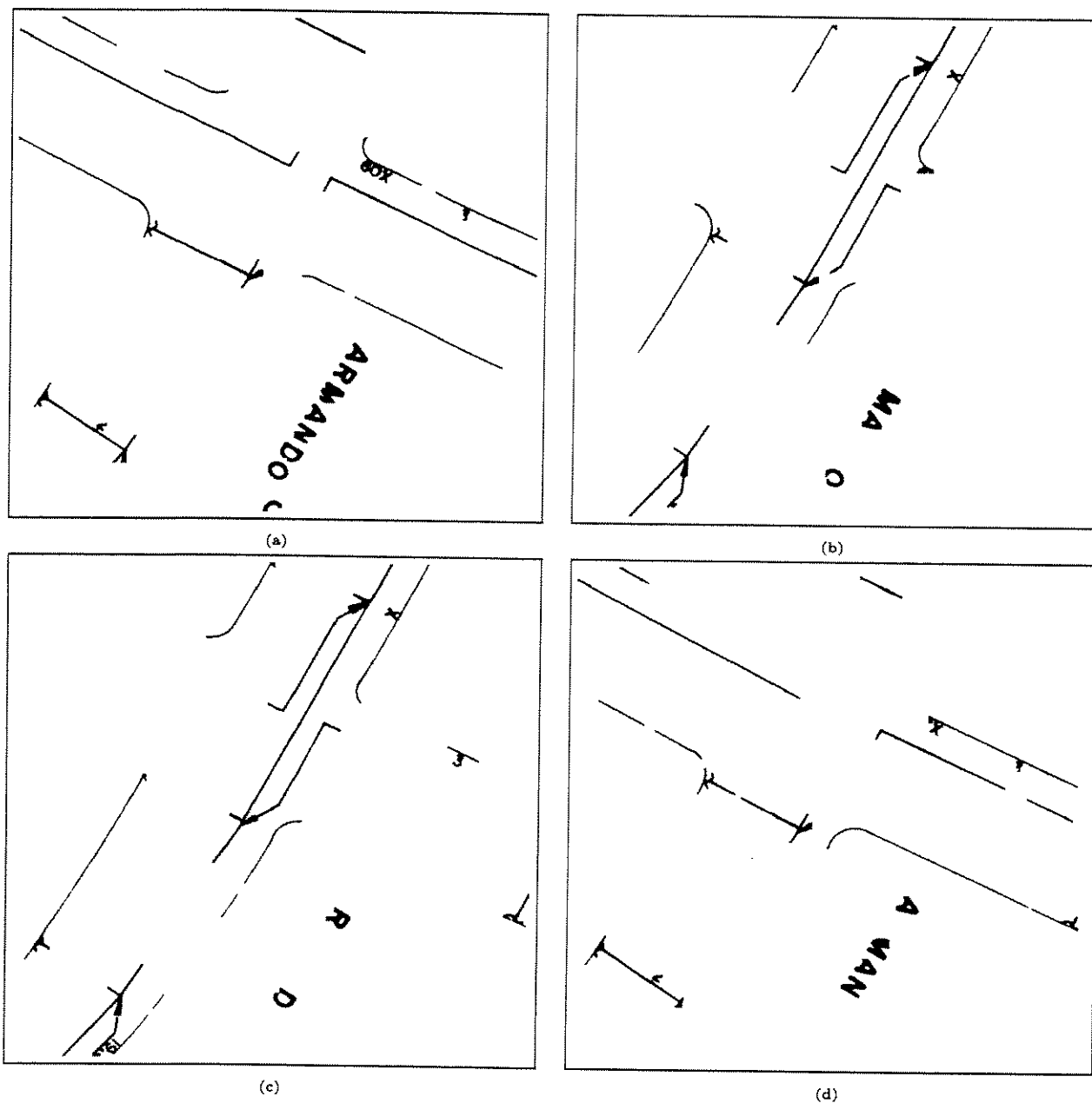


Figura 4.16: Resultados parciais para a função de extração de componentes longos em direções individuais. (a) $d = 3$; (b) $d = 4$; (c) $d = 5$; (d) $d = 6$.

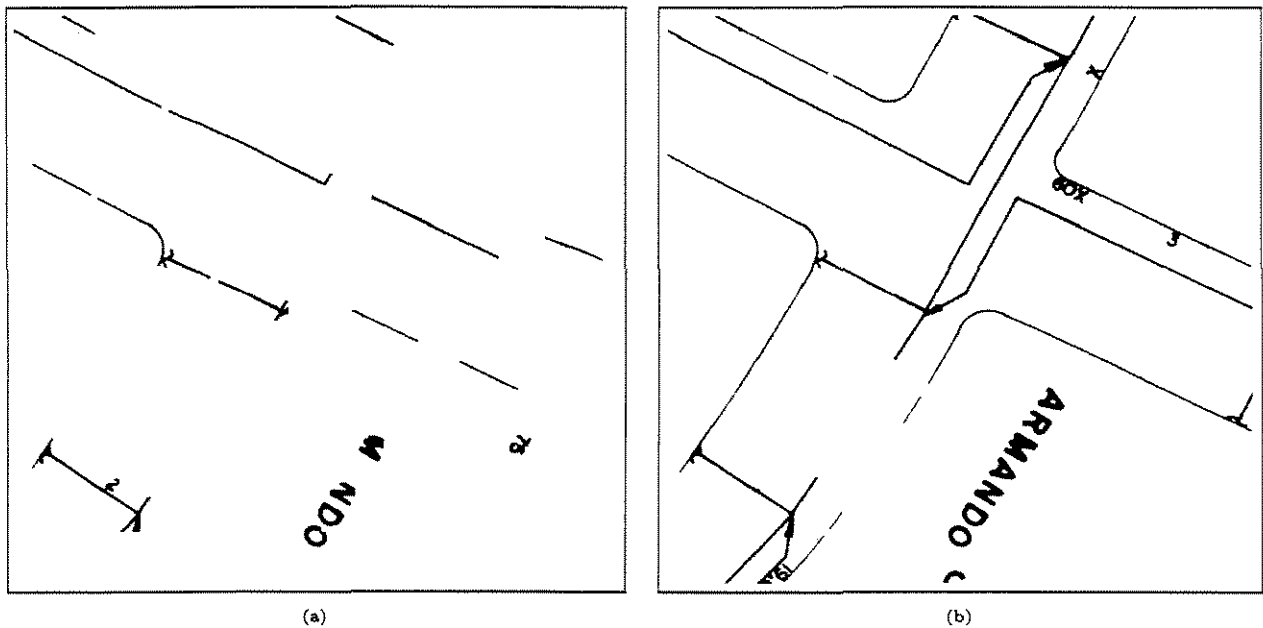


Figura 4.17: Função para extração de componentes longos. (a) Resultado parcial para a direção $d = 7$; (b) Resultado final, correspondendo à união das oito direções consideradas.

As funções definidas neste capítulo são responsáveis pelo processamento inicial dos mapas, reduzindo a concentração de componentes em uma única imagem e preparando-os para a segmentação dos componentes individuais.

No próximo capítulo, são apresentadas as funções específicas de segmentação, responsáveis pela extração dos componentes presentes em mapas telefônicos.



Figura 4.18: Resultados da aplicação da função f_{longos} para dois trechos de mapas.

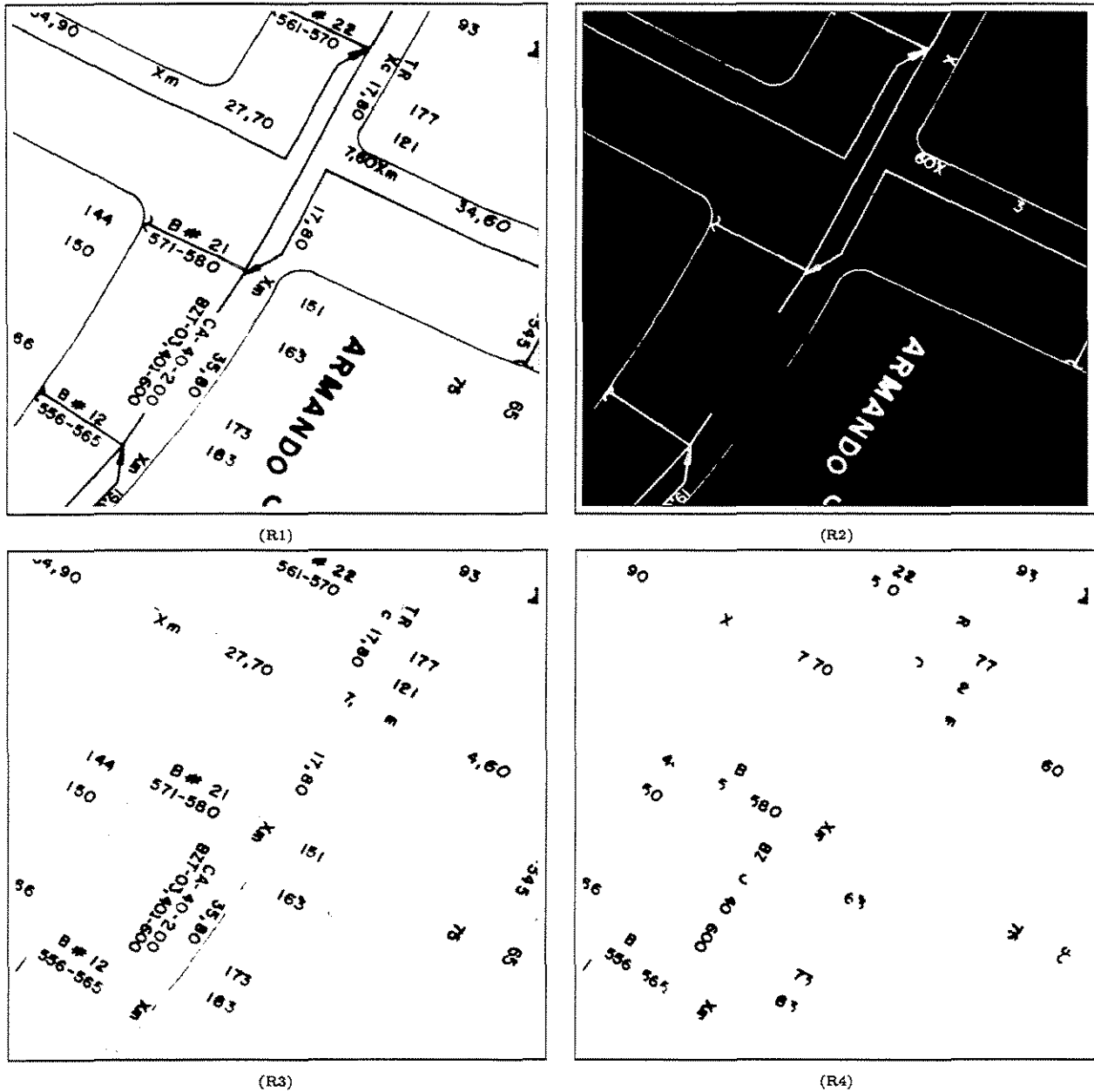


Figura 4.19: Resultados intermediários para a obtenção de componentes curtos para a direção $d = 0$.

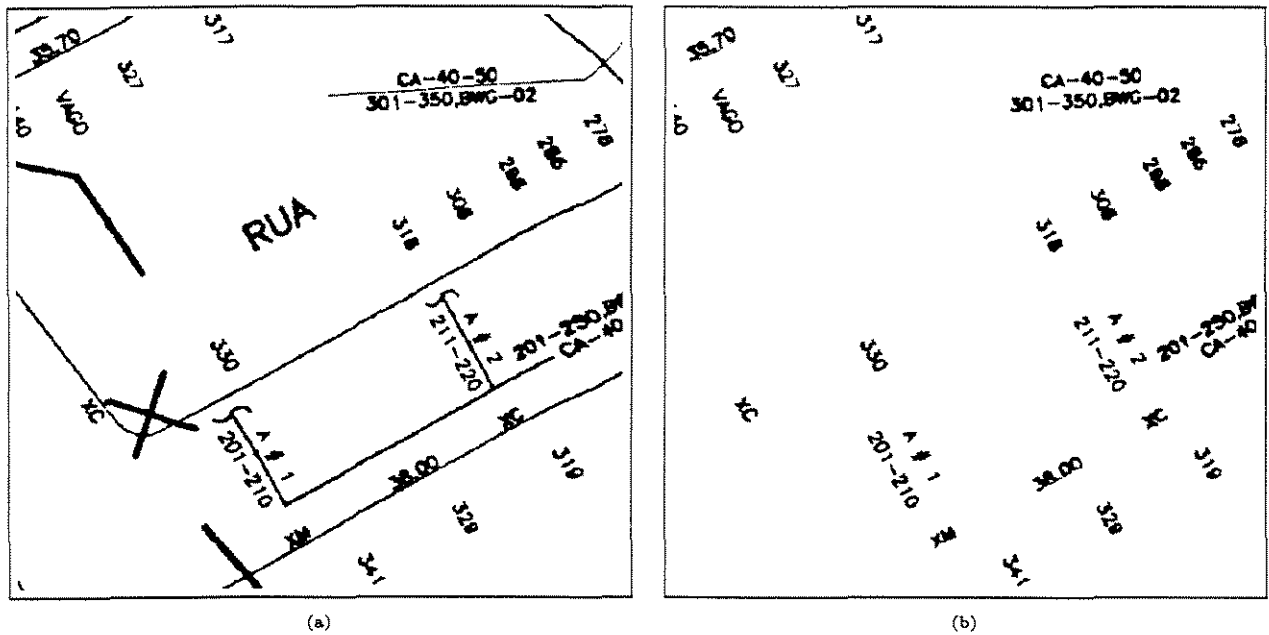


Figura 4.22: Trecho de mapa telefônico e resultado obtido pela função f^{curtos} .

Capítulo 5

Funções Específicas

Quando um operador faz a identificação manual dos elementos que compõem um mapa topográfico, ele é capaz de identificar todos eles corretamente, lançando mão de informações provenientes de diversas fontes para decidir o que segmentar. Entretanto, quando este processo é automatizado, a quantidade de informação disponível para o sistema é muito limitada, tornando difícil, portanto, a definição de uma função que seja eficiente para todos os casos.

Os mapas telefônicos geralmente apresentam componentes de grande dimensão, como seções de serviço e cabos, e componentes de pequena dimensão, como caracteres. A elaboração de um conjunto de funções eficaz na segmentação dos componentes presentes nestes mapas deve considerar a similaridade entre componentes e agrupá-los de acordo com algum critério de semelhança. Em seguida, a aplicação de funções mais específicas em grupos individuais gera resultados mais consistentes.

A aplicação das funções definidas no *Capítulo 4* segmenta a imagem em dois grupos: um formado por componentes e segmentos longos e outro por segmentos curtos. A partir destes grupos, podem-se definir as funções para extração de cada componente existente em mapas telefônicos e descritos na *Seção 2.3*.

Nas próximas seções, são apresentadas as funções de segmentação específicas de cada componente, individualmente.

5.1 Seção de Serviço ($f^{\text{demarcações}}$)

As seções de serviço correspondem a demarcações, linhas longas e espessas que dividem determinada área urbana em regiões (*Figura 2.3*). A segmentação deste componente baseia-se na espessura destas linhas, consideravelmente maior do que de outras linhas encontradas nos mapas. Este fator facilita a definição da função de segmentação.

A partir da imagem f^{longos} , obtida pelas funções básicas (*Seção 4.6*), a aplicação de uma erosão não-direcional reduz a espessura das linhas, eliminando as mais finas, tornando

as seções de serviço as únicas linhas longas relativamente contínuas presentes na imagem, juntamente com caracteres correspondendo a nomes de ruas. Em alguns pontos, é possível a ocorrência de descontinuidades nas linhas relativas às seções de serviço, como resultado da erosão, devido a irregularidades nas linhas. Uma dilatação geodésica reconecta facilmente estes pontos.

A aplicação da erosão, ao eliminar as linhas mais finas, deixa resíduos que precisam ser excluídos, para que não sejam reconstruídos mais tarde, juntamente com as demarcações. A eliminação destes resíduos é executada em duas partes: na primeira, uma operação de afinamento reduz os componentes obtidos anteriormente à espessura de um pixel, preparando a imagem para a segunda parte, onde os objetos de área menor do que um parâmetro estabelecido são excluídos da imagem.

O afinamento é obtido através da eliminação sucessiva de pontos simples da imagem (*Apêndice A*) e, nas equações representando as funções de segmentação, a operação de afinamento de uma imagem será denotada por $Afin(X)$, onde X é a imagem a ser afinada.

Após a obtenção da imagem afinada, um algoritmo recursivo, que rotula cada pixel à medida que executa uma varredura da imagem, estima a área de cada objeto presente na imagem. A partir do conhecimento da área, a função elimina os objetos menores do que um parâmetro estabelecido, através de um novo algoritmo recursivo. A operação de eliminação de objetos é representada por $Del_n(X)$, onde n é um escalar associado ao parâmetro área.

Após a eliminação dos resíduos, as seções de serviço são os únicos componentes que permaneceram na imagem, apresentando-se afinadas. A aplicação de uma reconstrução geodésica retoma a espessura original das demarcações, integralizando sua segmentação.

A equação 5.1 representa o processo de segmentação do componente seções de serviço.

$$f^{demarcações} = D_{:f^{longos}}^5(Del_{100}(Afin(D_{:f^{longos}}^3(E^2(f^{longos})))))) \quad (5.1)$$

Os resultados intermediários para a obtenção das seções de serviço ou demarcações podem ser visualizados nas figuras 5.1 e 5.2, de acordo com o esquema abaixo:

$$f^{demarcações} = \underbrace{D_{:f^{longos}}^5}_{R6} \left(\underbrace{Del_{100}}_{R5} \left(\underbrace{Afin}_{R1} \left(\underbrace{D_{:f^{longos}}^3}_{R2} \left(\underbrace{E^2}_{R3} \left(\underbrace{f^{longos}}_{R4} \right) \right) \right) \right) \right) \right)$$

Outros resultados da função para segmentação de seções de serviço, $f^{demarcações}$, podem ser visualizados na figura 5.3.

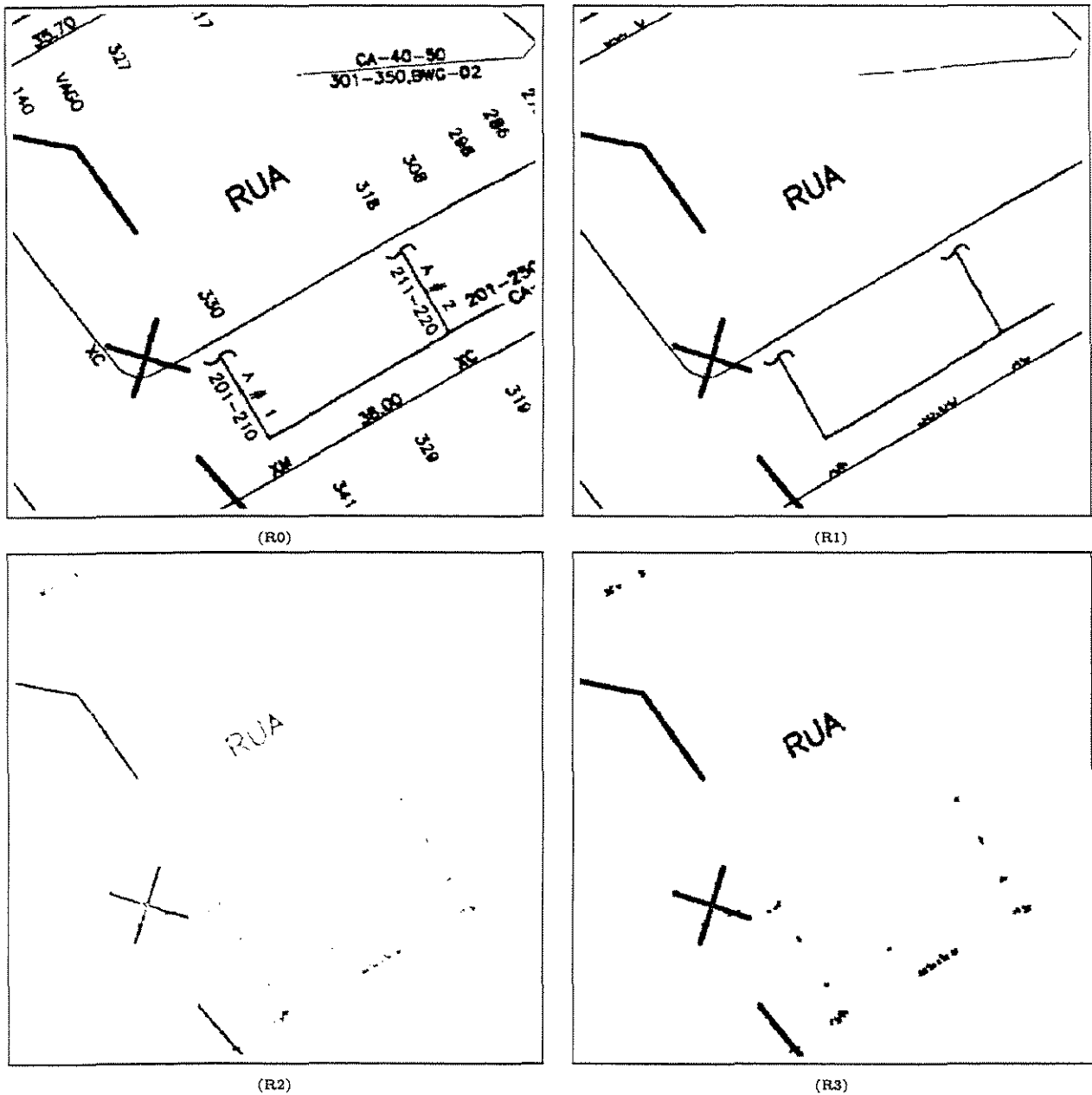


Figura 5.1: Resultados intermediários para a obtenção de seções de serviço. (R0) Imagem original; (R1) Imagem de componentes longos; (R2) Eliminação de linhas finas e (R3) Linhas Espessas reconectadas.

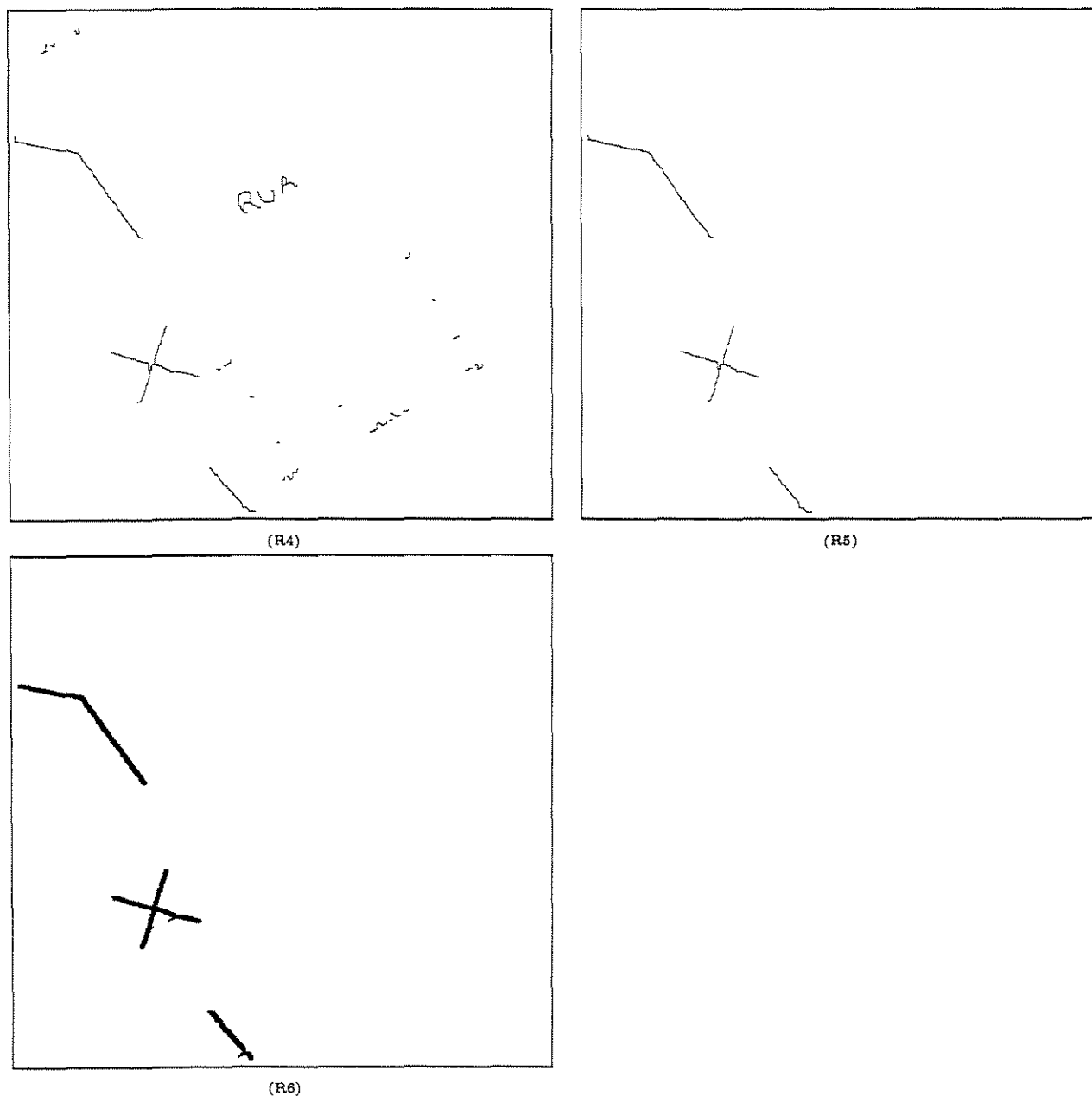
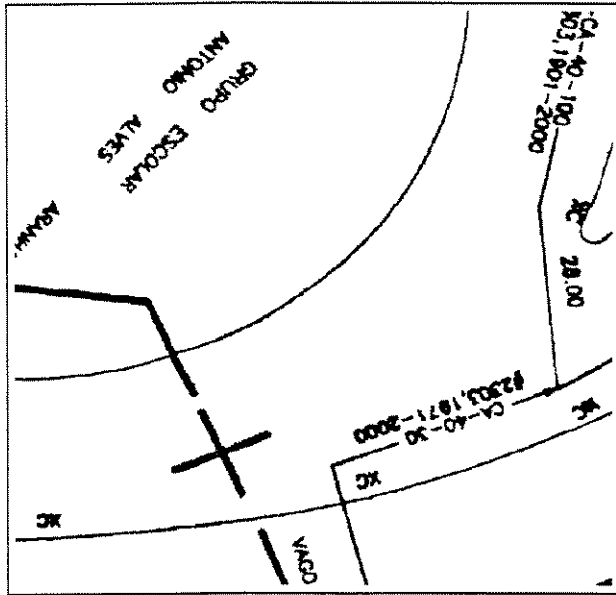
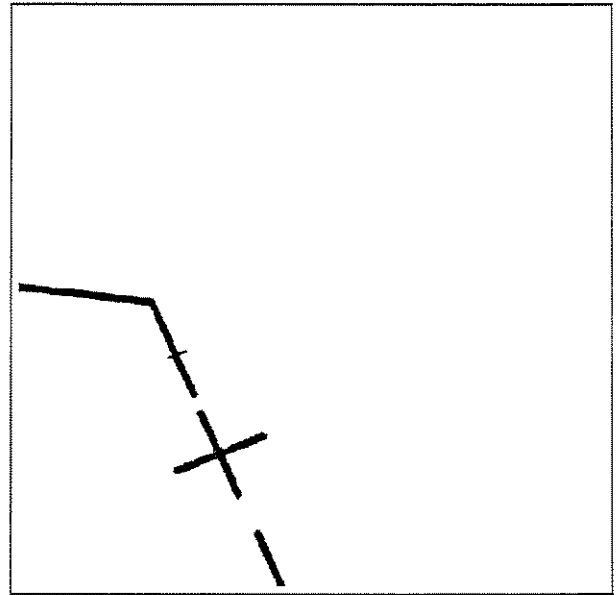


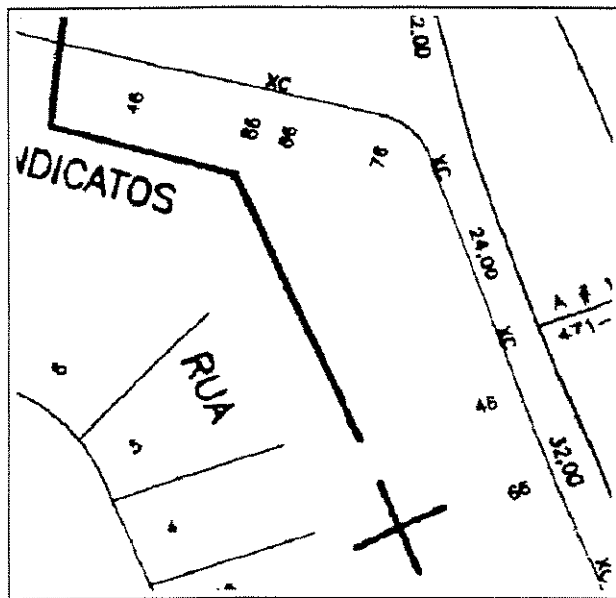
Figura 5.2: Resultados intermediários para a obtenção de seções de serviço. (R4) Imagem em (R3) afinada; (R5) Eliminação de resíduos e (R6) Resultado final, correspondendo às demarcações.



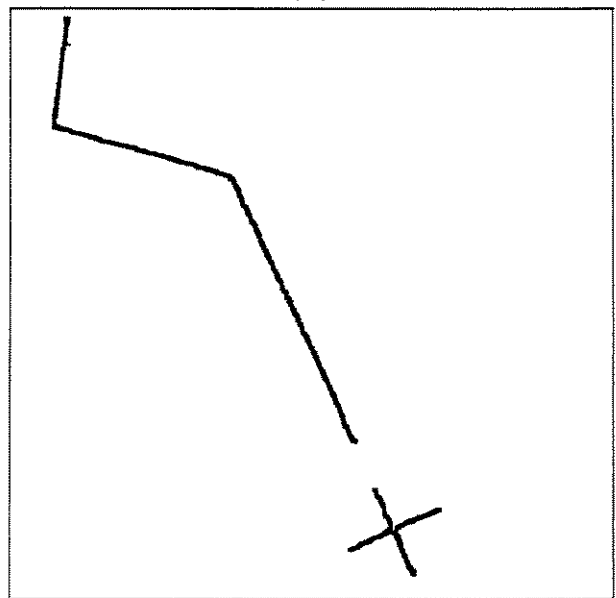
(a1)



(b1)



(a2)



(b2)

Figura 5.3: Aplicação da função para extração de seções de serviço para dois trechos de mapas.

5.2 Caracteres ($f^{caracteres}$)

Os caracteres estão presentes em vários pontos dos mapas, representando nomes de ruas, praças e regiões, identificando postes e caracterizando outros componentes. Eles podem apresentar-se em diversos formatos e aparecer conectados a outros componentes, o que torna difícil a definição de uma função de segmentação que identifique unicamente os caracteres.

A função para detecção de componentes curtos, definida anteriormente, identifica os caracteres que se constituem em objetos de pequena dimensão quando comparados a outros componentes, como os segmentos lineares. Entretanto, em algumas representações de mapas, os nomes de ruas ou regiões podem apresentar-se como caracteres de grande dimensão, não sendo identificados pela mesma função.

A função para extração de caracteres, $f^{caracteres}$, considera a segmentação dos caracteres de grande dimensão e o resultado obtido previamente pela função f^{curtos} . A equação 5.2 representa o processo de segmentação deste componente.

$$f^{caracteres} = f \cap \{D^4(f^{curtos}) \cup [\overline{f^{demarcações}} \cap (D_{f^{longos}}^5(Del_{50}(Afin(D_{f^{longos}}^3(E^2(f^{longos})))))))]\} \quad (5.2)$$

Os caracteres de grande dimensão são identificados por uma seqüência de passos similar à utilizada na segmentação das seções de serviço. As linhas finas são eliminadas através de uma erosão e a aplicação de uma dilatação geodésica reconstrói e identifica as linhas espessas. Os resíduos das linhas finas são eliminados pelo algoritmo recursivo de rotulação de pixels.

A presença da função de segmentação de seções de serviço na definição justifica-se pois, assim como os caracteres, elas também apresentam-se como linhas espessas e são reconstruídas pela dilatação geodésica.

Os caracteres de pequena dimensão são identificados diretamente a partir da função f^{curtos} . A dilatação aplicada recupera os pontos não detectados por aquela função.

O resultado final é obtido a partir da união dos dois resultados parciais anteriores. A operação de interseção final elimina os pontos que não pertencem originalmente ao mapa.

Os resultados parciais obtidos pela função $f^{caracteres}$ podem ser visualizados nas figuras 5.4 e 5.5, de acordo com o esquema abaixo:

$$f^{caracteres} = \underbrace{f}_{R1} \cap \underbrace{\{D^4(f^{curtos})\}}_{R2} \cup \underbrace{\{\overline{f^{demarcações}}\}}_{R3} \cap \underbrace{(D_{f^{longos}}^5(Del_{50}(Afin(D_{f^{longos}}^3(E^2(f^{longos}))))))}_{R4} \}}_{R5} \}}_{R6} \}}_{R7} \}}_{R8}$$

A figura 5.6 apresenta outro resultado de obtenção de caracteres a partir de um mapa telefônico.

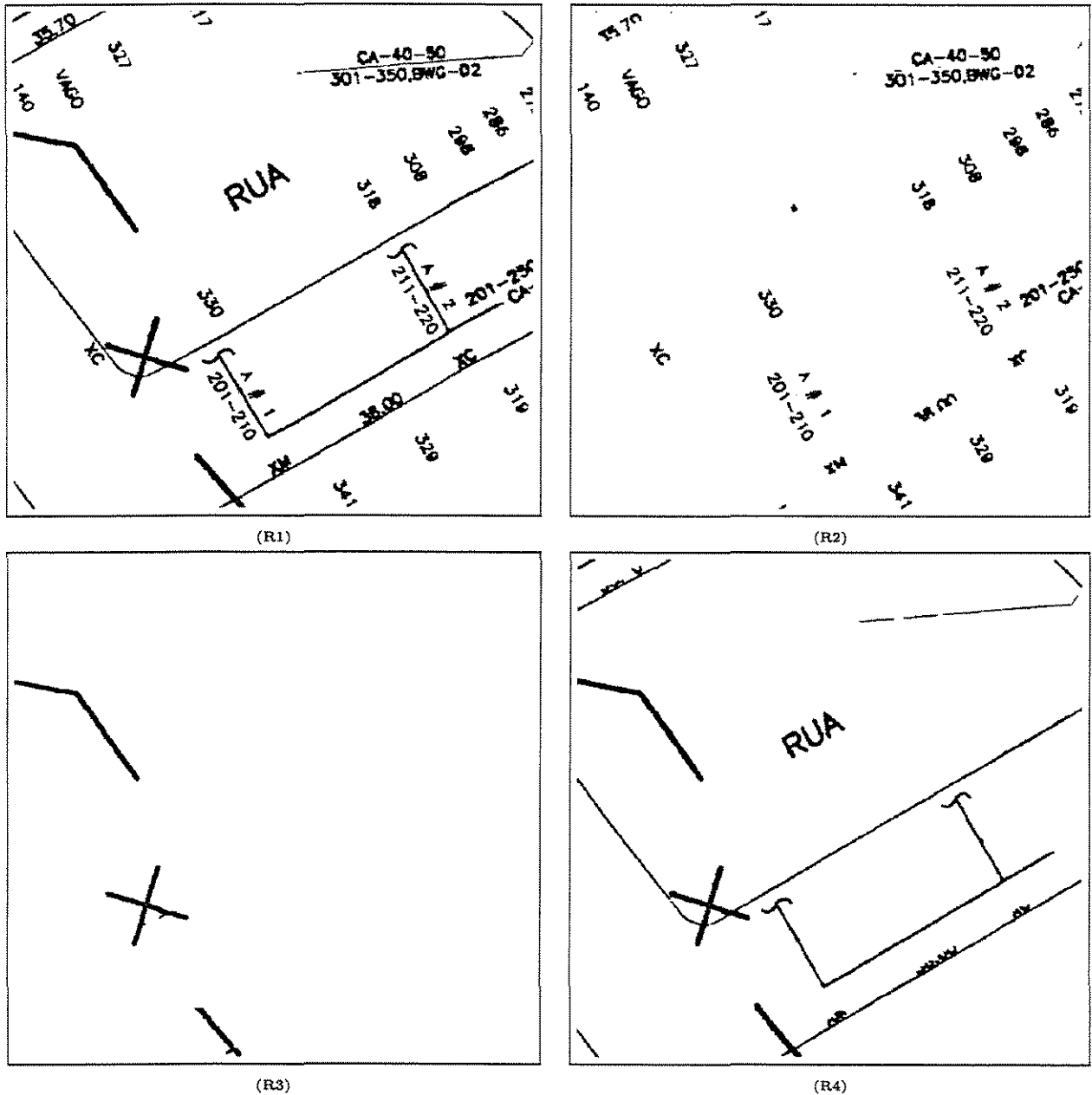


Figura 5.4: Resultados intermediários para a obtenção de caracteres. (R1) Imagem original; (R2) Imagem de componentes curtos; (R3) Seções de serviço e (R4) Imagens de componentes longos.

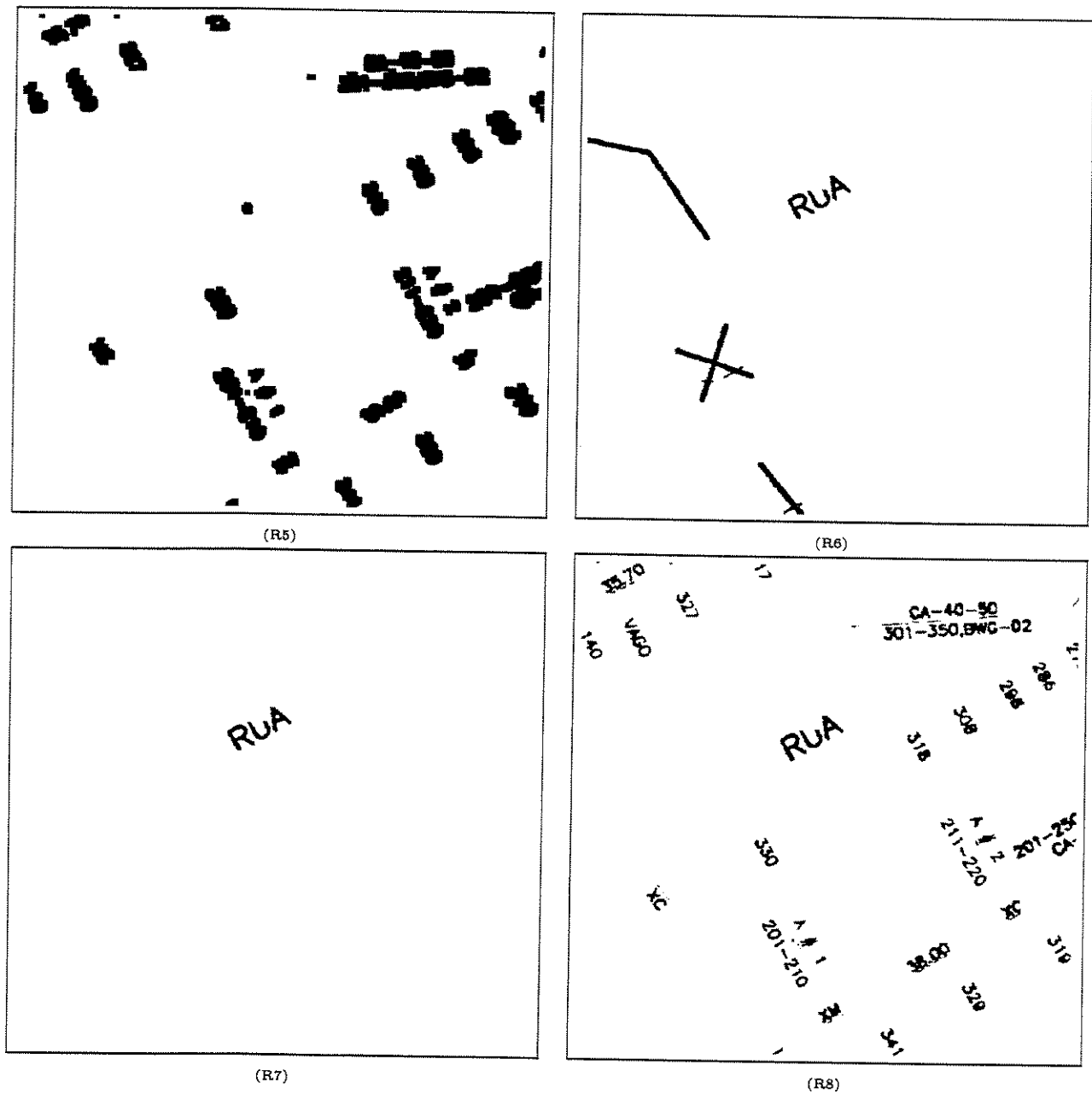


Figura 5.5: Resultados intermediários para a obtenção de caracteres. (R5) Dilatação de componentes curtas; (R6) Componentes espessas; (R7) Componentes espessas sem seções de serviço e (R8) Resultado final, correspondendo aos caracteres.

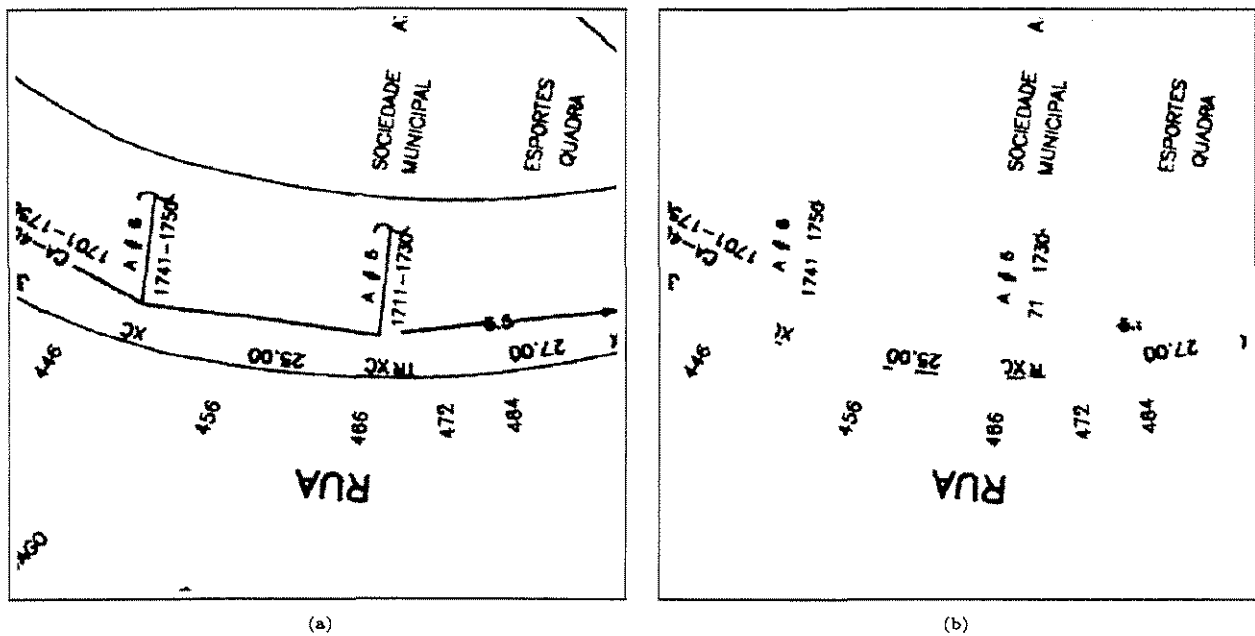


Figura 5.6: Resultado obtido pela aplicação da função $f_{caracteres}$ em um trecho de mapa. (a) Imagem original; (b) Imagem de caracteres.

5.3 Caixas Subterrâneas (f_{caixas})

As caixas subterrâneas constituem elementos existentes no subsolo da rede, representadas por um círculo de diâmetro pequeno unido a um ou dois segmentos de reta (Figura 2.3).

A função de segmentação deste componente utiliza a Transformação em Tudo ou Nada (Hit-Miss Transformation - HMT), uma transformação pontual, descrita na seção 3.1.3. A escolha de um elemento que identifique de modo único uma região da imagem pode formar a base para a função de segmentação de componentes em mapas telefônicos.

A aplicação da operação de espessamento homotópico, como descrito no Capítulo 3, adiciona pontos progressivamente à imagem, sem alterar a homotopia dos objetos. Nas funções de segmentação deste trabalho, o espessamento homotópico será denotado por $Hthick^n(X)$, onde X é a imagem de entrada e n o número de iterações.

Considere a imagem obtida pela função f_{longos} , contendo componentes longos sem os caracteres. O aplicação de um espessamento sobre essa imagem preenche gradativamente os círculos correspondentes às caixas telefônicas até a obtenção de um único pixel branco isolado, no centro dos mesmos.

Seja M o elemento estruturante definido abaixo:

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

A aplicação de uma HMT utilizando o elemento estruturante M definido acima identifica os pixels brancos isolados na imagem, gerados pelo espessamento homotópico. A imagem obtida por este processamento contém unicamente estes pixels isolados.

Dando continuidade à segmentação, as caixas telefônicas são parcialmente reconstruídas a partir dos pixels obtidos anteriormente, onde o espaço de restrição corresponde à imagem definida pelo espessamento, aplicado inicialmente.

O resultado obtido pela reconstrução corresponde a uma forma onde está parcialmente contida a representação das caixas telefônicas do mapa. A aplicação de uma interseção entre este resultado e o mapa original identifica a forma das caixas telefônicas, utilizada como marcador em uma reconstrução que identifica integralmente o componente.

A equação 5.3 representa o processo de segmentação:

$$f_{caixas} = D_{:f}^{150} \{ f \cap D_{:f}^{50} (H^M (Hthick^{350} (f_{longos} \cap (\overline{f_{caracteres}} \cup \overline{f_{demarcações}})))) \} \quad (5.3)$$

Resultados intermediários obtidos pela função f_{caixas} podem ser visualizados nas figuras 5.7 e 5.8, de acordo com o esquema abaixo:

$$f_{caixas} = D_{:f}^{150} \left\{ \underbrace{f}_{R1} \cap D_{:f}^{50} \left(H^M \left(\underbrace{Hthick^{350}}_{R2} \left(\underbrace{f_{longos}}_{R3} \cap \underbrace{(\overline{f_{caracteres}} \cup \overline{f_{demarcações}})}_{R4} \right) \right) \right) \right\}_{R5} \quad \begin{matrix} \overbrace{\hspace{10em}}^{R7} \\ \overbrace{\hspace{10em}}^{R6} \\ \overbrace{\hspace{10em}}^{R8} \end{matrix}$$

5.4 Armários de Distribuição (*farmários*)

Como já visto, os armários de distribuição são componentes que apresentam-se através de um arco com uma linha espessa, formando a base, unindo suas extremidades. Este conjunto é preso a algum limite de arruamento ou face de lote (*Figura 2.3*).

A abordagem utilizada na segmentação deste componente é semelhante à utilizada para as seções de serviço. A partir da imagem contendo componentes longos, obtida pela função f_{longos} , as funções de segmentação já definidas são aplicadas, gerando uma imagem sem caracteres, seções de serviço e caixas subterrâneas.

A imagem obtida com o processamento inicial apresenta linhas de espessura aproximada, com exceção da base do armário de distribuição, de grande espessura. A aplicação de uma

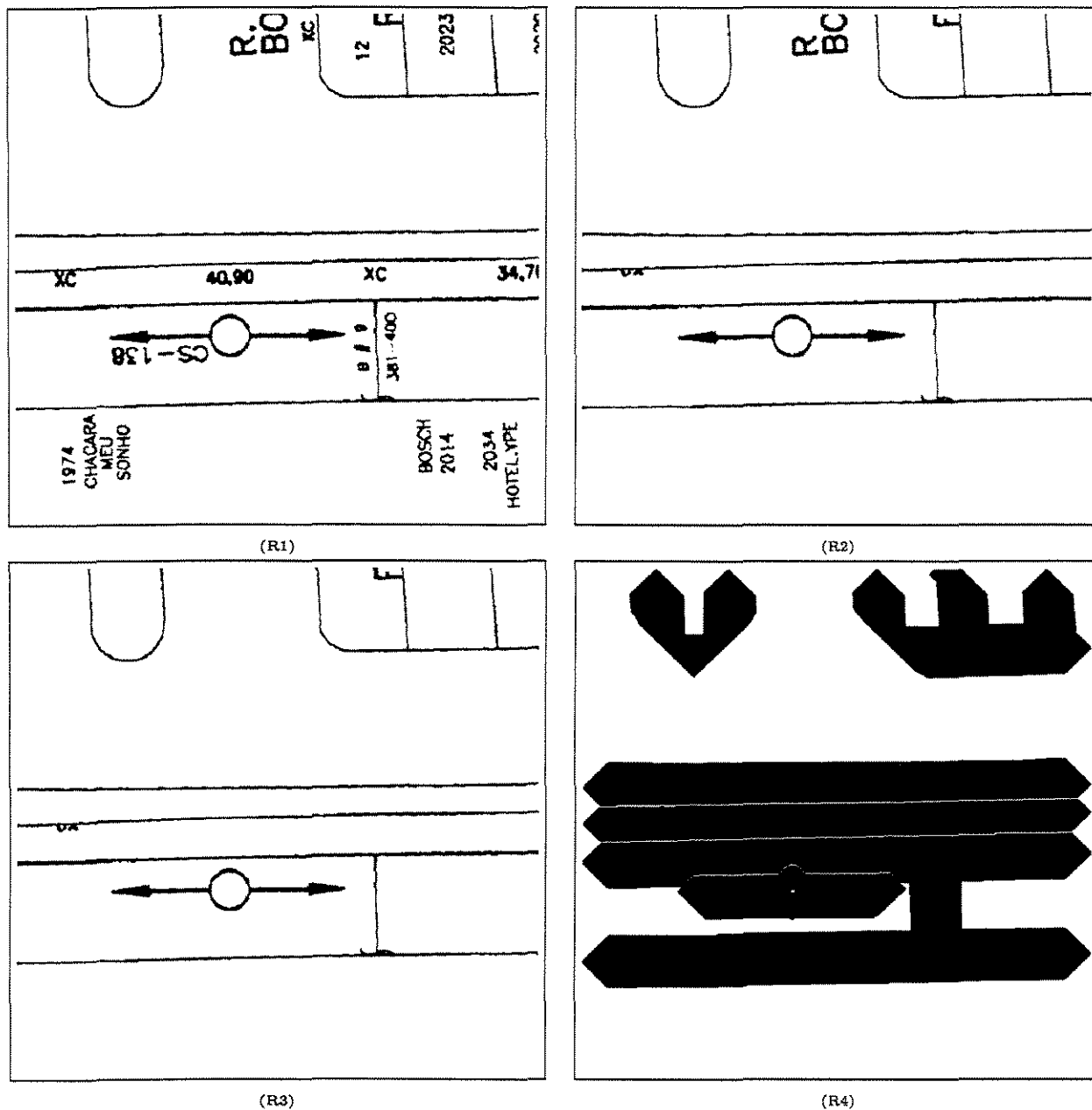


Figura 5.7: Resultados intermediários para a obtenção de caixas telefônicas. (R1) Imagem original; (R2) Imagem de componentes longos; (R3) Imagem em (R2) sem caracteres e (R4) Imagem em (R3) após aplicação do espessamento homotópico.

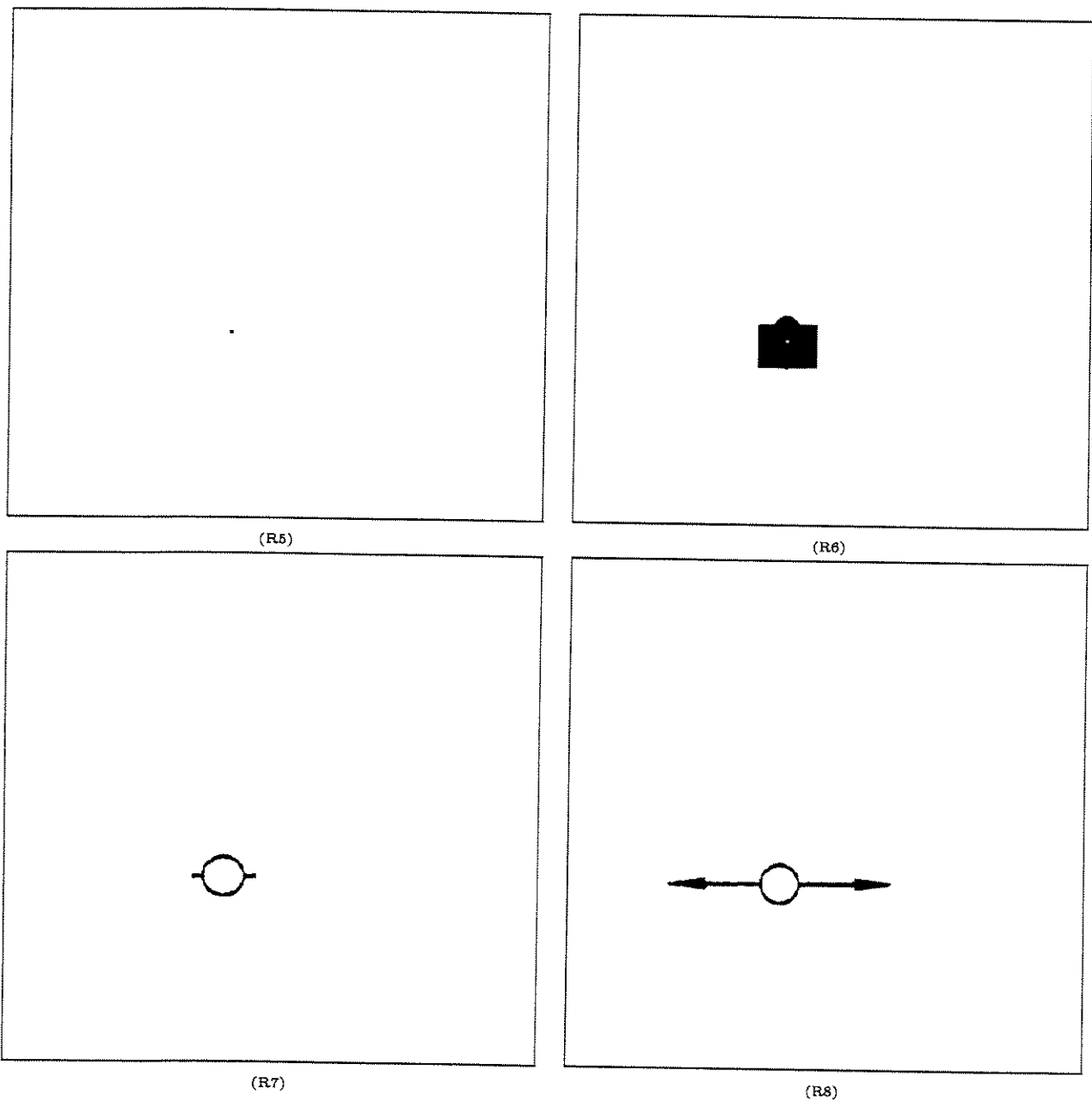


Figura 5.8: Resultados intermediários para a obtenção de caixas telefônicas. (R5) Pontos identificados pela HMT; (R6) Reconstrução parcial de (R4); (R7) Identificação parcial das caixas telefônicas e (R8) Resultado final, correspondendo às caixas, reconstruídas.

erosão não-direcional elimina os pontos pertencentes às linhas menos espessas, mantendo a base do armário e ruídos de outros componentes.

Os ruídos que permaneceram são eliminados através da aplicação do algoritmo de cálculo de comprimento de segmentos, aplicado sobre a imagem com ruídos afinada.

A segmentação termina com a reconstrução do armário a partir da imagem obtida com a eliminação dos ruídos. O espaço de restrição corresponde à imagem de componentes longos

A equação 5.4 representa a segmentação deste componente:

$$f_{armários} = D_{:f_{longos}}^{150} \{ Del_{30}(Afin(E^3(f_{longos} \cap (\overbrace{f_{caracteres} \cup f_{caixas} \cup f_{demarcações}}^{R5})))) \} \quad (5.4)$$

Resultados intermediários obtidos pela função $f_{armários}$ podem ser visualizados nas figuras 5.9 e 5.10, de acordo com o esquema abaixo:

$$f_{armários} = D_{:f_{longos}}^{150} \{ Del_{30}(Afin(E^3(\underbrace{f_{longos}}_{R1} \cap (\overbrace{f_{caracteres} \cup f_{caixas} \cup f_{demarcações}}^{R5})))) \}$$

5.5 Lances de Cabos (f_{cabos})

Os cabos constituem-se em componentes de difícil segmentação, pois formam linhas longas de espessura semelhante a de limites de arruamento (*Figura 2.3*). As linhas que representam os cabos têm espessura ligeiramente maior do que aquelas que correspondem aos limites de arruamento. Entretanto, devido a fatores como qualidade e aquisição das cartas, esta característica pode não se verificar para todos os pontos de um mapa telefônico. Este problema é solucionado com a identificação de uma nova característica que facilite a distinção entre os dois tipos de componentes. Os lances de cabos apresentam-se, a grosso modo, como um conjunto de segmentos de reta interligados. Os limites de arruamento, por outro lado, podem apresentar-se como curvas onde ocorre uma mudança de direção da linha.

A partir do conhecimento destes fatores, a segmentação dos lances de cabos é dividida em duas fases. Na primeira, as linhas que apresentam curvatura ao longo de seu comprimento são eliminadas e, na segunda, a diferença de espessura entre as linhas é explorada.

Para a primeira fase, considere a imagem inicial contendo componentes longos, obtida pela função f_{longos} , sem os componentes segmentados pelas funções já definidas. A aplicação dos

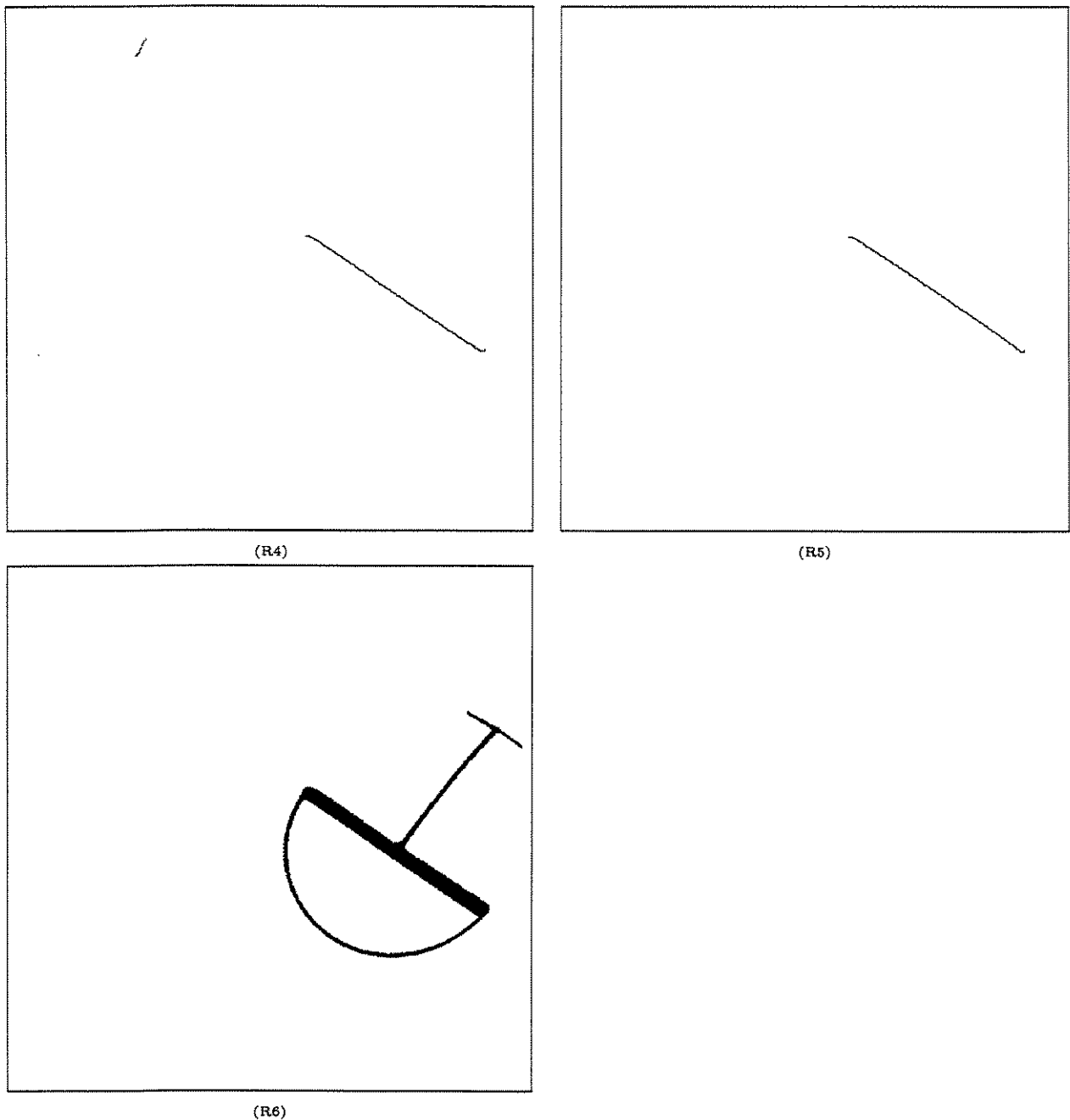


Figura 5.10: Resultados intermediários para a obtenção de armários de distribuição. (R4) Imagem erodida afinada; (R5) Resultado da eliminação de resíduos de outros componentes e (R6) Resultado final, correspondendo ao armário reconstruído.

critérios de retilidade, definidos na *Seção 3.4.2*, juntamente com a avaliação de coeficientes angulares, permite eliminar linhas que se constituem em limites de arruamento.

A avaliação de coeficientes angulares ocorre da seguinte forma: a partir de uma das extremidades de uma linha são traçados segmentos de reta imaginários a cada 5 pixels ao longo do comprimento da linha. Para cada linha traçada, é calculado seu coeficiente angular. Ao final do processo, a média aritmética dos coeficientes angulares das linhas traçadas é calculada. A partir desta média, o módulo de cada coeficiente é comparado individualmente com o valor da média. No caso de variação maior do que um parâmetro estabelecido para algum dos coeficientes, a linha é classificada como curva, de acordo com a *figura 5.11*.

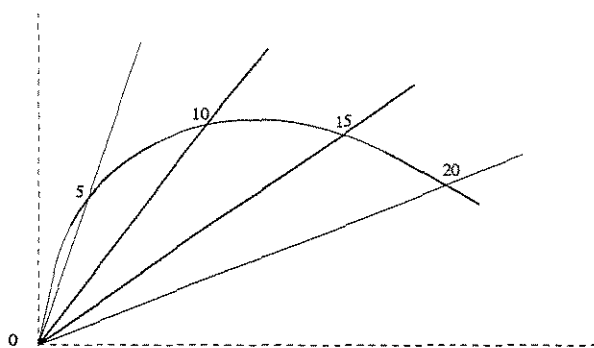


Figura 5.11: Exemplo de aplicação da avaliação de coeficientes angulares para uma linha classificada como curva. Os coeficientes sofrem uma grande variação ao longo da linha.

A aplicação destes critérios em conjunto gera uma imagem com algumas linhas correspondendo a limites de arruamento já eliminadas, permitindo a obtenção de resultados mais satisfatórios após a aplicação da segunda fase. A *figura 5.12* mostra o resultado obtido pela primeira fase em um trecho de mapa.

A segunda fase explora a diferença de espessura entre as linhas que permaneceram para classificá-las ou não como lances de cabos.

A partir da imagem obtida pela primeira fase, a aplicação de uma erosão não-direcional elimina as linhas mais finas, correspondendo aos limites de arruamento e desconectando os lances de cabos em alguns pontos. Através de uma dilatação geodésica, com a imagem obtida pela primeira fase como espaço de restrição, os lances de cabos são reconstruídos.

Alguns ruídos dos limites de arruamento que permaneceram após a aplicação da erosão são também reconstruídos. Estes ruídos são eliminados pela aplicação do algoritmo de rotação de pixels, a partir da imagem reconstruída afinada.

Com a eliminação dos ruídos, os lances de cabos são os únicos elementos restantes. Uma nova reconstrução restaura os cabos à sua espessura original, integralizando a segmentação deste tipo de componente.

A *equação 5.5* representa a segunda fase da segmentação de lances de cabos em mapas

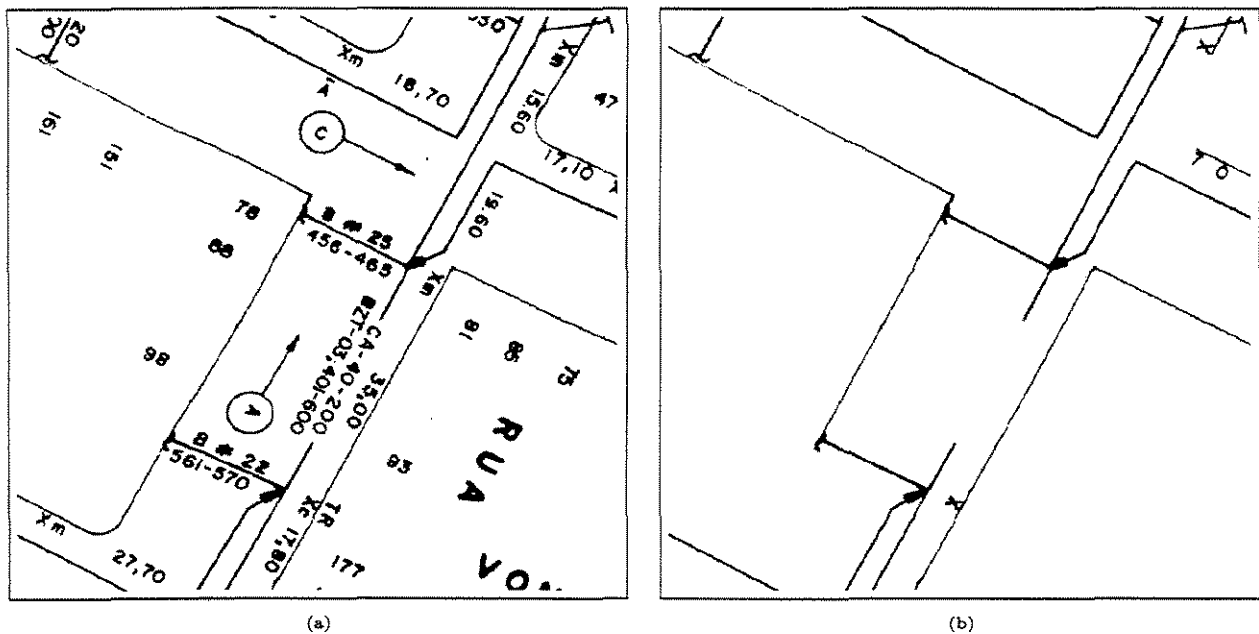


Figura 5.12: Eliminação de curvas através de critérios de retilindade e análise de coeficientes angulares. (a) Imagem original; (b) Resultado obtido após eliminação de curvas.

telefônicos.

$$f_{cabos} = D_{:f_{longos}}^{30} Del_{100}(Afin(D_{:f_{cabos_inicial}}^8(E(f_{cabos_inicial})))) \quad (5.5)$$

O resultado final da segmentação de lances de cabos, bem como os passos intermediários, estão representados nas figuras 5.13 e 5.14, de acordo com o esquema abaixo:

$$f_{cabos} = \underbrace{D_{:f_{longos}}^{30}}_{R1} Del_{100}(\underbrace{Afin}_{R4}(\underbrace{D_{:f_{cabos_inicial}}^8}_{R3}(\underbrace{E}_{R2}(\underbrace{f_{cabos_inicial}}_{R5})))) \underbrace{\hspace{10em}}_{R6} \underbrace{\hspace{10em}}_{R7}$$

5.6 Faces de Lote e Limites de Arruamento (f_{lotes})

Os limites de arruamento são constituídos por linhas correspondentes a faces, ruas, praças e outros elementos existentes em uma área urbana. Nos mapas, este componente apresenta-se como um conjunto de linhas longas de espessura menor do que os lances de cabos. Além disso, as linhas apresentam-se como curvas em alguns pontos, o que não ocorre com os

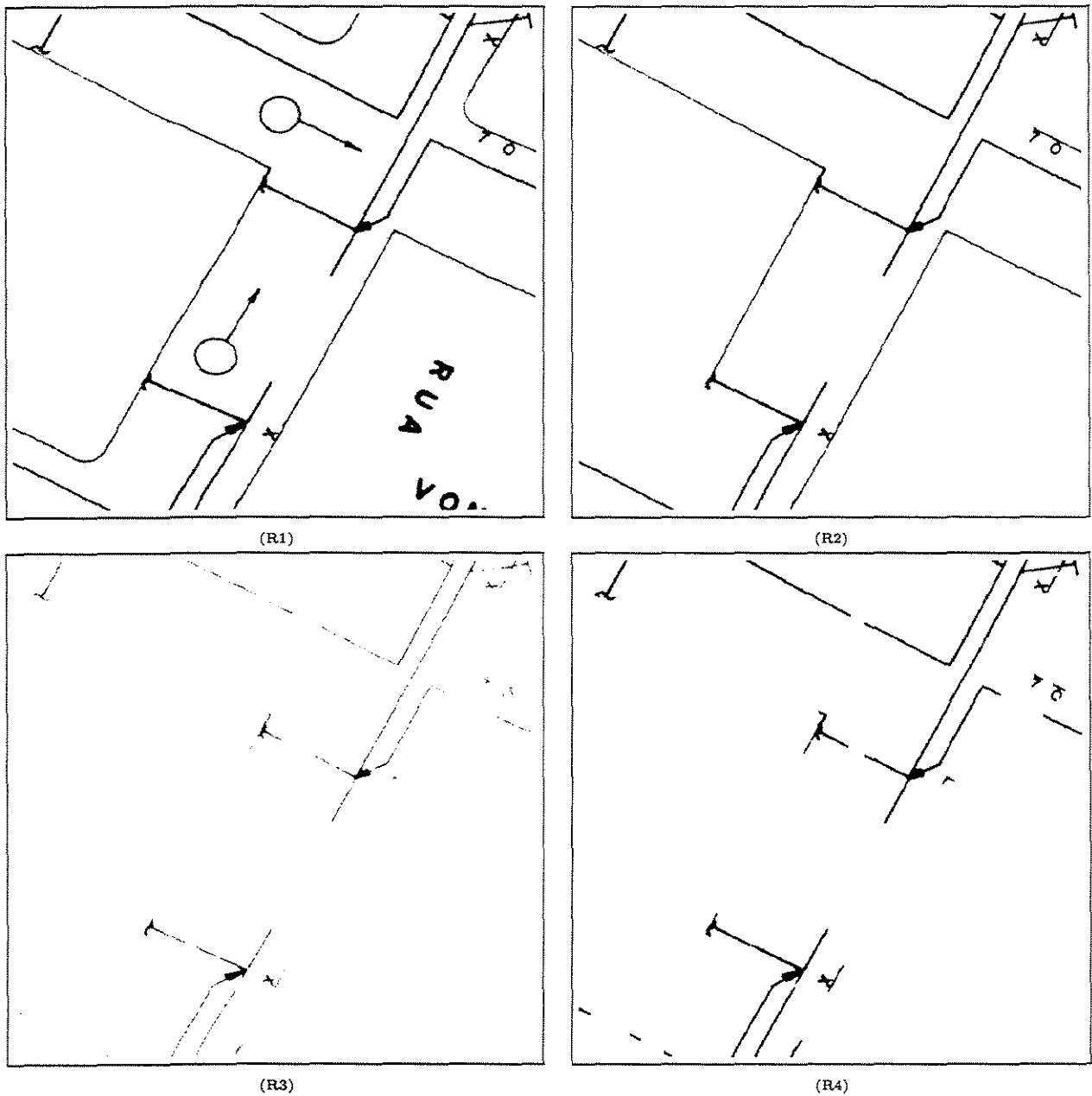


Figura 5.13: Resultados intermediários para a obtenção de lances de cabos. (R1) Imagem de componentes longos; (R2) Imagem obtida pela fase 1; (R3) Resultado da erosão e (R4) Resultado da reconstrução da imagem em (R3).

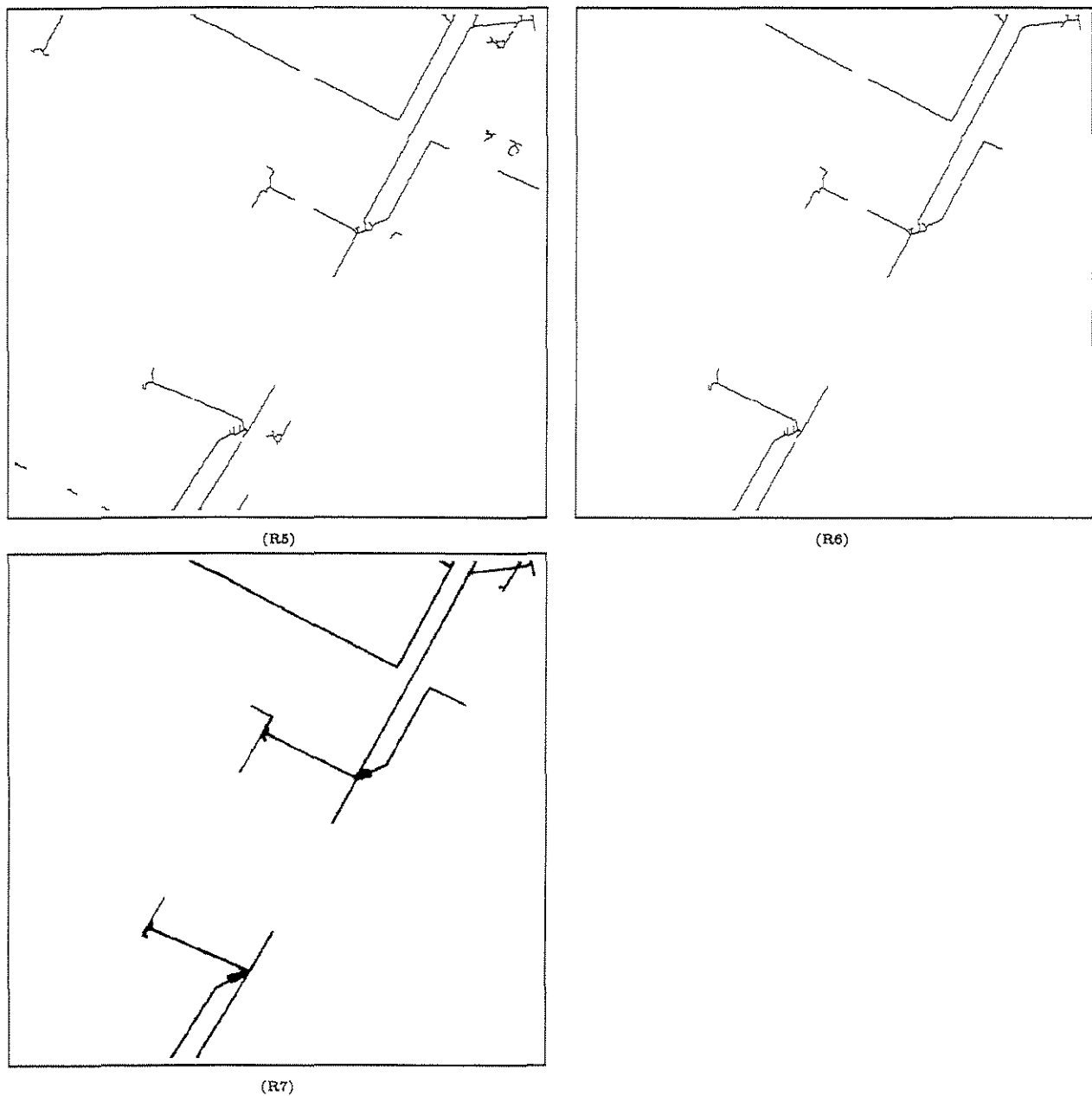


Figura 5.14: Resultados intermediários para a obtenção de lances de cabos. (R5) Afinamento da imagem reconstruída; (R6) Resultado da eliminação de resíduos de outros componentes e (R7) Resultado final, correspondendo aos lances de cabos reconstruídos.

lances de cabos, que se apresentam como um conjunto de segmentos de retas interligados (Figura 2.3).

A segmentação desse componente considera o reconhecimento prévio dos lances de cabos, resultando em um processo bastante simples.

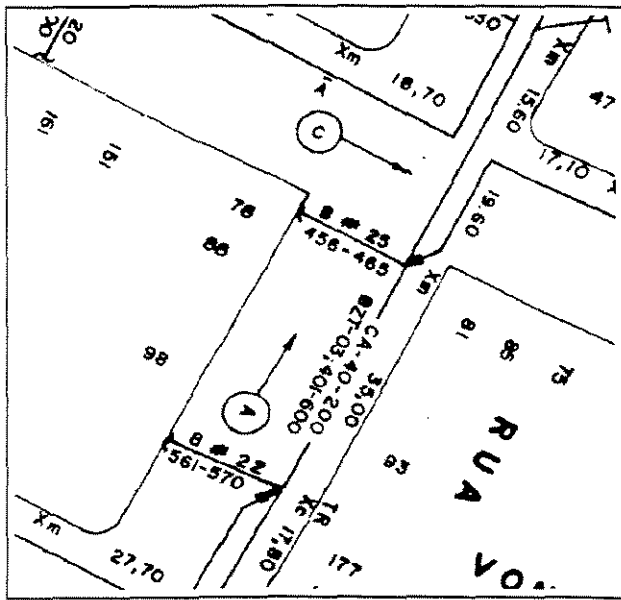
A partir da imagem original, a aplicação das funções já definidas segmenta seções de serviço, caracteres, armários, etc. As faces de lote são os únicos componentes que permanecem após essa segmentação.

A equação 5.6 representa a segmentação de faces de lote e limites de arruamento.

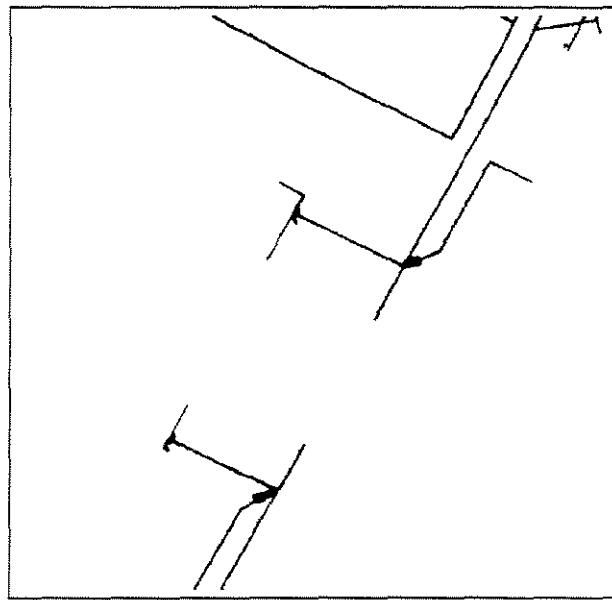
$$f_{lotes} = f \cap (\overbrace{f_{caracteres} \cup f_{demarcações} \cup f_{armários} \cup f_{caixas} \cup f_{cabos}}^{R5}) \quad (5.6)$$

As figuras 5.15 e figura 5.16 apresenta a obtenção de faces de lote para um trecho de mapa telefônico, de acordo com o esquema abaixo:

$$f_{lotes} = \underbrace{f}_{R1} \cap \underbrace{(f_{caracteres} \cup f_{demarcações} \cup f_{armários} \cup f_{caixas} \cup f_{cabos})}_{R4} \quad \overbrace{\hspace{10em}}^{R5}$$

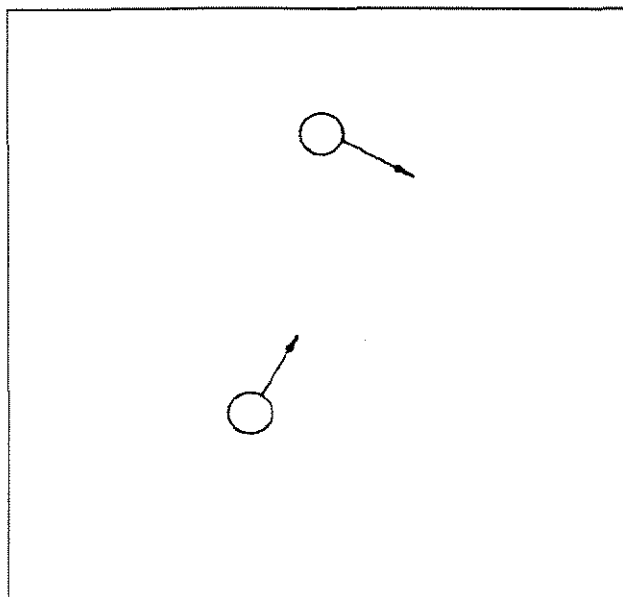


(R1)

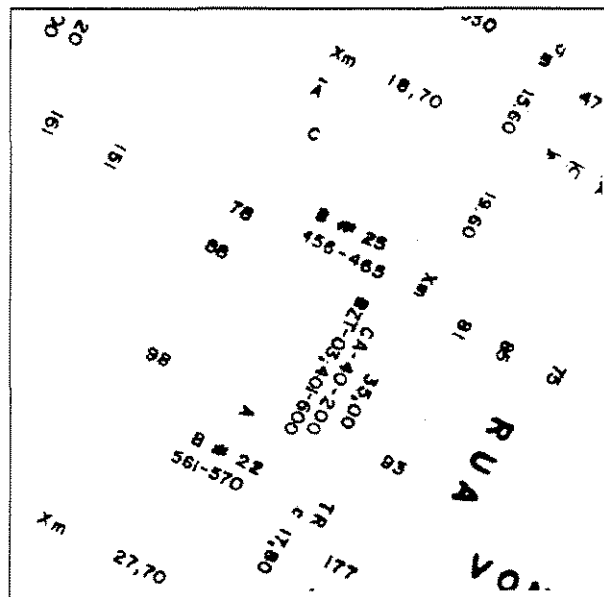


(R2)

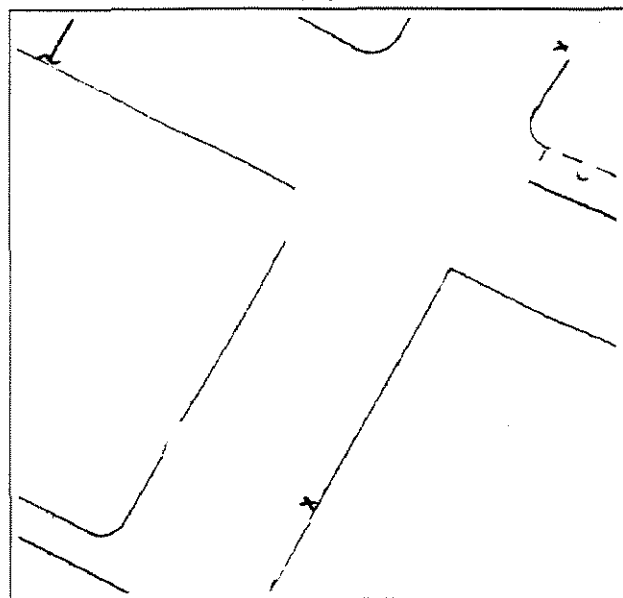
Figura 5.15: Resultados intermediários para a obtenção de faces de lotes. (R1) Imagem original e (R2) Lances de cabos.



(R3)



(R4)



(R5)

Figura 5.16: Resultados intermediários para a obtenção de faces de lotes. (R3) Caixas Subterrâneas e (R4) Caracteres e (R5) Resultado final, correspondendo às faces de lotes.

5.7 Caixas Prediais Internas ($f^{prediais}$)

As caixas internas prediais identificam a ligação de prédios à rede telefônica. Nos mapas, elas são representadas por um “X” ligado à extremidade de um lance de cabo (*Figura 2.3*). A segmentação deste componente considera as dimensões das pontas do caractere “X”.

Considere inicialmente a imagem obtida pela função f^{longos} , sem caracteres, armários e caixas subterrâneas, segmentados anteriormente. A aplicação da operação de afinamento reduz as linhas desta imagem à espessura de um pixel. Um algoritmo recursivo de varredura da imagem, que considera a imagem afinada como entrada, calcula o comprimento de seus segmentos a partir da identificação de suas extremidades, definidas como pontos de conexão diferente de 2. Os segmentos de comprimento maior do que um limiar estabelecido são eliminados da imagem. O algoritmo, descrito a seguir, continua sua execução até que nenhum segmento seja eliminado.

ALGORITMO F1

Início:

Enquanto houver segmentos de comprimento > 40 na imagem faça:

 Para cada pixel da imagem de conexão < 2 faça:

 Enquanto pixel lido tem conexão $= 2$ faça {

 Leia pixel;

 Calcule comprimento do segmento do qual ele faz parte;

 }

 Se comprimento do segmento > 40 então

 Apague o segmento recursivamente;

 }

Fim

A aplicação do algoritmo definido acima elimina os segmentos que não são candidatos a “ponta” da caixa predial. Entretanto, segmentos pequenos que não correspondem a caixas prediais permanecem na imagem, implicando na necessidade de uma nova filtragem para eliminação destes segmentos.

A segunda etapa da filtragem baseia-se na geometria do caractere “X”, correspondente à caixa predial. Devido a distorções ocasionadas pela digitalização dos mapas, o ponto central do caractere “X” pode apresentar-se de acordo com os padrões da *figura 5.17*:

Todas as possíveis representações apresentam pelo menos quatro pontos de conexão 1, correspondendo aos cantos de um quadrado, e um ou mais pontos de conexão maior ou igual a 3, no ponto de encontro das diagonais. Um segundo algoritmo de varredura identifica a presença destes pontos e elimina os componentes que não apresentam esta estrutura,

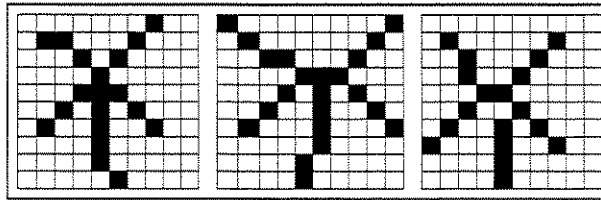


Figura 5.17: Possíveis representações de uma caixa terminal.

considerando a disposição dos pontos entre si. O algoritmo é executado até que todos os componentes tenham sido analisados. Uma descrição dos passos em alto nível é apresentada a seguir. $C(n)$ corresponde à conexidade de um ponto n da imagem.

ALGORITMO F2

Início:

Para cada componente da imagem faça:

Identifique os pontos p tais que $C(p)=1$;

Se número de pontos p tais que $C(p)=1 < 4$ então:

Apague recursivamente o componente;

Senão:

Identifique aglomerado de pontos q tais que $C(q) \geq 3$;

Se q não é centro do quadrado formado pelos pontos p de $C(p)=1$;

Apague recursivamente o componente;

Fim

Os componentes que permanecem após a aplicação do algoritmo F2 correspondem às caixas prediais, apresentando-se afinadas. A aplicação de uma reconstrução binária, tendo a imagem obtida pelas filtragens como marcador e a imagem de componentes longas como espaço de restrição, reconstrói as caixas prediais ao seu tamanho original, finalizando a segmentação.

A equação 5.7 representa o processo de segmentação:

$$f^{prediais} = D_{f^{longos}}^{10}(F2(F1_{40}(Afin(f^{longos} \cap (\overline{f^{caracteres} \cup f^{armários} \cup f^{demarcações} \cup f^{caixas})))))) \quad (5.7)$$

Os resultados parciais, correspondentes à segmentação de caixas prediais podem ser visualizados nas figuras 5.18 e 5.19, de acordo com o esquema abaixo:

$$f^{predial} = D_{:f^{longos}}^{10} (F2(F1_{40}(Afin(\underbrace{f^{longos}}_{R1} \cap (\underbrace{f^{caracteres}}_{R2} \cup \underbrace{f^{armários}}_{R3} \cup \underbrace{f^{demarcações}}_{R4} \cup \underbrace{f^{caixas}}_{R5}))))))$$

5.8 Caixa Terminal ($f^{terminais}$)

As caixas terminais são componentes identificados por um \sim (til) na extremidade de um lance de cabo (*Figura 2.3*). O seu processo de segmentação é semelhante ao utilizado para caixas prediais, considerando ainda a segmentação prévia deste componente.

Considere a aplicação de um afinamento sobre a imagem obtida pela função f^{longos} , sem caracteres, armários, caixas subterrâneas e caixas prediais. O procedimento para segmentação das caixas terminais considera uma filtragem em dois passos, assim como na segmentação de caixas prediais.

No primeiro passo, o algoritmo de varredura (F1) utilizado para a identificação inicial de caixas prediais é reaplicado, eliminando todos os segmentos maiores do que o parâmetro estabelecido.

O segundo passo baseia-se na geometria da caixa terminal, que após a aplicação do algoritmo F1 pode apresentar-se de duas formas:

1. No primeiro caso, a caixa terminal é definida como um segmento imaginário com dois pontos de conexidade 1 em suas extremidades, interceptado por um outro segmento, linear, formando um ponto de conexidade 3, no seu ponto médio, de acordo com a *figura 5.20*.
2. No segundo caso, devido à aplicação do algoritmo F1, o segmento que compõe a base pode ter sido eliminado, restando um segmento em formato de til, com dois pontos de conexidade 1 na extremidade.

Com base nestas características, o algoritmo F3 elimina todos os componentes que permaneceram após a aplicação do algoritmo F1, que não apresentem as duas possíveis representações de uma caixa terminal. O procedimento é descrito a seguir em forma de algoritmo em alto nível:

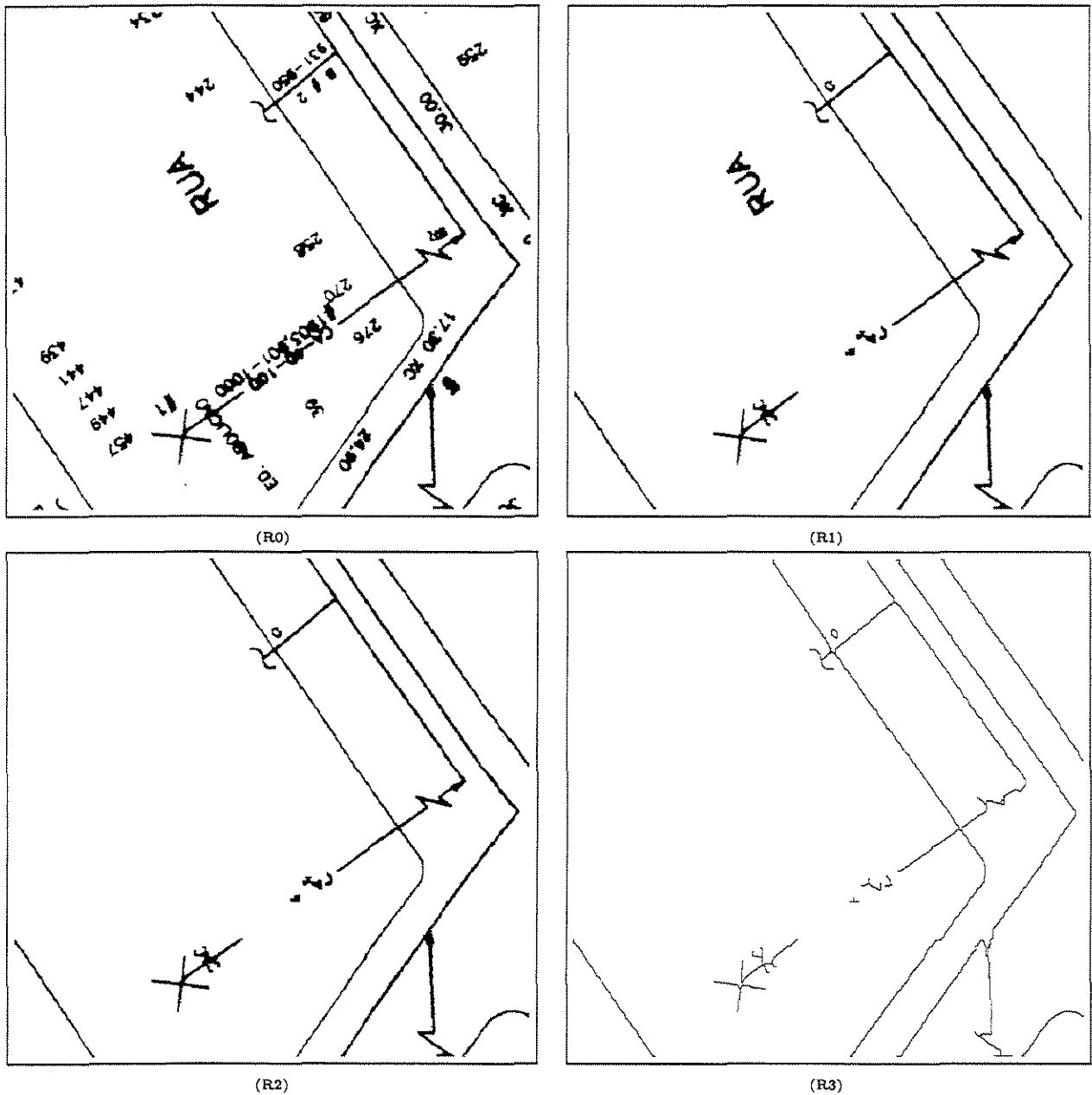


Figura 5.18: Resultados intermediários para a obtenção de caixas prediais. (R0) Imagem original; (R1) Imagem de componentes longos; (R2) Imagem em (R1), sem outros componentes e (R3) Imagem em (R2) afinada.

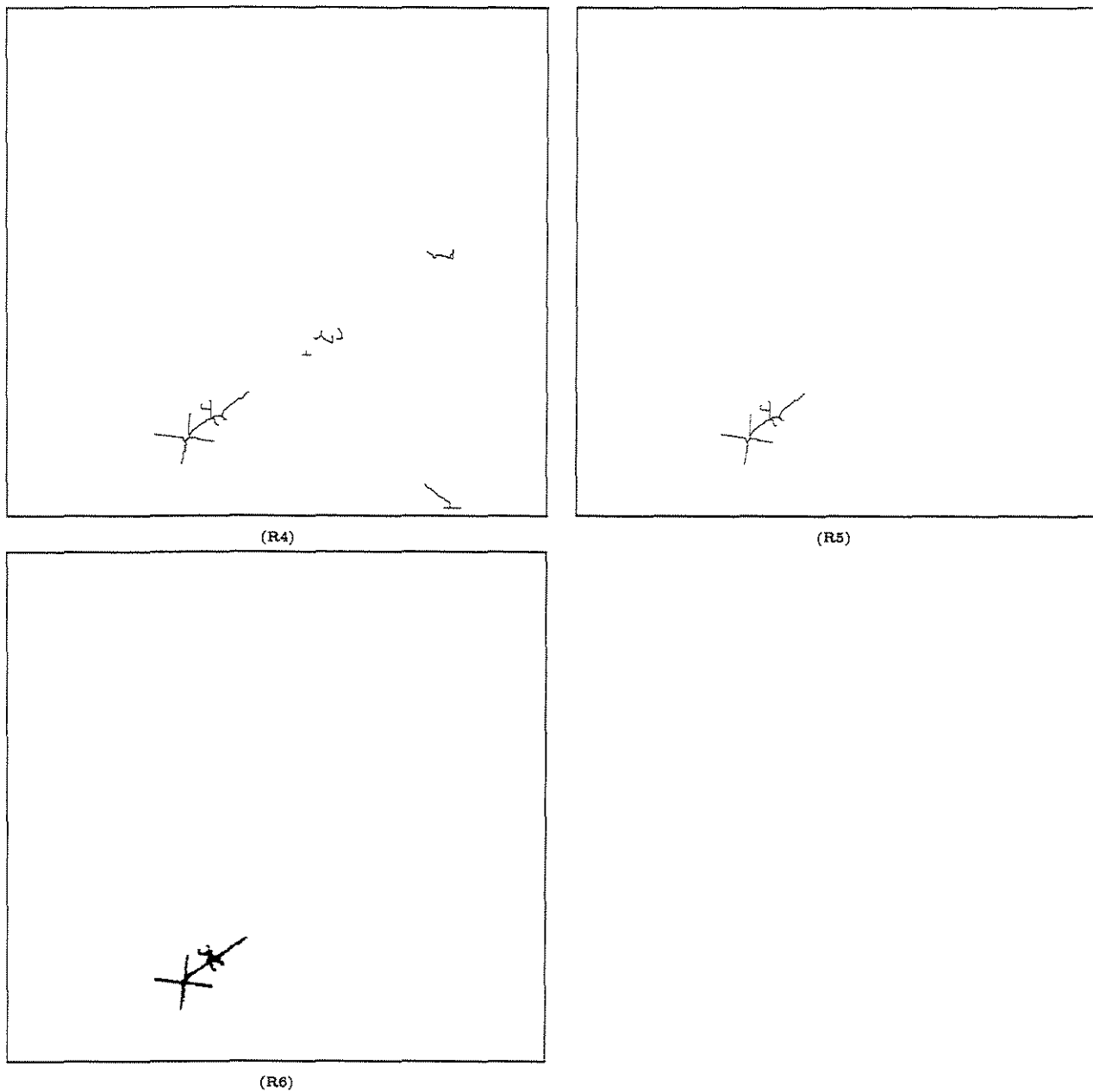


Figura 5.19: Resultados intermediários para a obtenção de caixas prediais. (R4) Resultado obtido pela primeira filtragem; (R5) Resultado obtido pela segunda filtragem; (R6) Resultado da reconstrução da imagem em (R5), correspondendo às caixas prediais.

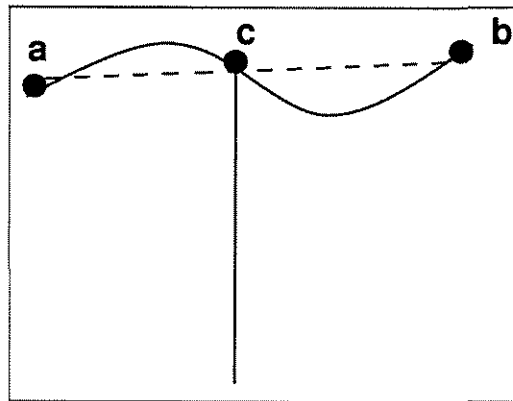


Figura 5.20: Exemplo da geometria de uma caixa terminal: c corresponde ao ponto médio do segmento imaginário formado por a e b .

ALGORITMO F3

Início:

Para cada componente da imagem faça:

Identifique os pontos p tais que $C(p)=1$;

Se número de pontos p tais que $C(p)=1 < 2$ ou > 3 então:

Apague recursivamente o componente;

Senão Se existe ponto q tal que $C(q)=3$

q é ponto médio do segmento formado pelos pontos p ?

Caso seja \rightarrow caixa terminal identificada;

Caso contrário \rightarrow apague recursivamente o componente;

Se não existe tal ponto

O segmento corresponde a uma curva com duas concavidades?

Caso corresponda \rightarrow caixa terminal identificada;

Caso contrário \rightarrow apague recursivamente o componente;

Fim

Após a aplicação deste segundo algoritmo (F3), os componentes que permaneceram correspondem às caixas terminais, apresentando-se, entretanto, afinados. A aplicação de uma dilatação geodésica a partir do resultado da filtragem, tendo a imagem de componentes longos como espaço de restrição, reconstrói as caixas terminais.

A equação 5.8 representa o processo de segmentação:

$$f_{\text{terminais}} = D_{f_{\text{longos}}}^{10}(F3(F1_{40}(Afin(f_{\text{longos}} \cap (\overline{f_{\text{caracteres}}} \cup \overline{f_{\text{armários}}} \cup \overline{f_{\text{caixas}}} \cup \overline{f_{\text{prediais}}}))))) \quad (5.8)$$

Os resultados parciais, correspondentes à segmentação de caixas prediais podem ser visualizados nas *figuras 5.21 e 5.22*, de acordo com o esquema abaixo:

$$\begin{array}{c}
 \overbrace{\hspace{15em}}^{R6} \\
 \overbrace{\hspace{12em}}^{R5} \\
 \overbrace{\hspace{10em}}^{R4} \\
 f^{terminais} = D_{:f_{longos}}^{10}(F3(F1_{40}(Afin(\underbrace{f_{longos}}_{R1} \cap (\overbrace{f_{caracteres} \cup f_{armários} \cup f_{caixas} \cup f_{prediais}}_{R2})))))) \\
 \underbrace{\hspace{10em}}_{R3}
 \end{array}$$

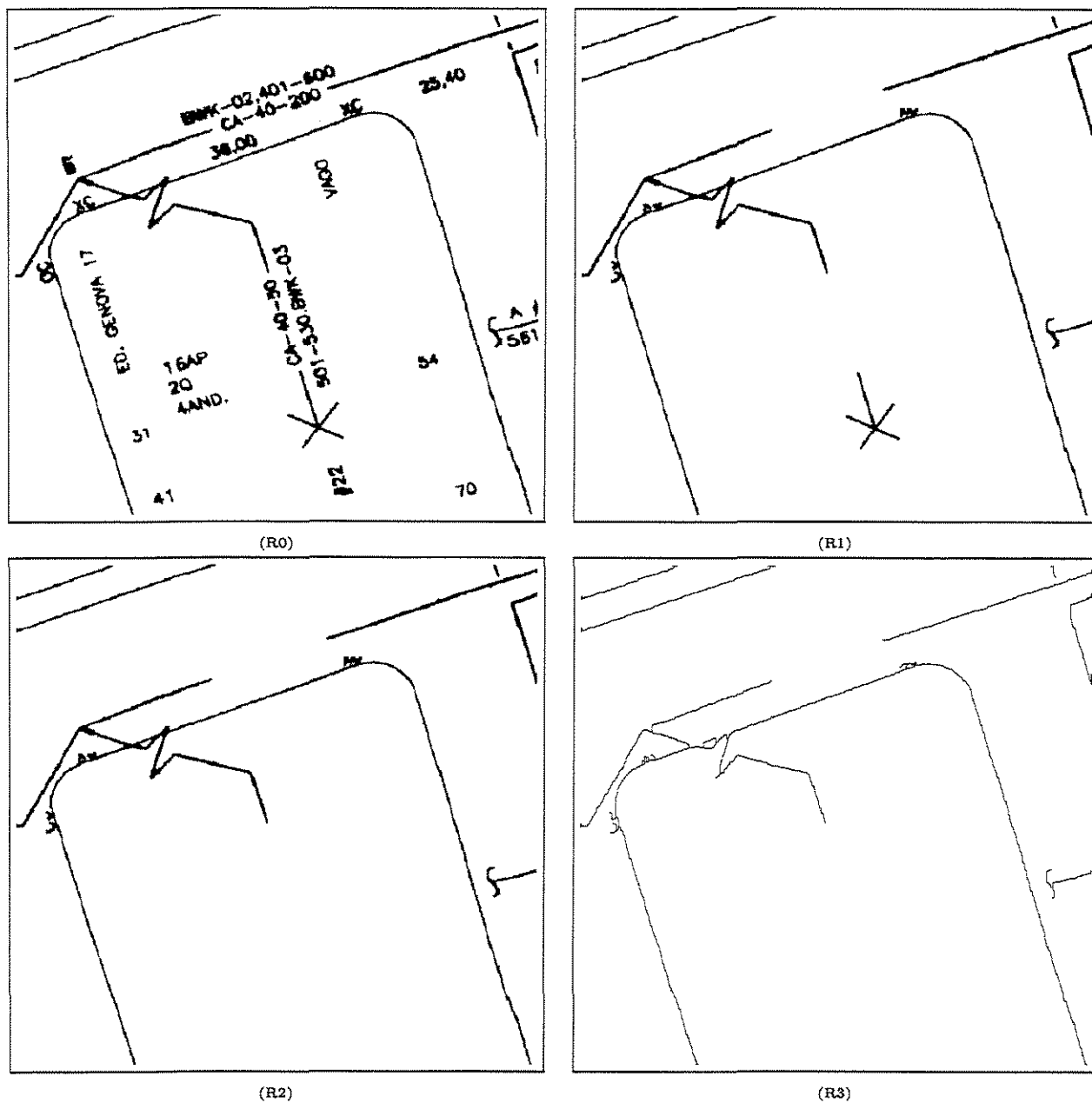


Figura 5.21: Resultados intermediários para a obtenção de caixas terminais. (R0) Imagem original; (R1) Imagem de componentes longos; (R2) Imagem em (R1), sem outros componentes e (R3) Imagem em (R2) afinada.

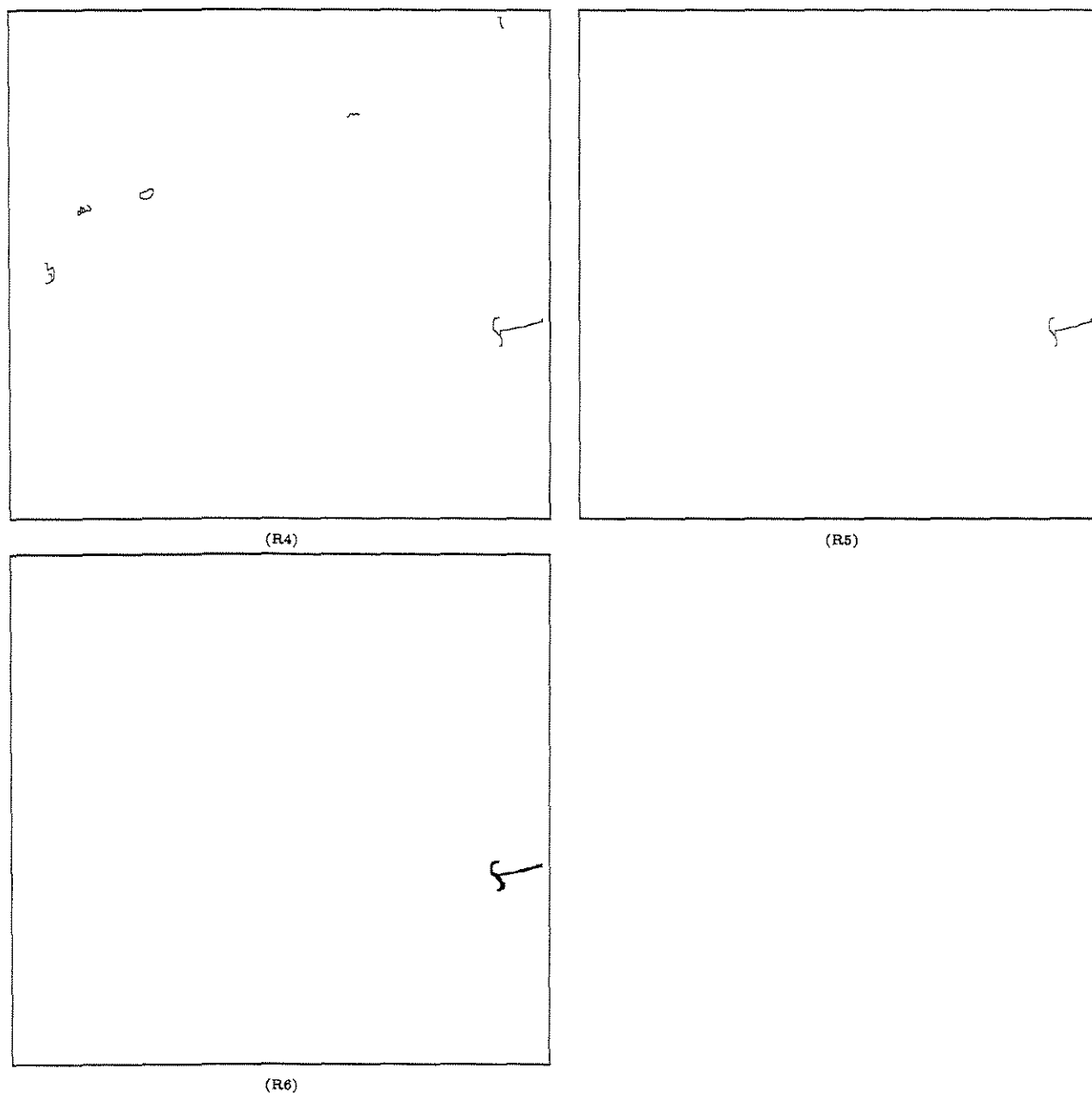


Figura 5.22: Resultados intermediários para a obtenção de caixas terminais. (R4) Resultado obtido pela primeira filtragem; (R5) Resultado obtido pela segunda filtragem; (R6) Resultado da reconstrução da imagem em (R5), correspondendo às caixas terminais.

Capítulo 6

Conclusões

6.1 Contribuições

Os mapas telefônicos são ferramentas de grande importância na automatização de atividades de uma empresa de telecomunicações. A elaboração ágil e precisa de bases de dados a partir dos mapas é fundamental para o sucesso de um sistema de operação. Neste contexto, surge a necessidade de desenvolvimento de um sistema de reconhecimento e identificação de símbolos existentes em um mapa correspondendo a uma determinada área urbana.

O objetivo do presente trabalho foi desenvolver um conjunto de funções responsáveis pela segmentação e reconhecimento de alguns símbolos existentes em mapas telefônicos, a partir de sua captura via scanner, para o abastecimento de bases de dados de grande porte.

Os componentes encontrados nos mapas correspondem a padrões com características próprias. As funções de segmentação foram definidas a partir da análise das características geométricas e topológicas que constituem cada padrão possibilitando o seu reconhecimento.

A metodologia empregada baseou-se nas operações da Morfologia Matemática, teoria que utiliza os conceitos de conjuntos para identificar propriedades que caracterizam unicamente um símbolo.

O conjunto de funções ora apresentado cobre a segmentação dos componentes propostos no objetivo da pesquisa. As funções foram desenvolvidas na linguagem C++, no sistema operacional Unix. Embora sejam independentes, as funções devem ser empregadas na seqüência apresentada, estabelecendo uma relação de dependência entre componentes durante o processo de segmentação.

Sabe-se que algoritmos de processamento de imagens são às vezes dispendiosos em tempo computacional, devido ao número de iterações de operações de leitura de uma matriz de imagem necessárias a uma aplicação específica. A análise da complexidade das funções definidas neste trabalho concluiu que o tempo de execução das operações, apesar de dependente do tipo de processador utilizado, é razoável dentro do universo de aplicações de segmentação de

imagens.

6.2 Limitações e Extensões ao Trabalho

O resultado deste trabalho foi um conjunto de funções capaz de identificar eficazmente símbolos presentes em mapas telefônicos fornecidos pela Fundação CPqD. No entanto, em se tratando de um tema extenso, algumas atividades podem ser melhoradas: as funções definidas e associadas a novas informações geométricas podem ser refinadas e funções para a identificação de novos símbolos podem ser acrescentadas ao conjunto atual.

Os critérios utilizados para a identificação de cada um dos componentes foram implementados deterministicamente e amplamente testados. Entretanto, todas as funções consideram os mapas de entrada desenhados em uma escala específica. As implicações da mudança de escala dos mapas deve ser estudada e sua relações com os parâmetros atuais utilizados devem ser identificadas, tornando o conjunto de funções mais flexível.

Outra possível extensão, que requer estudos à parte, concerne o reconhecimento de caracteres (OCR). Como exemplo, nos mapas telefônicos, um “X” acompanhado por um “c” ou “m” subscrito identifica um poste. Outras características correspondendo a material e comprimento de cabos também poderiam ser identificadas através do reconhecimento automático de caracteres.

Apêndice A

Afinamento por Zhang-Suen

A.1 Introdução

O afinamento por Zhang-Suen [22], como qualquer método iterativo, baseia-se na eliminação repetida de camadas de pontos sem alterar as características estruturais da imagem, até que não seja possível a eliminação de nenhum outro ponto. A eliminação é conduzida de acordo com regras de exclusão. Tais regras consideram atributos como pontos de extremidade, máscaras de exclusão e conectividade dos pontos da imagem.

A cada iteração, os pontos que satisfazem as regras de exclusão são eliminados. Um ponto é removido se e somente se não mudar a conectividade da imagem.

O método de Zhang-Suen analisa a vizinhança dos pontos a cada iteração, identificando sua conectividade e a quantidade e disposição de seus vizinhos dentro da vizinhança. Em uma vizinhança 3x3, o número de vizinhos varia de 0 a 8.

A conectividade de um ponto permite identificar quais são os pontos de interseção e pode ser definida, a grosso modo, como o número de objetos que o ponto conecta. A conectividade de um ponto pode ser calculada utilizando a sua vizinhança 3x3 8-conectada [9], de acordo com a *figura A.1*.

N_2	N_3	N_4
N_1	N_0	N_5
N_8	N_7	N_6

Figura A.1: Vizinhança 3x3 8 – conectada de um ponto com seus vizinhos.

Considere uma varredura dos vizinhos na ordem $N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6, N_7$ e N_8 , nesta ordem. O número de vezes em que ocorre uma transição preto-branco na varredura

corresponde ao número de objetos que o ponto central da vizinhança conecta, ou seja, a sua conectividade.

A partir do cálculo da conectividade de um ponto, como na *figura A.2*, pode-se dizer qual a função do ponto na imagem. Por exemplo, um ponto de conectividade maior que dois é identificado como sendo um ponto de interseção. Um ponto de conectividade dois é classificado como ponto intermediário de uma linha. E no caso de conectividade um, trata-se de um ponto de extremidade de uma linha.

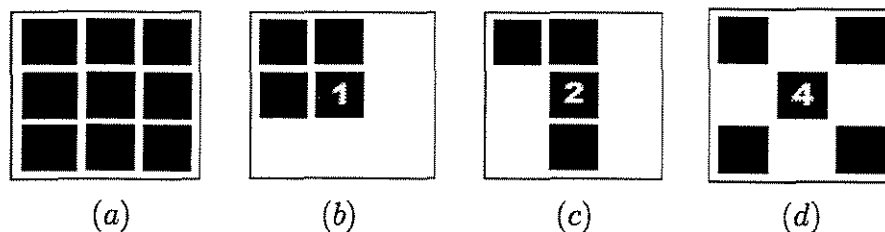


Figura A.2: Vizinhança 3x3 com exemplos de conectividades. Em (b), o ponto central possui conectividade 1. Em (c) e (d), a conectividade é 2 e 4, respectivamente.

O método de Zhang-Suen preserva os pontos de extremidade e intermediários e é executado em dois passos. No primeiro, são eliminados os pontos da margem sul-leste e do canto norte-oeste. No segundo, é a vez dos pontos da margem norte-oeste e do canto sul-leste. Para cada um dos dois passos, o ponto será excluído se, e somente se, satisfizer algumas condições.

Para o primeiro passo, as condições para exclusão de um ponto são:

1. $2 \leq V(N_0) \leq 6$;
2. $C(N_0) = 1$
3. $N_1 * N_3 * N_5 = 0$
4. $N_3 * N_5 * N_7 = 0$

Onde $C(N_0)$ é o número de conectividade e $B(N_0)$ o número de vizinhos de N_0 . A condição (1) garante que os pontos finais do esqueleto são preservados. A condição (2) impede a eliminação de pontos intermediários de uma linha. E as condições (3) e (4) são as responsáveis pela eliminação dos pontos pertencentes à borda sul-leste e ao canto norte-oeste que não fazem parte do esqueleto.

No segundo passo, as condições (1), (2) e (4) permanecem as mesmas. A condição (3) é substituída para permitir a eliminação dos pontos da margem norte-oeste e do canto sul-leste:

1. $2 \leq V(N_0) \leq 6$;
2. $C(N_0) = 1$

$$3. N_1 * N_3 * N_7 = 0$$

$$4. N_3 * N_5 * N_7 = 0$$

A aplicação do método de afinamento de Zhang-Suen gera resultados com poucas distorções, como pode ser visto na *figura A.3*.

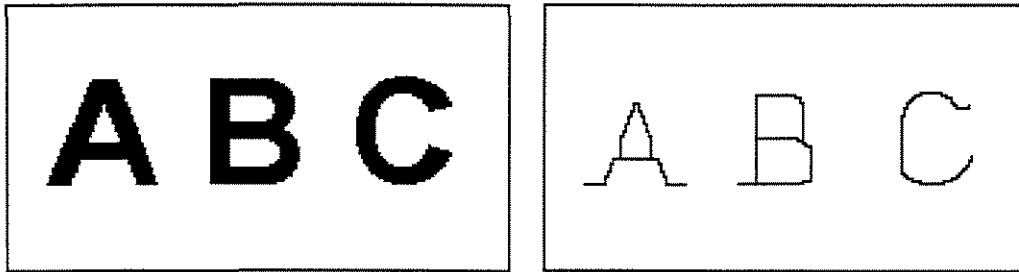


Figura A.3: Afinamento de uma imagem binária pelo método de Zhang-Suen.

A.2 Distorções no Afinamento

Em alguns tipos de imagens, o resultado do afinamento apresenta distorções decorrentes de características estruturais dos objetos presentes na imagem. Esse problema acontece porque a análise das condições de exclusão ocorre no nível de cada pixel isoladamente. Em decorrência disso, alguns objetos depois de afinados perdem características específicas que são fundamentais para o processo de segmentação.

Alguns principais tipos de distorções ocorrem, por exemplo, devido a um afinamento excessivo onde duas linhas espessas cruzam-se, ou a alguma irregularidade de maior proporção na borda de um objeto.

As distorções que ocorrem com mais frequência nos mapas telefônicos são:

- **necking:** Ocorre no cruzamento de linhas em forma de “X”, criando um segmento, onde deveria haver um único ponto de interseção.
- **tailing:** Ocorre quando duas linhas unem-se nas extremidades. O resultado do afinamento gera um “Y”, onde deveria ser gerado um “V”.
- **spurious projection:** Ocorre quando há irregularidades intensas na borda de um objeto, causando a criação de uma ramificação na imagem afinada.

A *figura A.4* mostra os tipos de distorções descritos acima.

No processo de segmentação de mapas telefônicos, é essencial que as características estruturais dos componentes dos mapas sejam preservadas. A aplicação de métodos de suavização

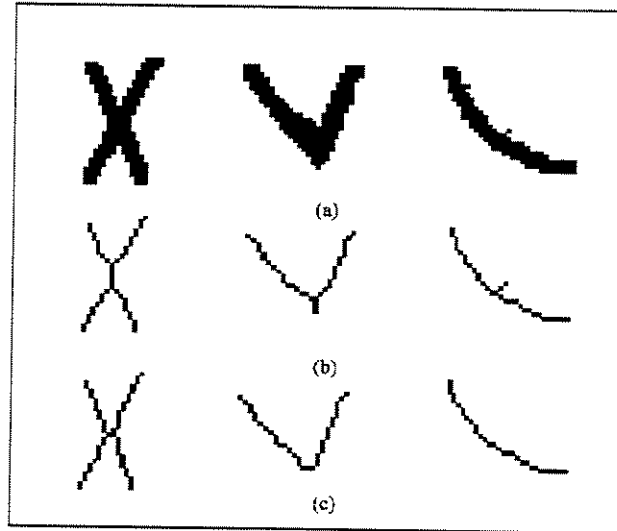


Figura A.4: Exemplos de distorções geradas pelo afinamento. (a) Objetos binarizados; (b) Distorções geradas nesta ordem: *necking*, *tailing* e *spurious projection*; (c) Resultados gerados após processamento de suavização.

resolve os problemas mais comumente encontrados e resultados do afinamento que preservam a estrutura original dos objetos são obtidos, de acordo com os resultados da *figura A.4*.

A etapa de suavização para evitar a ocorrência de projeções falsas (*spurious projections*) consiste em eliminar pontos da imagem que têm dois ou menos vizinhos ($B(N_0) \leq 2$) e número de conexidade menor do que dois ($C(N_0) < 2$).

No caso de distorções geradas no cruzamento de linhas (*necking* e *tailing*), outro método de suavização é utilizado. Este método consiste na aplicação de uma a três iterações, onde os pontos da imagem são testados com máscaras de dois grupos, citadas abaixo:

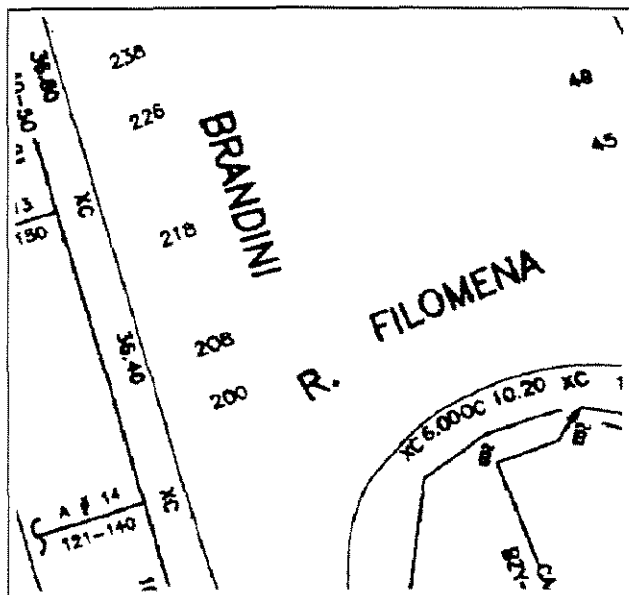
$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ * & 1 & 1 & 1 & * \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ * & 1 & 1 & 1 & * \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ * & 1 & 1 & 1 & * \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ * & 1 & 1 & 1 & * \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ * & 1 & 1 & 1 & * \end{bmatrix}$
D1	D2	D3	D4	D5
$\begin{bmatrix} * & 1 & 1 & 1 & * \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} * & 1 & 1 & 1 & * \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} * & 1 & 1 & 1 & * \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} * & 1 & 1 & 1 & * \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} * & 1 & 1 & 1 & * \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$
U1	U2	U3	U4	U5

Este teste corresponde ao deslocamento de cada uma das máscaras sobre a imagem, como ocorre na transformação morfológica HMT, originando uma nova imagem, ou conjunto, sem as distorções apresentadas inicialmente.

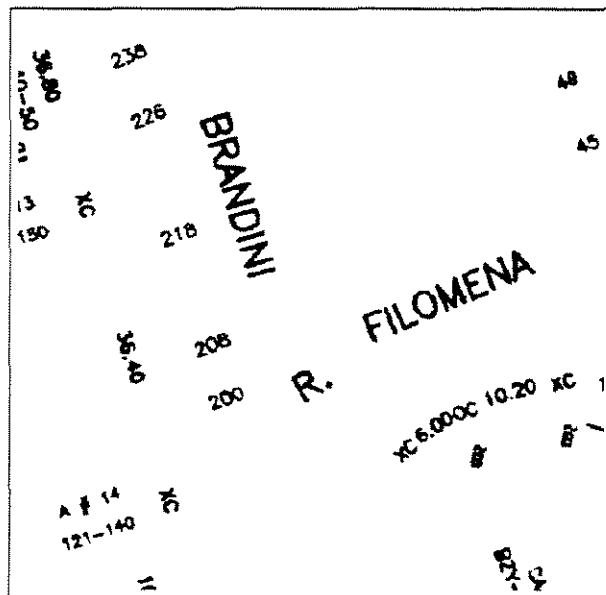
Quando um ponto da imagem casa com alguma máscara, ele é apagado. Se durante a primeira iteração algum ponto for apagado, uma segunda iteração, mais suave, é aplicada, onde cada ponto da imagem é comparado com as três primeiras máscaras de cada tipo. Se novamente algum ponto for excluído, a terceira e última iteração é aplicada, comparando-se os pontos da imagem com a primeira máscara de cada tipo.

As fases de suavização, utilizando as máscaras acima, eliminam os pontos próximos às junções de linhas, enfatizando os ângulos agudos.

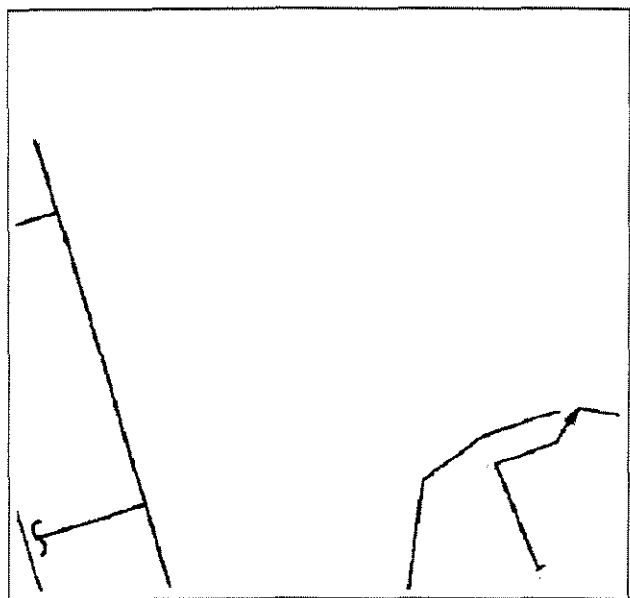
A aplicação das técnicas de suavização apresentadas não resolve todos os problemas de distorção de afinamento. Entretanto, para o caso de imagens de mapas telefônicos, os resultados obtidos para o afinamento, após a aplicação desses métodos, conseguem manter as características estruturais dos componentes presentes nos mapas.



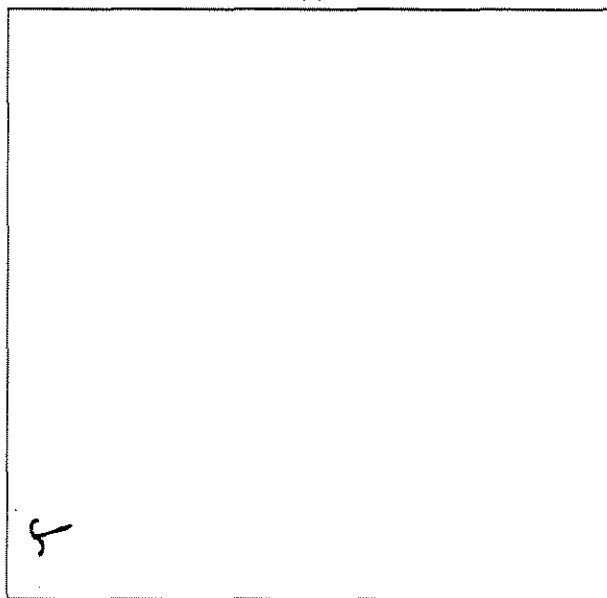
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura B.2: Amostra 2. (a) Imagem original; (b) Caracteres; (c) Lances de cabos e (d) Caixas terminais.

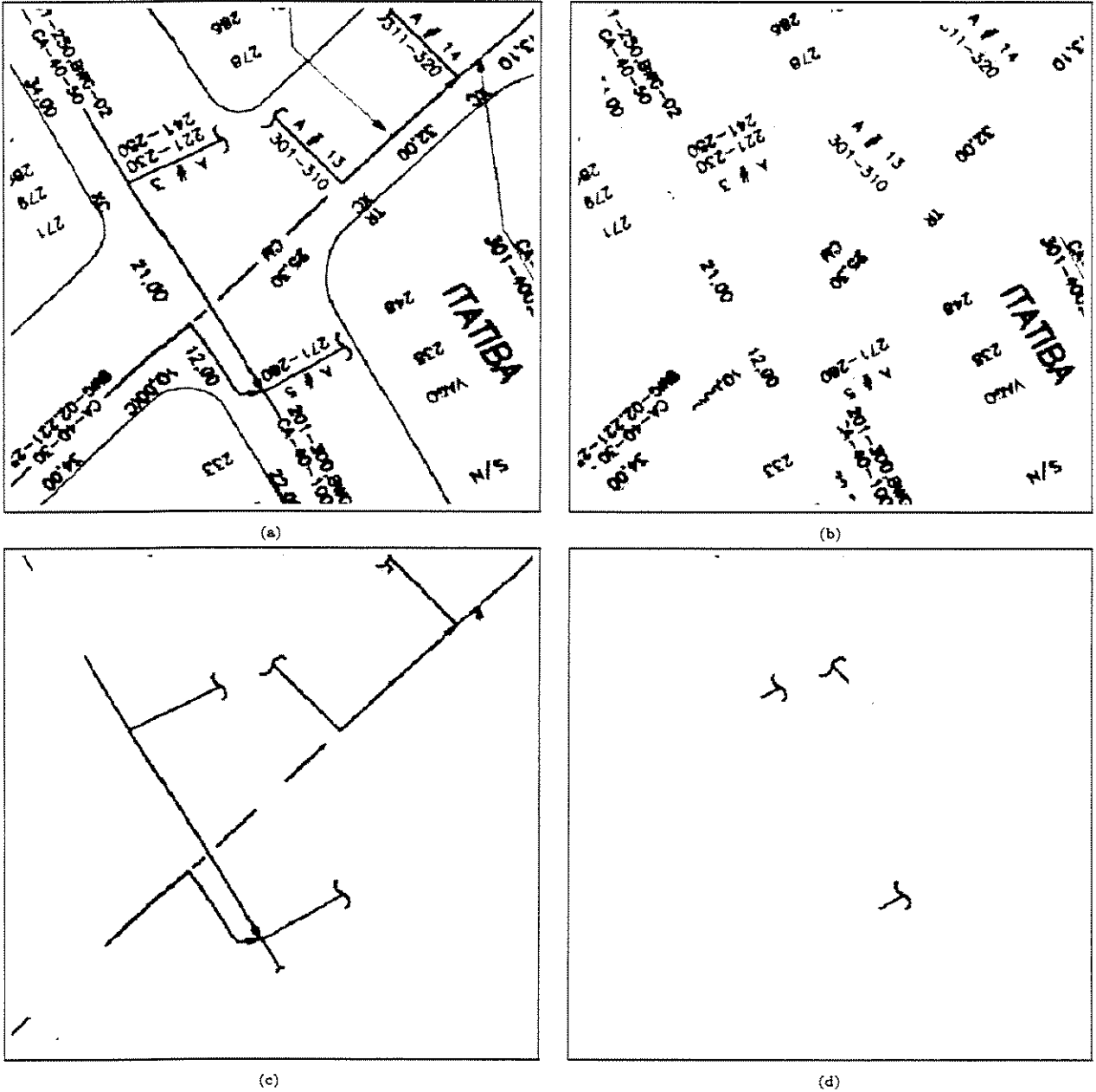
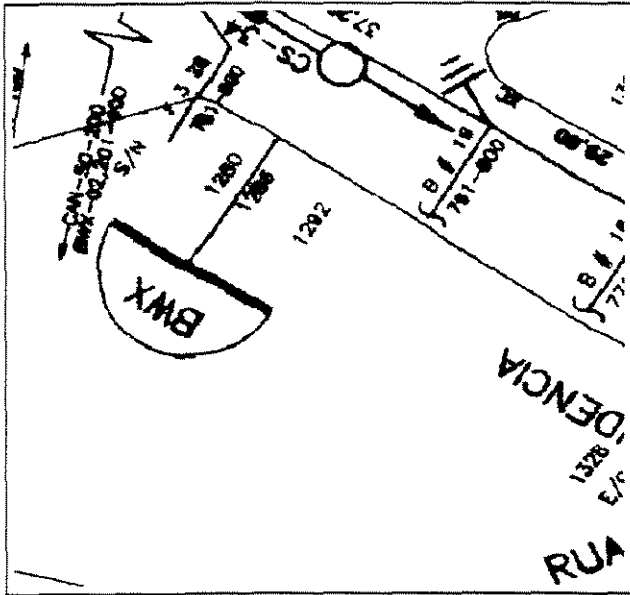
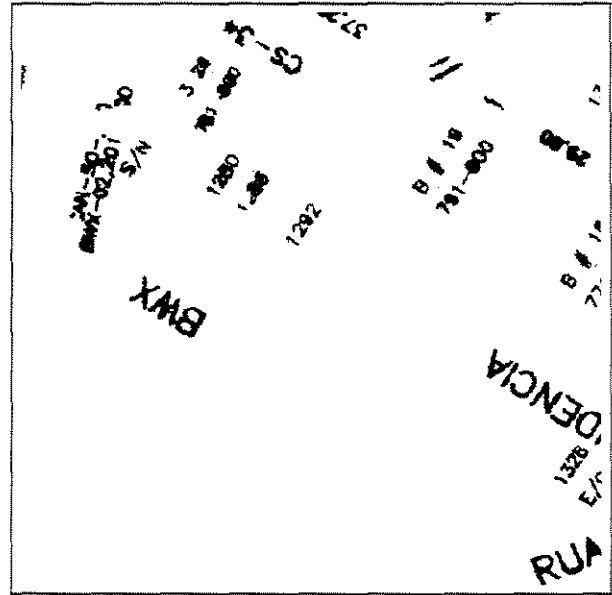


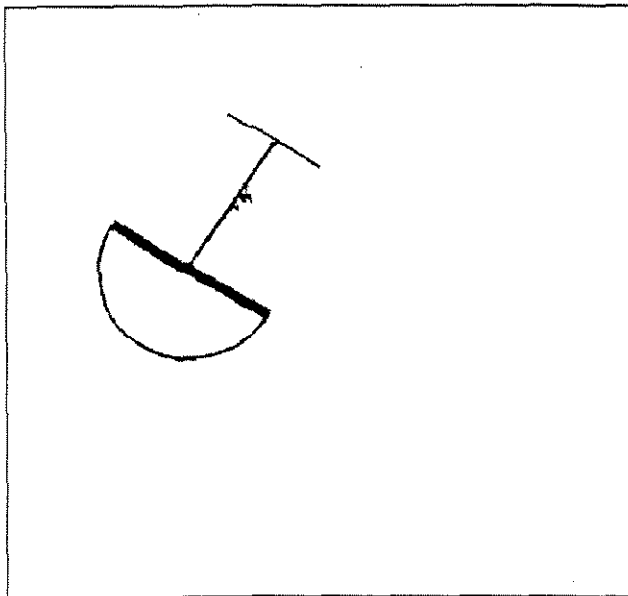
Figura B.3: Amostra 3. (a) Imagem original; (b) Caracteres; (c) Lances de cabos e (d) Caixas terminais.



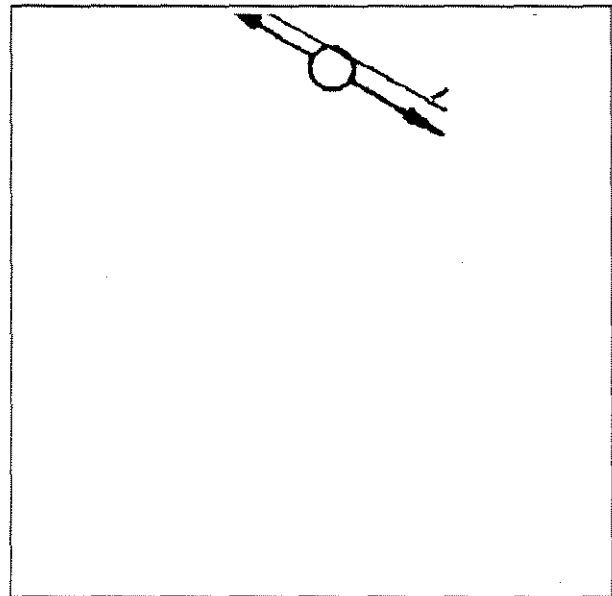
(a)



(b)

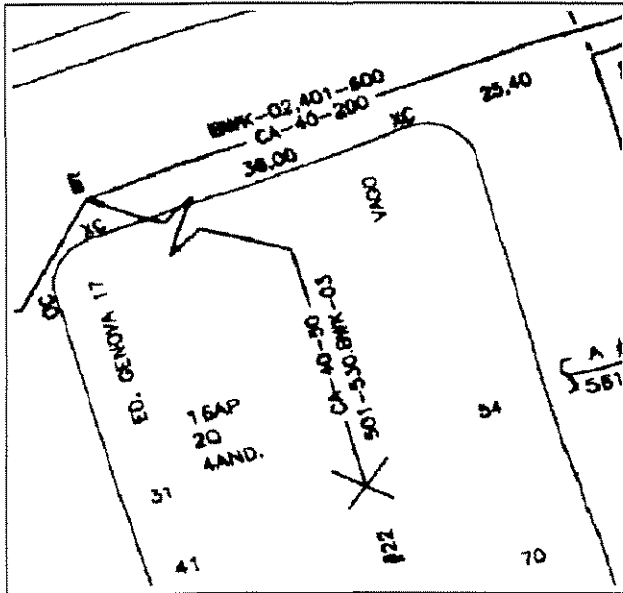


(c)

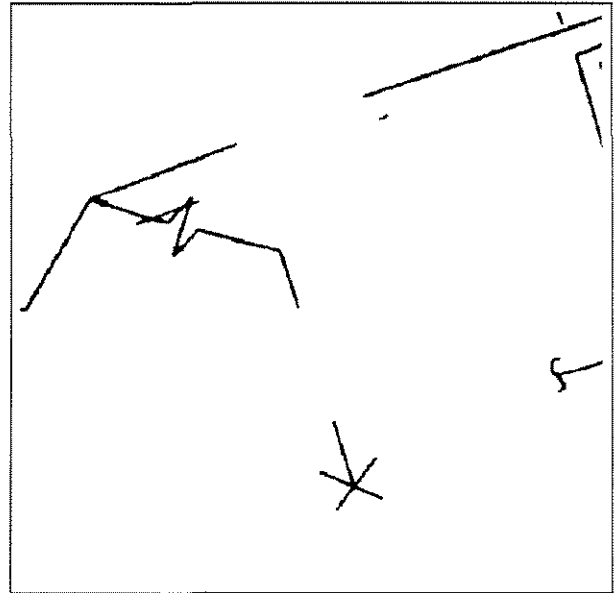


(d)

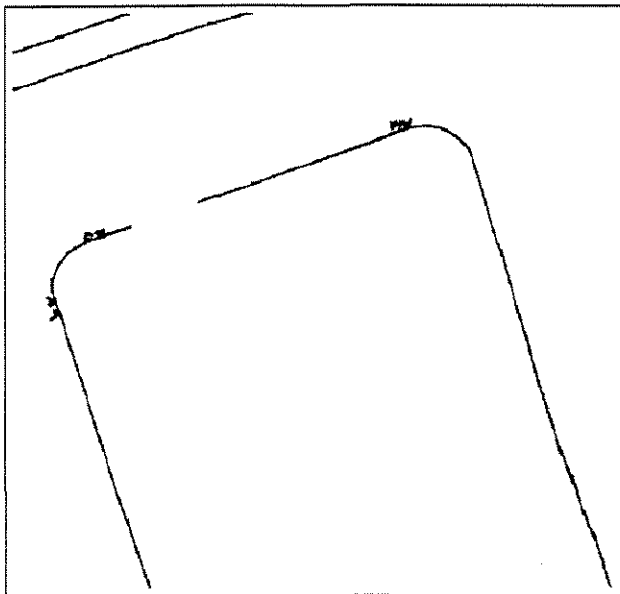
Figura B.4: Amostra 4. (a) Imagem original; (b) Caracteres; (c) Armários de distribuição e (d) Caixas subterrâneas.



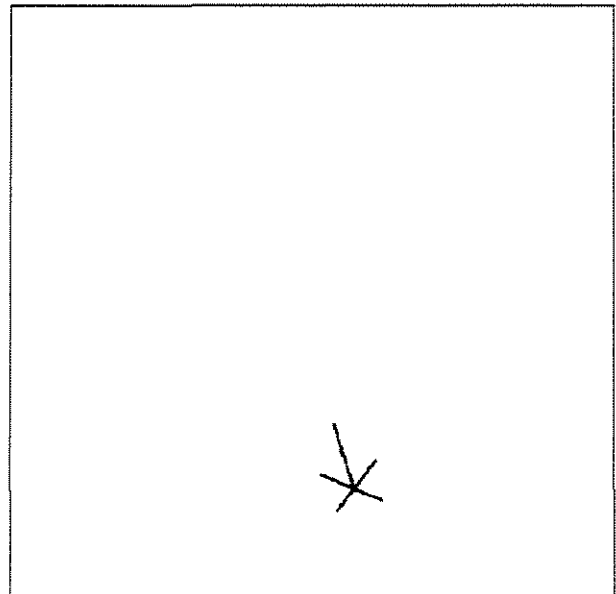
(a)



(b)

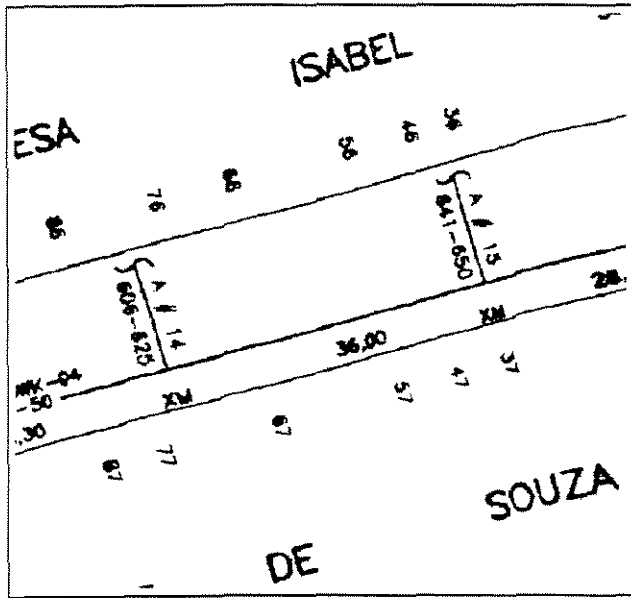


(c)

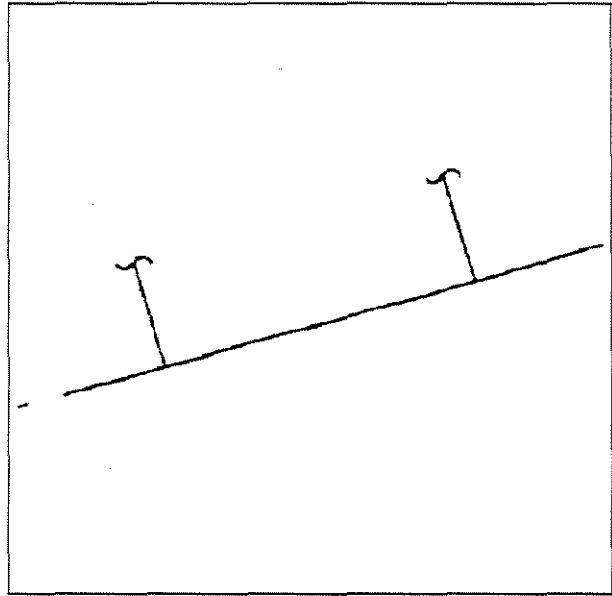


(d)

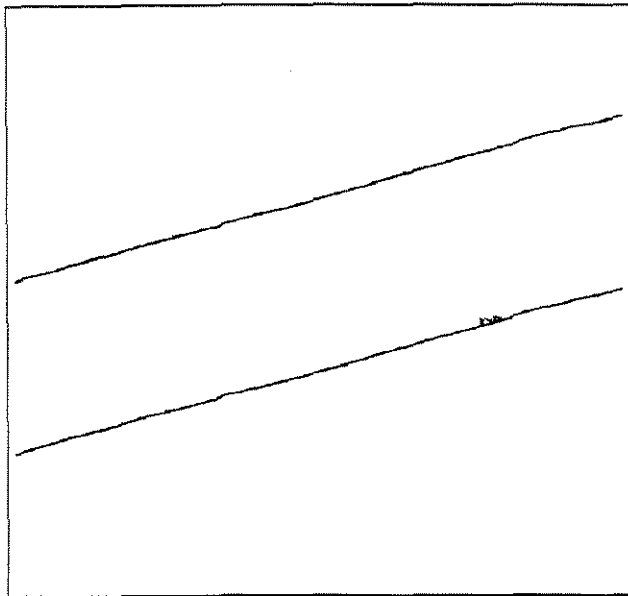
Figura B.5: Amostra 5. (a) Imagem original; (b) Lances de cabos; (c) Limites de arruamento e (d) Caixas prediais.



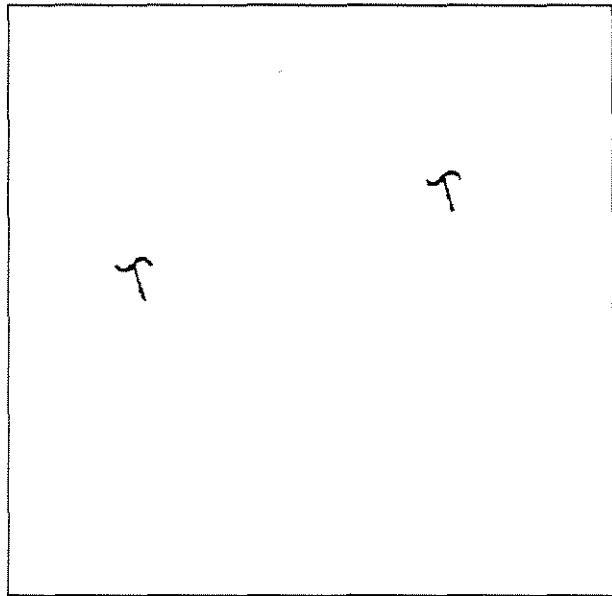
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura B.6: Amostra 6. (a) Imagem original; (b) Lances de cabos; (c) Limites de arruamento e (d) Caixas prediais.

Referências Bibliográficas

- [1] A. C. Kak A. Rosenfeld. *Digital Picture Processing*, volume 2. Academic Press, 1982.
- [2] G.J.F. Banon and J. Barrera. Decomposition of mappings between complete lattices by mathematical morphology. *Signal Processing*, 30:299–327, 1993.
- [3] G.J.F. Banon and J.Barrera. Bases da morfologia matemática para análise de imagens binárias. In *IX Escola de Computação*, Recife, PE, Brasil, 24 a 31 de julho 1994.
- [4] A. G. S. Angus C. J. Ammann. Fast thinning algorithm for binary images. *Image and Vision Computing*, 3:71–79, 1985.
- [5] H. Yamada et al. Map: Multi-angled parallelism for feature extraction from topographic maps. *Pattern Recognition*, 24:479–488, 1991.
- [6] Kasturi R. et al. Map data processing in geographic information systems. *Computer Vision*, December 1989.
- [7] Musavi M. T. et al. A vision based method to automate map processing. *Pattern Recognition*, 21:319–326, 1988.
- [8] Boatto L. et ali. An interpretation system for land register maps. *IEEE Computer Graphics and Applications*, pages 25–32, 1992.
- [9] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods. *Digital Image Processing*. Addison-Wesley, 1992.
- [10] K. Hosokama H. Yamada, K. Yamamoto. Directional mathematical morphology and reformalized hough transformation for the analysis of topographic maps. *IEEE PAMI*, 15, 1993.
- [11] Robert M. Haralick. Image analysis using mathematical morphology. *IEEE PAMI*, 9, July 1987.

- [12] B. Jahne. *Digital Image Processing*. Prentice-Hall International Editions, Alemanha, 1993.
- [13] M. B. Kurdy and D. Jeulin. Directional mathematical morphology operations. *Acta Stereol*, pages 483–490, 1989.
- [14] A. Rosenfeld L. S. Davis. Region extraction by averaging and thresholding. *IEEE Trans. Systems Man Cybernet*, 5:383–388, 1975.
- [15] Y. T. Liow. A contour tracing algorithm that preserves common boundaries between regions. *Image Understanding*, 3:313–321, 1991.
- [16] Heijmans H. J. A. M. Mathematical morphology: a geometrical approach in image processing. *Nieuw Archief voor Wiskunde*, November 1986.
- [17] R. Shinghal N. J. Naccache. Spta: A proposed algorithm for thinning binary patterns. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 14:409–418, 1984.
- [18] Jean Serra. *Image Analysis and Mathematical Morphology*. Academic Press, 1982.
- [19] Jean Serra. Introduction to mathematical morphology. *Computer Vision, Graphics, and Machine Vision*, pages 283–305, 1986.
- [20] Yamada T. Suzuki S. Maaris: Map recognition input system. *Pattern Recognition*, 23:919–933, 1990.
- [21] CPqD TELEBRÁS. Conversão de dados no sagre - especificação técnica. 1, Junho 1998.
- [22] C. Y. Zhang, T. Y. e Suen. A fast parallel algorithm for thinning digital patterns. *Communications of the ACM*, 4:236–239, 1984.