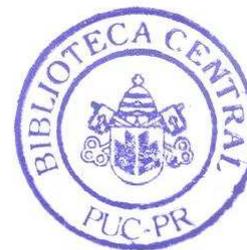


LUIZ ANTÔNIO PEREIRA NEVES



**EXTRAÇÃO DE CÉLULAS DE DADOS
MANUSCRITOS EM TABELAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática Aplicada da Pontifícia Universidade Católica do Paraná como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração:
Processamento Digital de Imagens

Orientador:
Prof. Dr. Jacques Facon

CURITIBA

1999



ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE EXAME DE DISSERTAÇÃO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA APLICADA DA PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ.

Exame de dissertação nº 014

Aos 03 dias do mês de dezembro de 1999, realizou-se a sessão pública de defesa de dissertação "EXTRAÇÃO AUTOMÁTICA DE DADOS MANUSCRITOS EM TABELAS", apresentada por Luis Antonio Pereira Neves, ano de ingresso 1997, para obtenção do título de Mestre em Ciências. A Banca Examinadora foi composta pelos seguintes professores:

MEMBROS DA BANCA	ASSINATURA
Presidente: Prof. Dr. Jacques Facon (PUCPR)	
Prof. Dr. Flavio Bortolozzi (PUCPR)	
Prof. Dr. João Marques de Carvalho (UFPB)	
Prof. Dr. Thomas Rauber (UFES)	

De acordo com as normas regimentais a Banca Examinadora deliberou sobre os conceitos a serem atribuídos e que foram os seguintes:

MEMBROS DA BANCA	CONCEITOS
Presidente: Prof. Dr. Jacques Facon (PUCPR)	Aprovado
Prof. Dr. Flavio Bortolozzi (PUCPR)	Aprovado
Prof. Dr. João Marques de Carvalho (UFPB)	Aprovado
Prof. Dr. Thomas Rauber (UFES)	Aprovado
Conceito Final	Aprovado

Observações da Banca Examinadora

EFETUAR AS DEVIDAS CORREÇÕES

Prof. Júlio Cesar Nievola

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Informática Aplicada-PUC-PR

DEDICATÓRIA

À minha eterna esposa Jane, que sempre está presente nas minhas lutas e conquistas, transmitindo-me amor e confiança, e ao nosso querido filho Luiz Felipe, que veio juntar-se a nós, durante minha experiência acadêmica como mestrando. Aos meus amados pais, Luiz Roberto e Rosina, por estarem sempre ao meu lado e por serem a razão de hoje estar aqui. A vocês, todo o meu amor.

AGRADECIMENTOS

Ao grande amigo e orientador Prof. Dr. Jacques Facon, pela orientação precisa e pelo incentivo constante na realização desta pesquisa, sempre me transmitindo ânimo com seu espírito alegre e otimista.

A todos os meus professores do PPGIA, pelos conhecimentos transmitidos.

Aos colegas do curso do Mestrado pelos momentos vividos durante estes dois anos.

A Diretora do IMAP, Diva Irene da Paz Vieira e ao Prof. Dewey Wollman pela oportunidade de obtenção da bolsa auxílio que possibilitou a conclusão deste curso.

Ao Coordenador de Informações do IPPUC, Lourival Peyerl pela compreensão e apoio nos momentos de dificuldades, que permitiram a continuidade desta etapa.

Ao colega do IPPUC, Oscar Schmeiske pelo incentivo e amizade prestados.

Aos colegas Andreia Malucelli, David Menoti Gomes e Paulo Zemek pela valiosa colaboração no desenvolvimento prático desta pesquisa.

Ao meu querido sogro Arno, pelo entusiasmo e alegria de ver-me chegar a finalização deste curso.

E ao meu grande Pai e Criador pela oportunidade da vida.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE ABREVIATURAS OU SÍMBOLOS	ix
RESUMO	x
<i>ABSTRACT</i>	xi
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 Desafio	1
1.2 Motivação	2
1.3 Proposta	3
1.4 Contribuição	3
1.5 Organização	4
CAPÍTULO 2 - ESTRUTURA DE UMA TABELA	5
2.1 INTRODUÇÃO	5
2.2 CONCEITOS BÁSICOS DE UMA TABELA	5
2.3 TIPOS DE TABELA	7
2.4 PROBLEMAS ENCONTRADOS EM TABELAS	11
CAPÍTULO 3 - ESTUDO DA ARTE NO PROCESSAMENTO DE TABELAS	13
3.1 INTRODUÇÃO	13
3.2 DETECÇÃO DA INCLINAÇÃO DA TABELA	13
3.2.1 Estudo Bibliográfico	13
3.2.2 Conclusões sobre Estudo Bibliográfico	17
3.3 ESTRUTURA FÍSICA DA TABELA	17
3.4 ESTRUTURA LÓGICA DA TABELA	20
CAPÍTULO 4 - FERRAMENTAS UTILIZADAS	23
4.1 INTRODUÇÃO	23
4.2 TÉCNICAS DE LIMARIZAÇÃO	23
4.3 MORFOLOGIA MATEMÁTICA BINÁRIA	27
4.3.1 Elemento Estruturante	28
4.3.2 Erosão Binária	29
4.3.3 Dilatação Binária	31
4.3.4 Reconstrução Binária	34
4.4 HISTOGRAMA DE DENSIDADE	36
CAPÍTULO 5 - METODOLOGIA DESENVOLVIDA	39
5.1 INTRODUÇÃO	39
5.2 HARDWARE E SOFTWARE UTILIZADOS	40
5.3 AQUISIÇÃO E LIMARIZAÇÃO DA TABELA	40
5.4 DETECÇÃO E CORREÇÃO DA INCLINAÇÃO DA TABELA	46
5.4.1 Procedimento de Detecção da Inclinação da Tabela	47
5.4.1.1 Introdução	47

5.4.1.2 Avaliação da Inclinação	47
5.4.1.3 Definição da Família de Elementos Estruturantes	52
5.4.1.4 Construção dos Elementos Estruturantes dos Ângulos	54
5.4.2 Procedimento de Correção da Inclinação da Tabela	57
5.4.2.1 Mapeamento Reverso	57
5.4.2.2 Interpolação	58
5.5 IDENTIFICAÇÃO DA ESTRUTURA FÍSICA DA TABELA	61
5.5.1 Detecção das sementes dos cantos de tipos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9	65
5.5.2 Criação da Máscara com todos os cantos para Reconstrução	67
5.5.3 Reconstrução do canto tipo 9 (cruz)	70
5.5.4 Identificação dos cantos 5, 6, 7 e 8	70
5.5.5 Identificação dos cantos 1, 2, 3 e 4	73
5.5.6 Montagem da Matriz Teórica	74
5.5.7 Montagem da Matriz Real	75
5.6 DETECÇÃO DE ERROS DA ESTRUTURA FÍSICA	77
5.6.1 Tabelas de Validação	80
5.6.1.1 Tabelas de Validação Norte e Sul	81
5.6.1.2 Tabelas de Validação Oeste e Leste	83
5.6.1.3 Tabelas de Validação Norte e Leste (Nordeste)	84
5.6.1.4 Tabelas de Validação Norte e Oeste (Noroeste)	87
5.6.1.5 Tabelas de Validação Sul e Leste (Sudeste)	89
5.6.1.6 Tabelas de Validação Sul e Oeste (Sudoeste)	91
5.6.2 Avaliação das Tabelas de Validação	93
5.6.3 Tabelas de Rejeição do Canto Zero	95
5.6.3.1 Tipos de Tabelas de Rejeição do Canto Zero	97
5.6.4 Processo de Detecção de Erros	99
5.7 CORREÇÃO DE ERROS DA ESTRUTURA FÍSICA	100
5.7.1 Estratégia das Extremidades	102
5.7.2 Estratégia do Maior Nível Compatível	103
5.7.3 Análise do Processo de Correção de Erros	105
5.7.4 Processo de Correção de Erros	107
5.8 EXTRAÇÃO DE CÉLULAS DOS DADOS DA TABELA	108
CAPÍTULO 6 - RESULTADOS EXPERIMENTAIS	111
6.1 INTRODUÇÃO	111
6.2 TESTES DE DETECÇÃO DO ÂNGULO	112
6.3 TESTES EM BASE DE VALIDAÇÃO	113
6.4 CONTEXTO DAS TABELAS IPPUC	114
6.4.1 Identificação dos Problemas das Fichas do IPPUC	117
6.4.2 Base de Testes do IPPUC	118
6.4.3 Resultados dos Experimentos	118
6.5 TESTES EM TABELAS DE FORMATO E TAMANHO DIVERSOS	122
CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	128
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	130

LISTA DE FIGURAS

2.1	Estrutura de uma tabela com as suas células	5
2.2	Conceitos de bloco, célula ativa e célula passiva de uma tabela	6
2.3	Exemplo de células ativas e células passivas	7
2.4	Exemplos de tabelas não regulares	7
2.5	Tabela constituída por cantos arredondados	8
2.6	Tabela sem as linhas horizontais no seu interior	8
2.7	Tabela formada por linhas duplas	8
2.8	Tabela formada por um ou mais símbolos em suas linhas	8
2.9	Tabela com discontinuidade das linhas nas intersecções	8
2.10	Tabela constituída de vários blocos separados	8
2.11	Tabela formada somente por linhas internas	8
2.12	Tabela com desenhos geométricos em suas células	8
2.13	Tabela sem as linhas horizontais e verticais	8
2.14	Tabela formada por linhas de diferentes espessuras	9
2.15	Tabela usada na Matemática Estatística	9
2.16	Tabela com células formadas somente por conjuntos de blocos de cores de fundo distintas	9
2.17	Tabela com células fechadas por linhas	9
2.18	Tabela formada por linhas de cores diferenciadas	9
2.19	Tabela formada de células sem as linhas superiores horizontais	9
2.20	Tabela com desenho de fundo colorido	9
2.21	Tabela apresenta somente as linhas de divisão entre os títulos de linhas e de colunas	9
2.22	Tabela com código de barras em bloqueto bancário	9
2.23	Exemplo de tabela plana regular vertical	10
2.24	Exemplo de tabela plana regular horizontal	10
2.25	Exemplo de tipo de tabela com as células fechadas por linhas horizontais e verticais	10
2.26	Exemplo de tabela com linhas interrompidas ou apagadas	12
2.27	Exemplo de sobreposição de dados manuscritos nas bordas da célula	12
2.28	Exemplo de tabela com ruídos adicionais	12
2.29	Exemplo de tabela com rabiscos feitos pelo usuário	12
3.1	Exemplo de imagem “burst” proposto por [HINDS et al., 1990]	14
3.2	“Projection Profile” Horizontal e Vertical proposto por O’Gorman e Kasturi [O’GORMAN & KASTURI, 1998]	15
3.3	Árvores de Estruturas Globais e Locais proposto por Watanabe em [WATANABE, 1995]	18
3.4	Cantos com níveis hierárquicos propostos por Arias e Kasturi em [ARIAS & KASTURI, 1997]	19
4.1	(a) Imagem em níveis de cinza e (b) Limiarização obtida com um valor de limiar adequado (=144)	25

4.2	(a) Limiarização obtida com um valor de limiar muito baixo (=20) e (b) com um valor de limiar muito alto (=242)	25
4.3	Exemplo de Histograma de uma imagem	26
4.4	Exemplos de formatos de elementos estruturantes	29
4.5	Imagem binária	31
4.6	Elemento Estruturante Cruz	30
4.7	Elemento Estruturante Horizontal	30
4.8	Imagem erodida com EE tipo cruz (1 iteração)	31
4.9	Imagem erodida com EE tipo cruz (6 iterações)	31
4.10	Imagem erodida com EE tipo horizontal (10 iterações)	31
4.11	Imagem dilatada com EE tipo cruz (1 iteração)	33
4.12	Imagem dilatada com EE tipo cruz (6 iterações)	33
4.13	Imagem dilatada com EE tipo horizontal (10 iterações)	33
4.14	Imagem máscara da reconstrução binária	35
4.15	Imagem marcadora da reconstrução binária	35
4.16	Reconstrução binária com 5 iterações	35
4.17	Reconstrução binária com 20 iterações	35
4.18	(a) Imagem binária com o resultado do (b) Histograma de Densidade Horizontal e (c) Histograma de Densidade Vertical	37
5.1	Fases da Metodologia da Pesquisa	39
5.2	Exemplo de uma tabela em níveis de cinza	41
5.3	Representação gráfica quantitativa dos testes com as técnicas de limiarização	42
5.4	Limiarização de Fuzzi de Yager	44
5.5	Limiarização por Anisotropia	44
5.6	Limiarização por Entropia	44
5.7	Limiarização de Kittler	44
5.8	Limiarização de Otsu	45
5.9	Limiarização de Thrussel	45
5.10	Limiarização de Johannsen	45
5.11	Módulos da fase Detecção e Correção da Inclinação do Formulário	47
5.12	Elementos estruturantes usados nas amostras	48
5.13	Tabela Original	51
5.14	Tabela Inclínada de 3 graus	51
5.15	Tabela erodida por Bh (10 iterações)	51
5.16	Tabela erodida por Bv (10 iterações)	51
5.17	Tabela dilatada por Bh (10 iterações)	51
5.18	Tabela dilatada por Bv (10 iterações)	51
5.19	Tabela inclinada erodida com elemento estruturante grau zero	51
5.20	Tabela inclinada erodida com elemento estruturante grau três	51
5.21	Ângulo alfa representando a inclinação da tabela	53
5.22	Parte da família de elementos estruturantes entre 0 e + 10 graus	56
5.23	Interpolação do valor de um pixel (idéia extraída em [MELLO, 1993])	58
5.24(a)	Imagem Original	60
5.24(b)	Imagem rotacionada sem mapeamento reverso e sem interpolação	60
5.24(c)	Imagem rotacionada com rotação de um passo	60
5.25	Coordenadas dos cantos superior-esquerdo e inferior-direito da célula	62
5.26	Os nove cantos de uma tabela	62

5.27	Fase de identificação da estrutura física do formulário	63
5.28	Os nove cantos em níveis hierárquicos propostos por Thom em [TRAN VAN THOM, 1997]	64
5.29	Família dos elementos estruturantes dos cantos	64
5.30(a)	Elemento estruturante do canto 1	66
5.30(b)	Elemento estruturante do canto 2	66
5.30(c)	Elemento estruturante do canto 4	66
5.30(d)	Elemento estruturante do canto 3	66
5.31	Tabela original ORI	66
5.32	Tabela ORI erodida pelo EE ee1	66
5.33	Tabela ORI erodida pelo EE ee2	66
5.34	Tabela ORI erodida pelo EE ee3	66
5.35	Tabela ORI erodida pelo EE ee4	66
5.36	Imagem T	69
5.37	Horizontal Histograma de Densidade da imagem T	69
5.38	Vertical Histograma de Densidade da imagem T	69
5.39	Imagem L de linhas horizontais gerada pelo Histograma de Densidade Horizontal da imagem T	69
5.40	Imagem de linhas verticais gerada pelo Histograma de Densidade Vertical da imagem T	69
5.41	Imagem Máscara M	69
5.42	Imagem Cruz	70
5.43	Imagem Cruz rec	70
5.44	Imagem ero^{ee1} (ORI) reconstruída	72
5.45	Imagem ero^{ee2} (ORI) reconstruída	72
5.46	Imagem ero^{ee3} (ORI) reconstruída	72
5.47	Imagem ero^{ee4} (ORI) reconstruída	72
5.48	Imagem Bmp165	72
5.49	Imagem Bmp267	72
5.50	Imagem Bmp387	72
5.51	Imagem Bmp485	72
5.52	Imagem Bmp005, somente com os cantos 5	72
5.53	Imagem Bmp006, somente com os cantos 6	72
5.54	Imagem Bmp007, somente com os cantos 7	72
5.55	Imagem Bmp008, somente com os cantos 8	72
5.56	Imagem somente com a semente do canto 1	73
5.57	Imagem somente com a semente do canto 2	73
5.58	Imagem somente com a semente do canto 3	73
5.59	Imagem somente com a semente do canto 4	73
5.60	Imagem da matriz teórica de ORI	74
5.61	Matriz real de ORI com os cantos detectados	76
5.62	Estrutura lógica do algoritmo de busca e correção de erros de tabela	77
5.63	Verificação norte e sul do elemento	80
5.64	Verificação oeste e leste do elemento	80
5.65	Verificação norte e leste do elemento	80
5.66	Verificação norte e oeste do elemento	80
5.67	Verificação sul e leste do elemento	80
5.68	Verificação sul e oeste do elemento	80

5.69	Tabelas de validação norte e sul dos cantos 5 e 6	81
5.70	Tabelas de validação norte e sul dos cantos 7 e 8	82
5.71	Tabelas de validação norte e sul do canto 9	82
5.72	Tabelas de validação oeste e leste dos cantos 5, 6 e 7	83
5.73	Tabelas de validação oeste e leste dos cantos 8 e 9	84
5.74	Tabelas de validação norte e leste do canto 5	84
5.75	Tabelas de validação norte e leste do canto 6	85
5.76	Tabelas de validação norte e leste do canto 7	85
5.77	Tabelas de validação norte e leste dos cantos 8, 9 e 4	86
5.78	Tabelas de validação norte e oeste dos cantos 5, 6 e 7	87
5.79	Tabelas de validação norte e oeste dos cantos 8, 9 e 3	88
5.80	Tabelas de validação sul e leste dos cantos 5, 6 e 7	89
5.81	Tabelas de validação sul e leste dos cantos 8, 9 e 1	90
5.82	Tabelas de validação sul e oeste dos cantos 5, 6 e 7	91
5.83	Tabelas de validação sul e oeste dos cantos 8, 9 e 6	92
5.84	Exemplo de uma tabela sem erros	93
5.85	Exemplo de uma tabela com erros	94
5.86	Rejeição do zero em sul e leste	97
5.87	Rejeição do zero em sul e oeste	97
5.88	Rejeição do zero em norte e leste	97
5.89	Rejeição do zero em norte e oeste	97
5.90	Rejeição do zero em norte, leste e sul	97
5.91	Rejeição do zero em norte, oeste e sul	97
5.92	Rejeição do zero em oeste, sul e leste	97
5.93	Rejeição do zero em norte, sul, oeste e leste	97
5.94	Rejeição do zero em oeste, norte e leste	97
5.95	Tabelas de rejeição do canto zero	98
5.96	Tabelas de rejeição do canto zero que possuem exceções	98
5.97	Exemplo de uma tabela com erros no canto tipo zero	99
5.98	Verificação OxL (Oeste x Leste)	101
5.99	Verificação NxS (Norte x Sul)	101
5.100	Verificação SxL (Sul x Leste)	101
5.101	Verificação SxO (Sul x Oeste)	101
5.102	Verificação NxO (Norte x Oeste)	101
5.103	Verificação NxL (Norte x Leste)	101
5.104	Verificação xLN (x Leste Norte)	101
5.105	Verificação xLS (x Leste Sul)	101
5.106	Verificação xNL (x Norte Leste)	101
5.107	Verificação xNO (x Norte Oeste)	101
5.108	Verificação xSL (x Sul Leste)	101
5.109	Verificação xSO (x Sul Oeste)	101
5.110	Verificação xON (x Oeste Norte)	101
5.111	Verificação xOS (x Oeste Sul)	101
5.112	Alteração das linhas extremas para corrigir o erro	102
5.113	Exemplo de correção de uma tabela	104
5.114	Exemplo de “looping” infinito	106
5.115	Compilador de tabela	108
5.116	Tabela de intersecções proposto por Thom em [TRAN VAN THOM, 1997]	109

5.117	Imagem da constituição da tabela gerada pela matriz de células	109
6.1	Fases da Metodologia da Pesquisa	111
6.2	Simulação de uma tabela com 10 erros	113
6.3	Gráfico dos resultados da base de testes	114
6.4	Formulário de campo de Pesquisa de Tráfego	115
6.5	Resumo das fases do processo das fichas do IPPUC	116
6.6	Ficha inclinada com 4 graus	118
6.7	Ficha inclinada com 8 graus	118
6.8	Tabela de 8 graus rotacionada em zero graus	119
6.9	Matriz Real da Figura 6.8	119
6.10	Matriz Teórica da Figura 6.8	120
6.11	Matriz contadora de erros da Figura 6.8	120
6.12	Constituição da tabela 6.9 para a extração das células	121
6.13	Resultado da segmentação de um formulário tipo tabela	121
6.14	Exemplo de erros com o canto 5 sem o fechamento do canto 7	123
6.15	Exemplos de documentos contendo linhas	124
6.16	Exemplo de logotipo	125
6.17	Imagem de tabela “mal adquirida”	125
6.18	Documento sem linha eficientemente processado pela abordagem morfológica por dilatação	126

LISTA DE TABELAS

5.1	Tabela de testes de limiarização com as imagens do formulário IPPUC	42
5.2	Análise dos tamanhos dos EE de 25 a 63 pixels	54
5.3	Resultado das operações pelos EE dos cantos 1, 2, 3 e 4	67
5.4	Resultado das operações com a eliminação do canto cruz	71
5.5	Resultado das operações para a identificação dos cantos 5, 6, 7 e 8	71
5.6	Resultado das operações para a identificação dos cantos 1, 2, 3, e 4	73
6.1	Resultados experimentais de análise das técnicas de detecção do ângulo	112
6.2	Resultados experimentais dos testes de validação	114
6.3	Resultados experimentais da base de dados IPPUC	119
6.4	Resultados experimentais da base de dados IPPUC em fichas não preenchidas	122
6.5	Resultados experimentais com base de dados de tabelas diversas	122
6.6	Resultados numéricos das três abordagens testadas	126

LISTA DE ABREVIATURAS OU SÍMBOLOS

IPPUC – Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba

EE- Elemento Estruturante

ee – Elemento Estruturante

RESUMO

O objetivo da presente pesquisa é a análise do formulário tipo tabela. Os problemas enfrentados na análise de formulários são: a eliminação das partes ruidosas, como o estado do papel amassado, dobrado ou molhado, o reconhecimento do layout físico, a extração dos dados pré impressos e manuscritos e a sobreposição de dados manuscritos em relação à dados pré impressos e a outros manuscritos. A análise do formulário é realizada a partir de ferramentas morfológicas. Uma nova abordagem é apresentada para resolver o problema da detecção e correção da inclinação da imagem do documento, com operações morfológicas, assim como a detecção e correção dos erros encontrados no layout físico da tabela. As características empregadas no reconhecimento do layout físico são extraídas diretamente da própria imagem, como também a partir de ferramentas matemáticas morfológicas. O reconhecimento do layout físico do formulário é efetuado, de forma diferente das técnicas até agora apresentadas.

RESUMO

O objetivo da presente pesquisa é a análise do formulário tipo tabela. Os problemas enfrentados na análise de formulários são: a eliminação das partes ruidosas, como o estado do papel amassado, dobrado ou molhado, o reconhecimento do layout físico, a extração dos dados pré impressos e manuscritos e a sobreposição de dados manuscritos em relação à dados pré impressos e a outros manuscritos. A análise do formulário é realizada a partir de ferramentas morfológicas. Uma nova abordagem é apresentada para resolver o problema da detecção e correção da inclinação da imagem do documento, com operações morfológicas, assim como a detecção e correção dos erros encontrados no layout físico da tabela. As características empregadas no reconhecimento do layout físico são extraídas diretamente da própria imagem, como também a partir de ferramentas matemáticas morfológicas. O reconhecimento do layout físico do formulário é efetuado, de forma diferente das técnicas até agora apresentadas.

ABSTRACT

The objective of the present research is the analysis of the table type form. The problems faced in the analysis of the form images are: elimination of the noisy parts, such as the state of the paper [kneaded, bent or wet], physical layout recognition, extraction of preprinted and handwritten data and overlapping of handwritten with preprinted, as well as with other handwritten data. Form analysis is accomplished using morphological tools. A new approach is presented to solve the problem of form document image skew detection and correction, with morphological operations. The features used in the recognition of the physical layout are extracted directly from the image itself, by using morphological mathematical tools. The recognition of the form physical layout is carried out, using an original technique.

ABSTRACT

The objective of the present research is the analysis of the table type form. The problems faced in the analysis of the form images are: elimination of the noisy parts, such as the state of the paper [kneaded, bent or wet], physical layout recognition, extraction of preprinted and handwritten data and overlapping of handwritten with preprinted, as well as with other handwritten data. Form analysis is accomplished using morphological tools. A new approach is presented to solve the problem of form document image skew detection and correction, with morphological operations. The features used in the recognition of the physical layout are extracted directly from the image itself, by using morphological mathematical tools. The recognition of the form physical layout is carried out, using an original technique.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Nos tempos modernos, devido ao grande número de informações que são obtidas em todas as áreas do conhecimento, que por sua vez necessitam ser registradas para posterior análise e utilização de seus dados, são utilizados diversos tipos de documentos. Alguns exemplos encontrados são: gráficos, fichas, formulários, questionários, relatórios, tabelas e outros.

Devido ao fato deste trabalho ter sido desenvolvido em parceria com o IPPUC - Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba, que financiou uma parte do mesmo, visando beneficiar projetos de levantamentos de dados desta empresa, focaremos esta pesquisa ao estudo deste último tipo de documento, ou seja, tabela. Esta escolha provém do uso constante de formulário deste formato, por esta empresa, bem como, pela escassa literatura sobre o reconhecimento deste tipo de documento. O desafio, a motivação, a proposta e a contribuição deste trabalho serão descritos a seguir:

1.1 Desafio

Vários estudos têm sido apresentados a respeito da identificação da estrutura física de tabelas, mais especificamente em tabelas perfeitas, não danificadas. Contudo, nem todas se apresentam em perfeito estado, o que acarreta a necessidade de criar-se uma fase de detecção e correção de erros da estrutura física das mesmas, anterior a extração dos dados nelas contidos. Estes erros são provenientes tanto da aquisição da imagem quanto da adição de dados manuscritos.

Portanto, os principais desafios neste trabalho são:

- A construção da fase de detecção e correção de erros da estrutura física, sem a utilização de uma análise gramatical, objetivando com isso, um processo mais rápido.
- A apresentação de uma nova abordagem para a verificação da inclinação do formulário tipo tabela.
- Finalmente, a extração de células de dados através da identificação das intersecções das linhas horizontais e verticais que compõem a tabela, sem que seja preciso a análise de seus segmentos.

1.2 Motivação

Tabela é um tipo de documento gráfico, composto por segmentos de linhas horizontais e verticais. As intersecções destes segmentos definem campos que são preenchidos com texto impresso e/ou manuscrito. Sua função é armazenar dados que são observados através de pesquisas, nos campos pré-delimitados. Estes dados, após serem tabulados e analisados, produzem informações sobre um assunto qualquer.

No entanto, durante a realização das pesquisas, as tabelas geralmente são preenchidas manualmente. Mais tarde, passam pelo processo de digitação dos dados, com o objetivo de processar os mesmos no computador. Com isto, todo o processo de conclusão da pesquisa sofre um inevitável atraso, gerando, por vezes, prejuízos para os donos e usuários da informação.

Com a identificação desta dificuldade surgiu o interesse em elaborar, através deste trabalho, um método para a interpretação da estrutura física da tabela, para automatizar o reconhecimento do documento. A meta é a leitura otimizada dos dados, contribuindo assim, para um processo mais rápido, com menos custos e menor índice de erros.

1.3 Proposta

A primeira proposta é criar uma nova abordagem para detecção da inclinação da tabela, com os recursos da morfologia matemática binária. Posteriormente, é identificada a sua estrutura física, com a inclinação zero. O segundo passo é encontrar os tipos de cantos formados pela interseção de segmentos de linha, presentes na tabela. Para tal, também são utilizados os processos morfológicos matemáticos. São detectados e corrigidos os erros de identificação destes cantos, a fim de obter-se a extração do layout físico com qualidade. Tal processo é realizado com a construção de um algoritmo de busca e correção de erros de tabela. O último passo, consiste na identificação dos dados contidos na estrutura física da tabela.

Devido ao uso da ferramenta morfológica matemática binária para o reconhecimento físico da tabela, a aquisição das imagens será realizada em níveis de cinza, sendo necessário o uso de uma técnica de limiarização para transforma-las em imagens binárias. Este recurso será utilizado antes da detecção da inclinação da tabela.

A criação de uma base de dados de laboratório de vários tipos de formulário também faz parte do escopo desse trabalho.

1.4 Contribuição

A principal contribuição está relacionada ao reconhecimento de documentos, onde através do uso da morfologia matemática binária, criou-se um novo método de detecção da inclinação de documentos em imagens e na identificação das características físicas da tabela, bem como em propor uma nova abordagem, para identificar e corrigir os erros da estrutura física da tabela. A maioria dos autores e pesquisadores somente mostra seus estudos utilizando tabelas perfeitas ou, no máximo, fazem a reconstrução das linhas parcialmente apagadas.

A base de dados de imagens de formulários que está sendo criada com vários tipos de documentos também é uma grande contribuição para os futuros trabalhos nessa área.

1.5 Organização

A estrutura desta dissertação apresenta-se da seguinte forma:

Neste capítulo, apresentamos os desafios, motivação, propostas e a contribuição deste trabalho, bem como a organização do mesmo.

O Capítulo 2 descreve o conceito e a estrutura de tabelas, suas características, dados pré-impressos, dados de preenchimento manuscrito, sobreposição de dados, além de outras informações relevantes.

No Capítulo 3, tem-se o estudo bibliográfico da área de reconhecimento de documentos, apresentando o estado da arte do reconhecimento de documento tipo tabela.

O Capítulo 4 apresenta as ferramentas utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho que são: técnicas de limiarização e a morfologia matemática binária, com os seus respectivos enfoques.

O Capítulo 5 aborda a metodologia desenvolvida durante a pesquisa, descrevendo os processos morfológicos criados para a detecção do ângulo de inclinação e para a identificação da estrutura física da tabela, assim como a estratégia utilizada para identificar e corrigir os erros da estrutura física.

O Capítulo 6 ilustra a aplicação da pesquisa nas fichas de tráfego utilizadas pelo IPPUC de Curitiba, descrevendo a base de dados criada com as mesmas, para a realização de testes e seus resultados.

Finalmente, o Capítulo 7 discursa sobre as conclusões da pesquisa e formula perspectivas futuras para a continuidade do presente estudo.

CAPÍTULO 2

ESTRUTURA DE UMA TABELA

2.1 INTRODUÇÃO

O documento tipo tabela, na sua estrutura gráfica, é composto por segmentos de linhas horizontais e verticais, cujas interseções formam espaços limitados que são denominados de células ou campos, como mostra a figura 2.1.

O diagrama mostra uma tabela com 10 linhas e 10 colunas. As linhas são rotuladas 'HORA' e 'MINUTOS' com valores de :00, :15, :30, :45 e :00. As colunas são rotuladas 'FLUXO' e 'CAMINHÃO' com sub-rotulagem 'AUTOMÓVEL', 'ÔNIBUS' e 'CAMINHÃO'. Uma célula na primeira linha e primeira coluna é destacada em vermelho. Linhas e colunas de exemplo são rotuladas com setas e legendas: 'Célula' (ponto de interseção), 'Segmento de linha vertical' (linha) e 'Segmento de linha horizontal' (linha).

TEMPO	FLUXO			FLUXO			FLUXO		
	AUTOMÓVEL	ÔNIBUS	CAMINHÃO	AUTOMÓVEL	ÔNIBUS	CAMINHÃO	AUTOMÓVEL	ÔNIBUS	CAMINHÃO
HORA	MINUTOS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS
	:00								
	:15								
HORA	MINUTOS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS
	:15								
	:30								
HORA	MINUTOS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS
	:30								
	:45								
HORA	MINUTOS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS
	:45								
	:00								

Figura 2.1 - Estrutura de uma tabela com as suas células.

2.2 CONCEITOS BÁSICOS DE UMA TABELA

Watanabe em [WATANABE et al., 1995] definiu o formulário tabela como uma composição de campos itens significativos, circundados por segmentos de linhas horizontais e verticais, dos quais são extraídas informações como posição, tamanho, largura e altura para a detecção da estrutura física. Estes campos itens formam uma estrutura complexa, compondo relacionamentos de interdependência com os seus vizinhos para a definição da estrutura lógica da tabela. O autor classifica os campos

itens da tabela em dois tipos: campos de dados e campos de títulos. Os campos, ou células, de dados possuem, no seu interior, dados no formato manuscrito e os campos de títulos são células que possuem dados pré-impressos, como o rótulo para um conjunto de campos de dados. O conjunto de campos de dados com, pelo menos, um campo rótulo, forma um bloco de células. O conjunto de blocos identifica as estruturas internas de uma tabela, como mostra a figura 2.2:

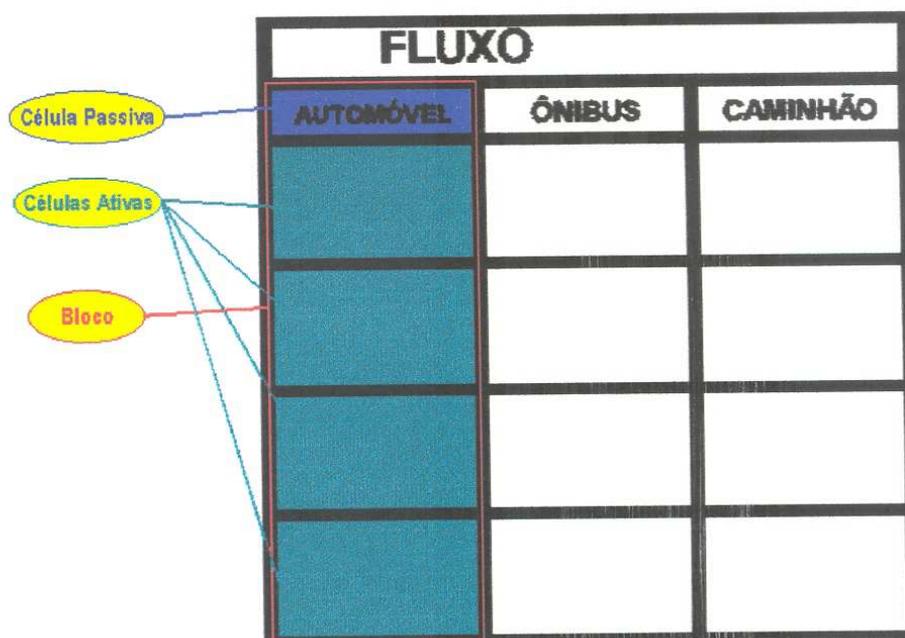


Figura 2.2 – Conceitos de bloco, célula ativa e célula passiva de uma tabela.

Tran van Thom em [TRAN VAN THOM, 1997] conceitua as partes internas de uma tabela em células com dados manuscritos, chamados ativas e as com dados pré-impressos, as passivas. Utiliza também o mesmo conceito de [WATANABE et al., 1995] para definir bloco, com os seus relacionamentos entre as células ativas e passivas.

TEMPO		FLUXO			
02		AUTOMÓVEL	ÔNIBUS	CAMINHÃO	AL
HORA	MINUTO	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS
15	:00				
15	:15	157	-	14	3
15	:15				
15	:30	177	-	10	
HORA	MINUTO	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS

Célula Ativa

Célula Passiva

Figura 2.3 - Exemplo de células ativas e células passivas.

Kasturi e Arias em [ARIAS & KASTURI, 1997] por sua vez, conceituam tabela como sendo um conjunto de primitivas básicas formadas de segmentos horizontais, verticais e suas intersecções. Estes três elementos formam a representação gráfica de uma tabela.

Os autores acima mencionados, não tratam de tabelas irregulares, que não possuem o formato retangular, como mostrado na figura 2.4. Da mesma forma, esta pesquisa não se aplica a estas tabelas.

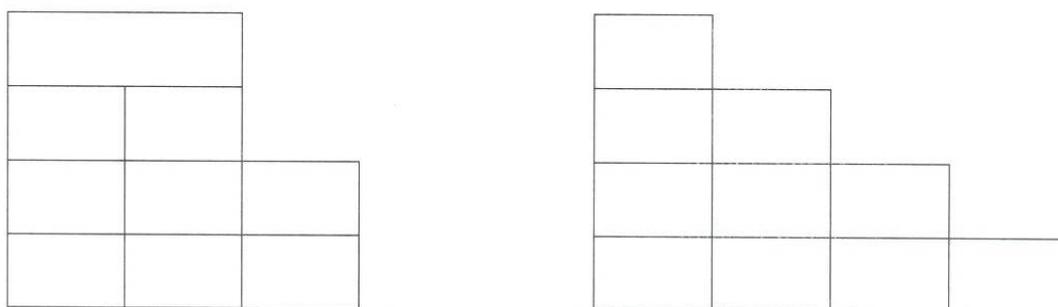


Figura 2.4 - Exemplos de tabelas não regulares.

2.3 TIPOS DE TABELAS

De acordo com um levantamento feito através desta pesquisa, verificou-se que existem inúmeros tipos de tabelas, utilizadas para os mais diversos fins, no mundo real.

Esta pesquisa limitar-se-á ao estudo de uma tabela geometricamente retangular, formando uma matriz bidimensional *per definitionem* com colunas e linhas, compostas pelos segmentos de linhas horizontais e verticais, como mostram as figuras 2.23 e 2.24. Suas células adjacentes poderão estar justapostas igualmente nos sentidos horizontal e vertical, formando layout diferenciados.

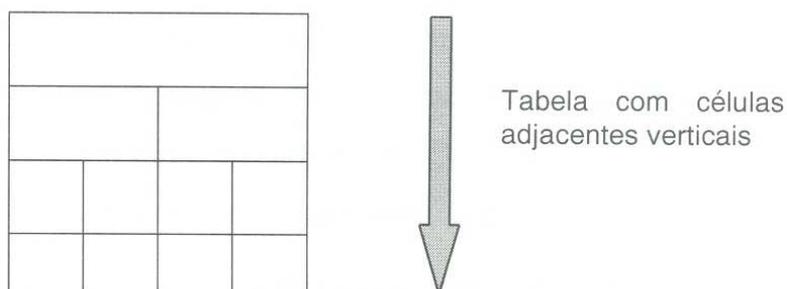


Figura 2.23 - Exemplo de tabela plana regular vertical.

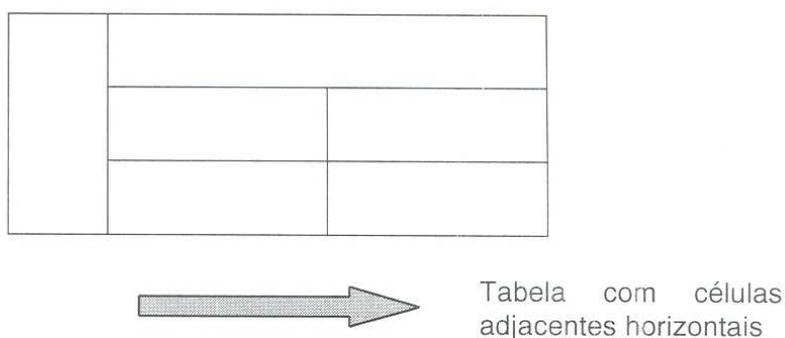


Figura 2.24 - Exemplo de tabela plana regular horizontal.

Esta tabela pode conter células de vários tamanhos, apresentando dados manuscritos, no formato caracter ou número, e também dados pré-impressos, como ilustrado na figura 2.25.

 MINISTÉRIO DA JUSTIÇA DEPARTAMENTO DE POLÍCIA FEDERAL GUIA DE ARRECAÇÃO DE RECEITAS DO FUNAPOL GAR/FUNAPOL	02 CPF/CGC	→	
	03 CÓDIGO DA RECEITA	→	
	04 CÓDIGO DA UNIDADE ARRECADADORA DO DDT	→	
01 NOME/TELEFONE	05 VALOR	→	
Veja no verso instruções para preenchimento	06 AUTENTICAÇÃO BANCÁRIA		
ATENÇÃO O recolhimento deverá ser efetuado exclusivamente nas Agências do Banco do Brasil S.A.			

AUTORIZAÇÃO PORTARIA Nº 1136 de 02/12/97 DO DPF - IMPRESSÃO: IMPRESSORA MODERNOS LTDA - RUA 3050 - RUA General Angulo - Nº 5, São Cristóvão CEP 20021-290, Tel.: (021) 560 8299 - Fax: (021) 560 8299 - RUA C. D. C. 33 431 85800014 - IAC - BRAS

Figura 2.25 – Exemplo de tipo de tabela com as células fechadas por linhas horizontais e verticais.

2.4 PROBLEMAS ENCONTRADOS EM TABELAS

Vários problemas são encontrados na identificação da estrutura de uma tabela. Por exemplo, a falta de dados na estrutura da tabela, como linhas interrompidas ou apagadas. Isto ocorre quando se digitaliza um documento. Tem-se a imagem original perfeita e no processo de aquisição da imagem por um “scanner”, há perda de informações da mesma, devido às suas próprias características. Como na figura 2.26, as linhas da tabela podem ser muito finas, dificultando a sua resolução gráfica.

Outro problema que pode ocorrer é a sobreposição dos dados manuscritos sobre as bordas da tabela (ver figura 2.27). Isto pode dificultar a identificação das células da mesma.

Há, também, o surgimento de ruídos adicionais dentro da célula ou sobrepostos a ela. Estes ruídos podem ser sujeira, oriundos, geralmente, da aquisição da imagem. Podem também ser rabiscos manuscritos deixados pelo usuário, como mostram as figuras 2.28 e 2.29.

Todos estes problemas são empecilhos à identificação correta da tabela. Portanto, faz-se necessário o uso de ferramentas para minimizar estas ocorrências, a fim de se ter qualidade na extração dos dados. Estas ferramentas foram estudadas e são descritas no capítulo 4.

CAPÍTULO 3

ESTADO DA ARTE NO PROCESSAMENTO DE TABELAS

3.1 INTRODUÇÃO

Muitas pesquisas têm sido realizadas na área de processamento digital de imagens. Este capítulo refere-se mais especificamente aos estudos já efetuados sobre reconhecimento de documentos tipo tabela e avaliação de inclinação de documentos em imagens. Desta forma, seguem-se abordagens de diferentes autores, bem como suas análises.

3.2 DETECÇÃO DA INCLINAÇÃO DA TABELA

3.2.1 Estudo bibliográfico

Na literatura encontram-se relatadas várias formas de detecção da inclinação de imagens de documentos. [ISHITANI, 1993], [HINDA et al., 1990], [YU & JAIN, 1996], [JIANG et al., 1997], [O'GORMAN & KASTURI, 1998], [LE et al., 1994], [CHE & HARALICK, 1995], [CHAUDHURI & CHAUDHURI, 1997] e [CHAUDHURI & PAL, 1997].

Ishitani em [ISHITANI, 1993] sugere calcular um parâmetro de complexidade baseado no número de transições preto-brancas ao longo das linhas em imagens binárias (formato A4 em 300 DPI) para avaliar o grau de inclinação. O autor aprimora essa primeira avaliação buscando definir corretamente o grau de inclinação em regiões

complexas contendo linhas de texto, através de um novo formalismo matemático. Com isso, Ishitani demonstra que essa abordagem permite tratar imagens com elementos não textuais, como figuras, tabelas, fotografias ou ruído [ISHITANI, 1993]. A precisão obtida é de 0,12 graus em 40 documentos processados e o tempo médio de processamento é aproximadamente de 1,38 segundos de tempo de CPU numa “workstation” Sparc 2.

A Transformada de Hough também é muito usada para a detecção da inclinação, através da extração das linhas. Hinds em [HINDS et al., 1990] aprimorou essa abordagem usando o conceito de imagem “bursty”, onde o valor total de pixels de cada linha é colocado no extremo direito ou inferior dos segmentos ativos da linha (figura 3.1). A partir desses valores, faz-se a mudança clássica do espaço de representação para coordenadas polares. Acha-se a inclinação através da tabela de acumulação da Transformada de Hough. Esta técnica possui a desvantagem de ser lenta.

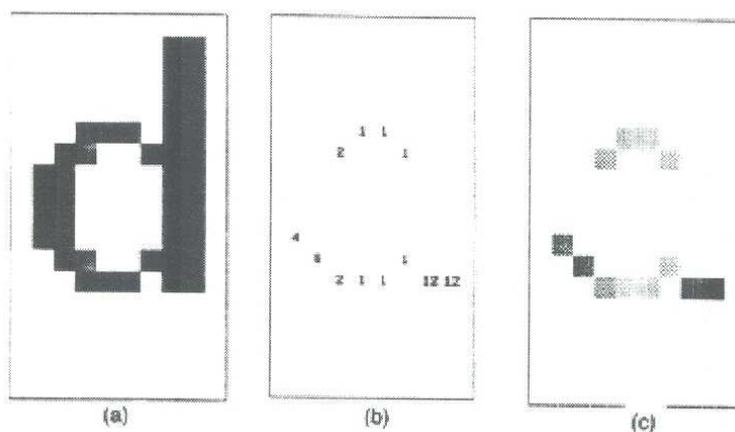


Figure 1. Creation of a burst image: (a) sample image; (b) burst image pixel values; (c) burst image as a gray scale image.

Figura 3.1 – Exemplo de imagem “burst” proposto por [HINDS et al., 1990].

Yu e Jain em [YU & JAIN, 1996] fazem a associação da transformada de Hough do tipo hierárquica com uma estrutura de componentes conexos BAG (“Block Adjacency Graph”), demonstrando que é possível avaliar de forma rápida e robusta o grau de inclinação de documentos genéricos de baixa resolução. A partir de imagens (413x575 em 50 DPI) com elementos não textuais como figuras, tabelas, fotografias, partes manuscritas ou códigos de barra, a precisão obtida é de 0,10 graus com um tempo de processamento de aproximadamente de 0,45 segundos CPU numa “workstation”

Sparc 20. De maneira análoga, Jiang em [JIANG et al., 1997] emprega a Transformada de Hough hierárquica para aprimorar uma primeira avaliação da inclinação de documentos obtida através dos cantos superiores esquerdos de blocos de tamanho empírico de 100 colunas. O tempo de pré-processamento é aproximadamente de 4,16 segundos para documentos inclinados de -31 a -45 graus num IBM 486 PC.

Outra técnica muito utilizada é a de “Projection Profile” [O’GORMAN & KASTURI, 1998]. Esta consiste em efetuar rotações sucessivas da imagem em estudo e criar para cada imagem rotacionada uma projeção horizontal ou vertical, contando o acúmulo de pixels pretos de cada linha. Monta-se um histograma e verifica-se a maior altura da projeção para calcular o ângulo. A rotação que corresponde a essa maior altura representa o grau de inclinação do documento.

Se o documento tem a inclinação zero, por exemplo, então, na projeção horizontal, os acúmulos formam altos picos que correspondem às linhas de texto. Na projeção vertical, estes acúmulos formam “planaltos” que correspondem às larguras das colunas no documento, como mostra a figura 3.2.

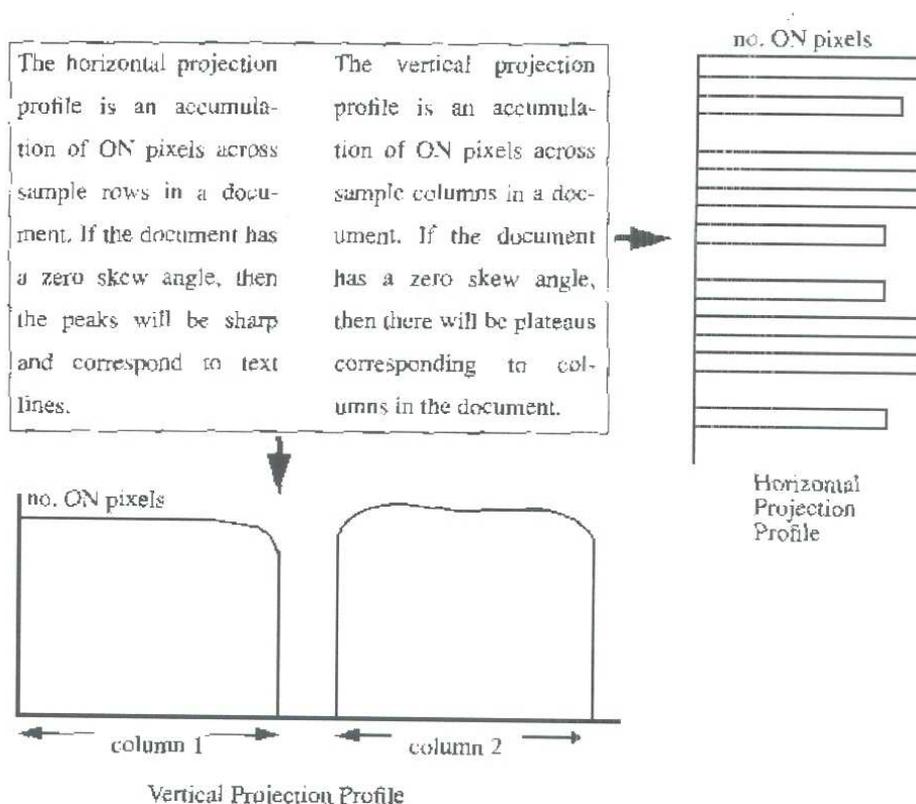


Figura 3.2 – “Projection Profile” Horizontal e Vertical proposto por O’Gorman e Kasturi em [O’GORMAN & KASTURI, 1998].

Os autores comentam que a sua eficácia no acerto da inclinação está limitada para ângulos menores que 10 graus, além de apresentar um tempo de processamento exaustivo.

A técnica de "Projection Profile" é aprimorada por Le em [LE et al., 1994], empregando uma estrutura de dados piramidal sobre porções textuais de imagens, associada à Transformada de Hough para desenvolver os cálculos da avaliação da inclinação. Com essa abordagem, conseguem processar imagens binárias (formato A4 em 200 DPI), testando 5186 imagens com uma precisão de 99,9 %, num tempo de processamento aproximado de 4, 15 segundos para definir a orientação de uma página e de 3,85 segundos para avaliar a inclinação de um documento, num computador DELL 486D/50 PC.

Outra forma de calcular o grau de inclinação de imagens binárias (3300x2550 pixels), é através do estimador de Bayes, proposto por Che e Haralick em [CHE & HARALICK, 1995], sobre subconjuntos de imagens adequadamente escolhidos. Para isso é preciso empregar aberturas e fechamentos morfológicos recursivos para preencher espaços intercaracteres e para remover ascendentes e descendentes. O tempo de processamento é de aproximadamente 10 segundos de CPU numa "workstation" Sparc 10.

Chaudhuri em [CHAUDHURI & CHAUDHURI, 1997] apresenta um método de detecção de inclinação de imagens binárias (300 DPI), inclinadas de -15 a +15 graus, que associa a correlação cruzada entre linhas com a técnica de Monte Carlo, a fim de determinar o número de regiões a serem calculadas na imagem. Não é necessária nenhuma segmentação textual e não textual neste processo. O tempo de processamento é de aproximadamente 1 segundo numa máquina DEC Alpha 400 "station".

Outra forma de avaliação, apresentada por Chaudhuri em [CHAUDHURI & PAL, 1997], consiste no uso da rotulação de componentes conexos e o contorno superior dos mesmos, para avaliar o grau de inclinação de imagens binárias (300 DPI) de documentos indianos ("scripts Devnagari e Bangla") inclinados entre 0 e + 45 graus. Numa "Sun machine" 3, o tempo de processamento é aproximadamente de 17,8 segundos para uma precisão de 1 grau.

3.2.2 Conclusões sobre o estudo bibliográfico

Pode-se verificar que a bibliografia sobre o estudo da inclinação de imagens de documentos é extensa. No último congresso internacional ICDAR de Análise e reconhecimento de documentos, mais de 10 métodos para resolver esse problema foram propostos. O que demonstra que a pesquisa sobre este assunto ainda é extremamente relevante e ativa. Em relação à bibliografia citada nesse trabalho, percebe-se que não existe uma abordagem única resolvendo todos os problemas para qualquer tipo de documentos, pois estes que aqui são tratados, são de forma geral complexos. Várias abordagens tratam imagens de documentos com elementos não textuais, como figuras, tabelas, fotografias ou ruído ([ISHITANI, 1993], [YU & JAIN, 1996], [JIANG et al., 1997], [CHAUDHURI & CHAUDHURI, 1997]). Algumas técnicas têm limitações em termos de grau de inclinação com as que empregam o “Projection Profile” [O’GORMAN & KASTURI, 1998]. Pode-se concluir que, devido à diversidade de computadores, difícil é tentar comparar as técnicas em termos de tempo de processamento. Mas pode-se constatar que de forma geral, os tempos de processamento são relativamente baixos.

3.3 ESTRUTURA FÍSICA DA TABELA

A identificação da estrutura física do formulário tipo tabela consiste em determinar as características da imagem correspondente como posição e tamanho, bem como as suas partes internas. Estas informações são importantes para montar, posteriormente, a estrutura lógica da tabela. Serão analisados a seguir, os estudos mais relevantes, referentes a esse assunto.

Watanabe em [WATANABE, 1995] apresenta uma abordagem para reconhecer qualquer tipo de documento, iniciando pela classificação do documento, usando uma base de conhecimento heurístico. No caso do documento ser uma tabela, a identificação da estrutura física consiste em localizar, em primeiro lugar, o canto superior esquerdo da tabela, utilizando-se árvores binárias para armazenar as informações desta estrutura física. Portanto, o autor descobre todas as células através da

localização dos cantos superiores esquerdos. Isto é feito utilizando máscaras como filtros para detecção destes cantos.

Com isso, o autor monta a estrutura física utilizando grafos de tipo árvores binárias. O tempo de processamento desta identificação é de aproximadamente 30 segundos.

O processo de determinação dos relacionamentos entre as células é chamado etapa de construção da árvore de descrição de estrutura local. Quando são relacionamentos entre os blocos, utiliza-se a árvore de descrição de estrutura global, a qual servirá para montar a estrutura lógica do documento. Nesta abordagem, a desvantagem está no reconhecimento dos cantos superiores esquerdos, pois o autor não apresenta nenhum recurso quando estes cantos apresentarem falhas ou não forem reconhecidos. Além disto, torna-se lento o processo de reconhecimento das células, porque além de descobrir os cantos superiores esquerdos, necessita-se de mais oito filtros para descobrir as localizações das células. Adicionalmente, Watanabe em [WATANABE, 1995] aborda a sua teoria com a imagem não inclinada, ou seja, não tem nenhuma preocupação em detectar o ângulo de inclinação da imagem e nem mesmo na reconstrução desta, quando apresenta falhas ou ruídos oriundos do seu pré-processamento.

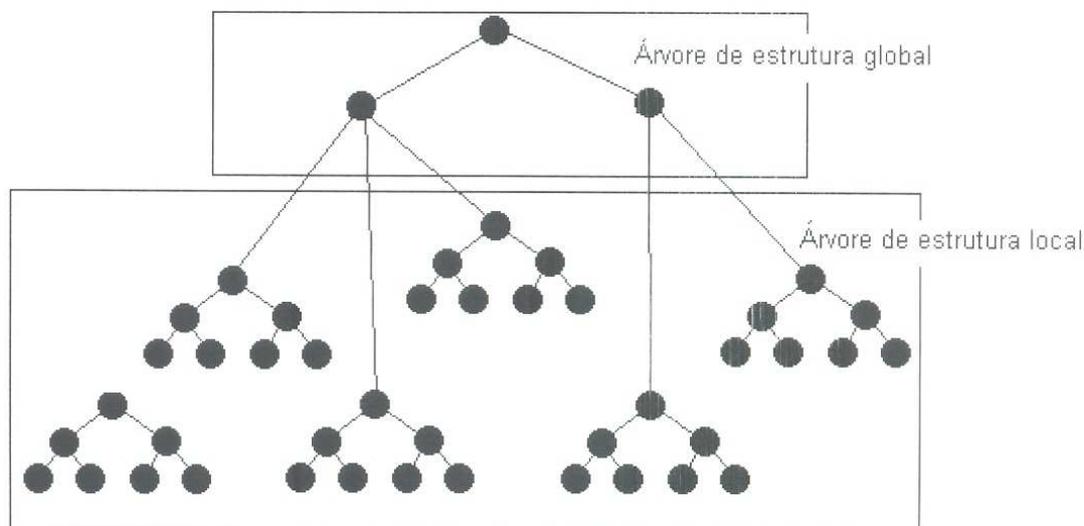


Figura 3.3 - Árvores de Estruturas Globais e Locais proposto por Watanabe em [WATANABE, 1995].

De uma forma mais prática, Arias e Kasturi em [ARIAS & KASTURI, 1997] apresentam uma abordagem que aprimora e identifica o reconhecimento da estrutura

física da tabela no documento. Eles utilizam nove interseções, as quais são representadas de forma hierárquica através de seus números, como mostra a figura 3.4.

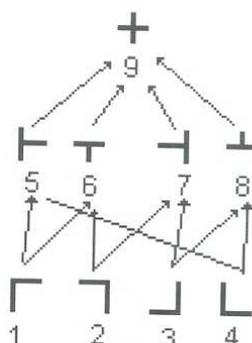


Figura 3.4 – Cantos com níveis hierárquicos propostos por Arias e Kasturi em [ARIAS & KASTURI, 1997].

Primeiramente, é feita a avaliação da inclinação e depois, identifica-se às posições dos cantos da tabela, intersecções tipo 1, 2, 3 e 4. Feito isso, procura-se as intersecções tipo 5, 6, 7 e 8 e finalmente, a intersecção 9 (cruz). Segundo Arias e Kasturi em [ARIAS & KASTURI, 1997], esta forma de reconhecimento através de tipos de intersecções torna-se mais rápida que a abordagem anteriormente apresentada, por procurar estes cantos em regiões pequenas. Desta forma, os autores conseguem identificar as linhas horizontais e verticais, mesmo estas apresentando falhas, pois têm a informação das posições das intersecções anteriores com os seus devidos níveis. Por outro lado, a identificação das intersecções é cuidadosamente realizada pela análise dos segmentos de linha que formam a intersecção, em função da espessura destes segmentos. Assim, o maior número apresentado na região analisada, identifica o tipo de intersecção. Esta é uma abordagem que requer um tempo expressivo de processamento, embora a região a ser analisada seja pequena. Outra desvantagem é que quando os pares de intersecções 1 e 2 ou 3 e 4 estiverem apagados ou com falhas, o reconhecimento da tabela não funciona muito bem. O autor apresenta em seus resultados experimentais, uma performance de 95% de acerto em imagens sintéticas com inclinações menores do que 4 graus.

De forma diferente, Tran van Thom em [TRAN VAN THOM, 1997] apresenta uma abordagem utilizando também as nove intersecções da figura 3.6, mas de forma diferente. Sua estratégia consiste em identificar primeiro a intersecção tipo cruz

(número 9). Na sua segmentação, reduz a imagem, tornando o processo mais rápido, além de usar filtragens para reconstruir a tabela. Na sua extração das células, ele utiliza o mesmo processo de Watabane [WATANABE, 1995], diferenciando na maneira de armazenar as informações das interseções. Ao invés de uma árvore binária, é utilizada uma matriz bidimensional. Isto também otimiza o tempo de reconhecimento da tabela.

Novo método de reconhecimento de formulário para analisar as estruturas dos segmentos de linhas horizontais e verticais de um formulário tipo tabela, é apresentado por Fan e Chang em [FAN & CHANG, 1998] em seus estudos. O método utiliza, também, os nove tipos de cantos da figura 3.6, identificando-os e através das distâncias entre eles, tanto nas linhas horizontais quanto nas verticais, monta-se uma matriz de relacionamento. Esta matriz define a estrutura geométrica e hierárquica do formulário. Este método é utilizado também por Tran van Thom em [TRAN VAN THOM, 1997] em sua extração das células nos documentos.

3.4 ESTRUTURA LÓGICA DA TABELA

Esta fase consiste em analisar os relacionamentos entre os blocos identificados na fase anterior para reconhecer a estrutura hierárquica do formulário, a fim de criar a sua estrutura lógica. Feito isso, pode-se extrair os dados contidos em cada célula. Portanto, são analisados a seguir alguns estudos deste reconhecimento.

Watanabe e Fukumura em [WATANABE & FUKUMURA, 1992] apresentam um estudo de reconhecimento lógico de documentos dos tipos formulário tabela e catálogo de cartões. Nesta abordagem, eles fazem uma interpretação espacial e geométrica dos relacionamentos entre blocos, a fim de descobrir as suas estruturas internas, utilizando árvores binárias. Portanto, o método não se baseia somente nos valores de coordenadas físicas do documento, mas também nas informações lógicas extraídas da estrutura física. Para tal, os autores utilizam regras diferentes para cada tipo de documentos. O documento formulário tabela é analisado pelos segmentos de linhas horizontal e vertical. No documento catálogo de cartões é feita a análise pelos espaços que separam os blocos. Este segundo tipo de identificação é também utilizado por Hao

em [HAO, 1993] para a segmentação de um documento formulário a fim de extrair a estrutura lógica do mesmo. O autor utiliza o documento tipo texto para a análise do layout. Extraíndo as características do documento, através dos relacionamentos entre os blocos, pela distância entre os objetos identificados, monta-se a estrutura lógica, utilizando-se estruturas de árvores tipo grafos.

Da mesma forma, Tang em [TANG, 1993] apresenta uma pesquisa de como identificar as estruturas física e lógica de um documento. Ele exemplifica as fases da análise do documento por um modelo básico de processamento, o qual define o que é estrutura física ou geométrica e estrutura lógica. Na estrutura lógica, ele menciona o relacionamento entre os objetos, cuja análise do processamento para a extração dos elementos identificados é feita pelo mapeamento de uma estrutura de árvore.

Uma estratégia diferente na análise lógica de um documento é apresentada por Dengel em [DENGEL, 1993]. Ele adota tanto a análise "bottom-up" quanto à "top-down". Portanto, faz uma mistura destas estratégias, criando uma nova concepção de processamento de análise do documento. O autor diz que esta concepção gera uma aprendizagem da árvore durante o processamento, onde ela mesma gerencia o seu crescimento durante a classificação e rotulação lógica dos elementos de um documento.

Com o uso das árvores binárias para a construção da estrutura lógica, Watanabe em [WATANABE, 1995] mostra as estratégias adotadas no algoritmo em questão, utilizando as características extraídas na fase do layout físico (células ativas e células passivas), tal como apresentado no artigo anterior em [WATANABE & FUKUMURA, 1992].

Outra forma de desenvolver a estrutura lógica e física de um documento é através de ferramentas capazes de armazenar estas estruturas, proposta por Oliveira em [OLIVEIRA, 1998] em sua dissertação de mestrado. O autor faz um estudo destas ferramentas no reconhecimento de cheque bancário brasileiro. Para tal, ele analisa os padrões: SGML ("Standard Generalized Markup Language") e o ODA ("Open/Office Document Architecture"). Em seu experimento, ele adota o padrão SGML para armazenar as informações lógicas do cheque bancário, mostrando as normas de como aplicá-lo.

A presente pesquisa tem como objetivo o estudo da identificação da estrutura física da tabela, embora este capítulo descreva os estudos encontrados tanto para identificação da estrutura física quanto para a estrutura lógica de documentos.

Em vista disso, apresentamos, no capítulo 4, as ferramentas que serão usadas nas fases da metodologia apresentada no capítulo 5.

CAPÍTULO 4

FERRAMENTAS UTILIZADAS

4.1 INTRODUÇÃO

Durante o desenvolvimento da análise de tabelas, faz-se necessária a utilização de ferramentas específicas. Este capítulo vem explicitar as ferramentas que foram selecionadas para este trabalho. São elas: limiarização, morfologia matemática binária e histograma de densidade.

A limiarização foi escolhida porque, nesta pesquisa, o processamento das imagens é feito somente com imagens preto-brancas. Com isso, tem-se o uso da morfologia matemática binária, por trabalhar com imagem binária e oferecer ferramentas que não utilizam conhecimentos heurísticos, para a construção da estrutura física.

4.2 TÉCNICAS DE LIMIARIZAÇÃO

As técnicas de limiarização são importantes para o tratamento de tabelas. Uma boa descrição de algumas delas pode ser encontrada em O’Gorman e Kasturi [O’GORMAN & KASTURI, 1998].

O documento contém dois níveis ou planos de informações. O primeiro plano contém os objetos de interesse, identificado como plano de objetos, regiões de interesse ou plano de componentes; o segundo, é a região que compõe o fundo da imagem ou o

resto da imagem, com a qual o primeiro plano contrasta. As informações contidas nestes planos podem estar em níveis de cinza, tal como em fotografias.

A limiarização é uma técnica que pode ser usada para transformar uma imagem de níveis de cinza, em imagem binária, sendo neste caso chamada de binarização. A técnica de limiarização consiste em encontrar um valor de limiar, para que neste caso, possa separar os objetos de interesse, que estão em primeiro plano, daqueles que estão em segundo plano, de modo a perder o mínimo possível de informações consideradas relevantes. Esta técnica divide a imagem em duas classes: a preta, que é produzida na imagem resultante sempre que o valor do pixel na imagem original estiver abaixo do limiar especificado e a branca, caso estiver acima [O'GORMAN & KASTURI, 1998].

Portanto, se $f(x,y)$ é a imagem original, $g(x,y)$ a imagem limiarizada e T o valor de limiar, então a equação genérica de uma limiarização é dada da seguinte forma:

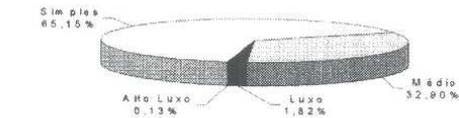
$$g(x,y) = \begin{cases} 0 & \text{se } f(x,y) < T \\ 1, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (4.1)$$

Seguindo a fórmula matemática acima, uma imagem em níveis de cinza pode ser binarizada por várias técnicas que produzem o cálculo do limiar de acordo com estratégias distintas, gerando então, valores de saída distintos. Desta forma, dependendo da técnica, poderá ocorrer um limiar muito alto, gerando uma imagem binária com ruído adicional ou um limiar muito baixo, apagando dados da imagem binária. Portanto, é preciso analisar a melhor técnica de limiarização a fim de produzir uma imagem binária satisfatória. Neste trabalho, será feita a comparação de resultados de imagens binárias produzidas por técnicas já existentes, que foram divididas em duas classes: Métodos Globais e Métodos Locais Adaptativos, segundo Mattana [MATTANA, 1999] e O'Gorman e Kasturi [O'GORMAN & KASTURI, 1998].

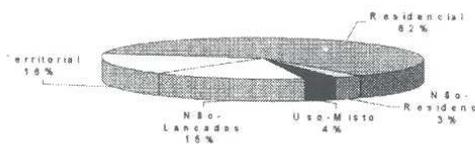
As figuras 4.1 e 4.2 ilustram exemplos de boa limiarização e de limiarização com valores de limiar muito alto e muito baixo, respectivamente.

Habitação	Bairro	Curitiba
Domicílios (1996)	5.973	429.963
Habitantes por Domicílios (1996)	3,67	3,43
Mediana da Área Construída (m² - 1998)	74,1	78,0
Conjuntos Habitacionais (1998)	-	-
Vilas de Ofício (1999)	0	13

Padrão Habitacional - 1996



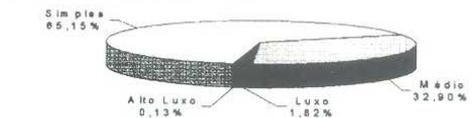
IPTU - Categoria do lançamento - 1998



(a)

Habitação	Bairro	Curitiba
Domicílios (1996)	5.973	429.963
Habitantes por Domicílios (1996)	3,67	3,43
Mediana da Área Construída (m² - 1998)	74,1	78,0
Conjuntos Habitacionais (1998)	-	-
Vilas de Ofício (1999)	0	13

Padrão Habitacional - 1996



IPTU - Categoria do lançamento - 1998



(b)

Figura 4.1 – (a) Imagem em níveis de cinza e (b) Limiarização obtida com um valor de limiar adequado(= 144).

Habitação	Bairro	Curitiba
Domicílios (1996)	5.973	429.963
Habitantes por Domicílios (1996)	3,67	3,43
Mediana da Área Construída (m² - 1998)	74,1	78,0
Conjuntos Habitacionais (1998)	-	-
Vilas de Ofício (1999)	0	13

Padrão Habitacional - 1996



IPTU - Categoria do lançamento - 1998



(a)

Habitação	Bairro	Curitiba
Domicílios (1996)	5.973	429.963
Habitantes por Domicílios (1996)	3,67	3,43
Mediana da Área Construída (m² - 1998)	74,1	78,0
Conjuntos Habitacionais (1998)	-	-
Vilas de Ofício (1999)	0	13

Padrão Habitacional - 1996



IPTU - Categoria do lançamento - 1998



(b)

Figura 4.2 - (a) Limiarização obtida com um valor de limiar muito baixo (= 20) e (b) com um valor de limiar muito alto(= 242).

O Método Global utiliza a aplicação de um só valor de limiar sobre a imagem toda. Este método pode apresentar falhas quando certas áreas do fundo têm os mesmos tons de cinza de certas áreas do primeiro plano objeto.

O Método Local Adaptativo, por sua vez, foi criado para resolver este problema, utilizando uma janela sobre a imagem para a qual são computados valores de limiares locais, evitando, assim, erros advindos de um único valor para toda a imagem [MATTANA, 1999].

De uma forma geral, para detectar o valor do limiar por qualquer técnica, utiliza-se o histograma. Este é uma representação de um gráfico probabilístico, formado pelo número de pixels de cada nível de cinza presentes na imagem. Através destes, escolhe-se o limiar pelo valor de cinza (0 a 255) através da estratégia adotada em cada técnica.

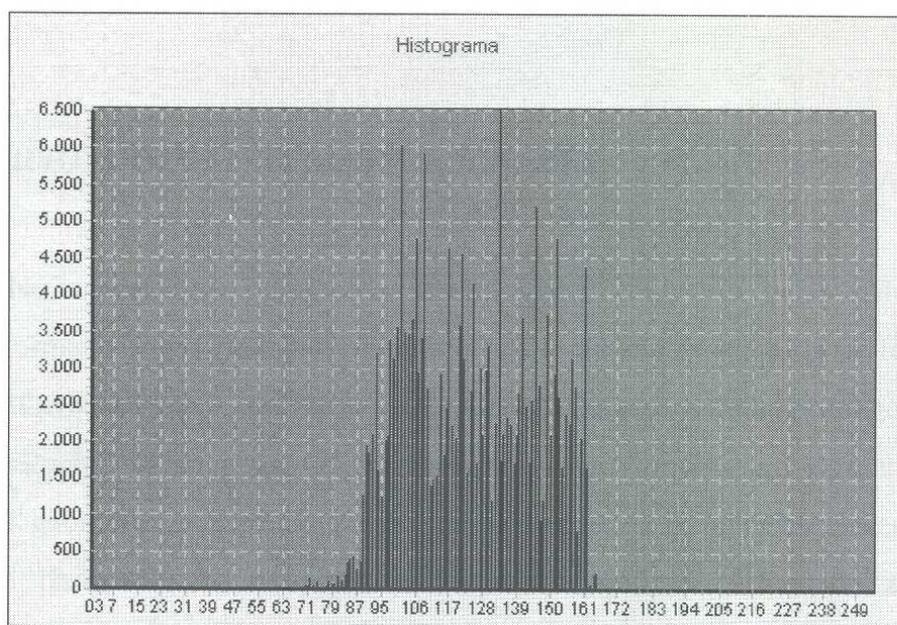


Figura 4.3 - Exemplo de Histograma de uma imagem.

Contudo, as limiarizações, algumas vezes, não produzem resultados perfeitos. Por este fato, há a necessidade de estudar as características da imagem e utilizar vários métodos de limiarização para comparar os resultados, a fim de encontrar a melhor qualidade de imagem binária.

Portanto, percebe-se a importância da escolha de um limiar para melhor separar objetos de características similares do fundo da imagem. O’Gorman e Kasturi [O’GORMAN & KASTURI, 1998] sugerem que a limiarização seja feita a partir de imagens com níveis de cinza (possuindo uma variedade de intensidades, geralmente de 0 a 255) e então, adotar métodos para a obtenção automática do valor que melhor execute a limiarização. Esta alternativa requer mais dados de entrada e mais processamento, sua vantagem é que um bom valor de limiar pode ser encontrado automaticamente, evitando a necessidade de consumo de tempo através do ajuste manual e digitalização repetida no ajuste da limiarização pelo “scanner”.

Neste trabalho, foi necessário pesquisar um algoritmo de limiarização adequado que gere um valor de limiar satisfatório para produzir uma boa imagem binária das tabelas.

4.3 MORFOLOGIA MATEMÁTICA BINÁRIA

No aspecto etimológico, a morfologia é composta pelas palavras gregas *morphê* (forma) e *logos* (ciência), que significa a ciência que estuda as formas de um objeto [FACON, 1996]. A morfologia matemática representa uma abordagem não linear de processamento de imagens. O seu princípio básico consiste em extrair informações relativas à geometria e à topologia de um conjunto de pixels desconhecido de uma imagem a partir de um conjunto perfeitamente definido, chamado de **elemento estruturante** [FACON, 1996].

Facon em [FACON, 1996] explica que há dois tipos de morfologia matemática: a **morfologia binária** que se aplica somente à imagens binárias e a **morfologia em níveis de cinza**, que opera com as imagens de tonalidades de cinza. Devido à sua possibilidade de processamento rápido a partir do formalismo de Minkowski [SERRA, 1982], o processamento de tabelas far-se-á a partir de imagens binárias. Portanto, serão descritos a seguir, alguns conceitos básicos da **morfologia binária**.

Como já foi explicada anteriormente, a morfologia extrai informações relativas à geometria e à topologia da imagem através do **elemento estruturante**. Este pode ser de qualquer tamanho e a sua interação com a imagem original produz uma nova imagem, de acordo com as posições dos pixels ativos desse elemento estruturante.

A morfologia matemática trabalha, basicamente, com dois operadores morfológicos, que são a erosão e a dilatação. Estas operações são executadas a partir de elementos estruturantes definidos que possibilitam a desejada interação. Portanto, a definição do elemento estruturante é fundamental quando se deseja alterar o conteúdo da imagem a ser processada. As maiorias das demais operações morfológicas estão baseadas na erosão e na dilatação, como por exemplo, a abertura, o fechamento, o afinamento, a esqueletização, a detecção de bordas e outras. A partir do formalismo de Minkowski, Serra em [SERRA, 1982] demonstrou que todas estas operações podem ser executadas de forma rápida com operadores lógicos.

4.3.1 Elemento Estruturante

Facon em [FACON, 1996] esclarece que o elemento estruturante é um conjunto bem definido e conhecido, na sua forma e no seu tamanho. Os pontos do elemento estruturante criam um sub-conjunto que vai interagir com a imagem. Portanto, a função do elemento estruturante é, de acordo com o operador morfológico escolhido, interagir com a imagem. A mudança do formato e no tamanho do elemento estruturante permite alterar a interação desse com a imagem, gerando assim resultados de processamento diferentes. O resultado da interação é colocado numa posição específica na imagem resultante, definida por um ponto especial do elemento estruturante chamado de ponto central (PC).

Os formatos (linear, quadrado, retangular, hexagonal ou outras formas), tamanhos (dois, três, sete ou mais pixels) e posição do PC podem ser dos mais variados possíveis, como mostra a figura 4.4, dependendo do tipo de aplicação desejado.

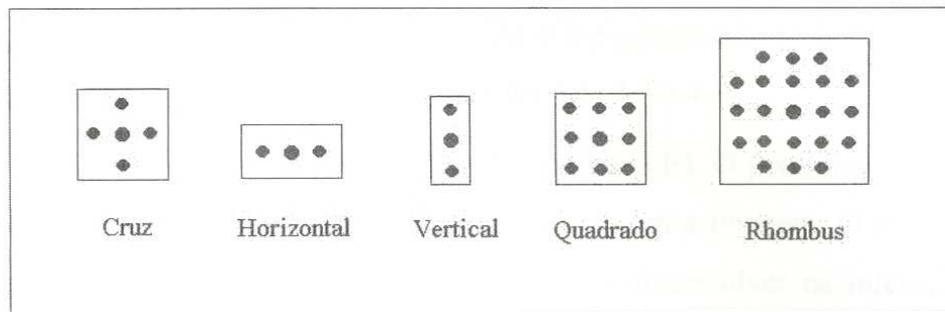


Figura 4.4 – Exemplos de formatos de elementos estruturantes.

Apresenta-se a seguir, os conceitos de erosão e dilatação binárias.

4.3.2 Erosão Binária

Erosão binária significa erodir ou diminuir os conjuntos de uma imagem binária. Essa redução é proporcional ao tamanho do elemento estruturante empregado.

A definição de erosão pelo formalismo de Minkowski [SERRA, 1982] é dada a seguir:

A erosão ε de um conjunto X pelo elemento estruturante B , seguindo o formalismo de Minkowski [SERRA, 1982] é:

$$\varepsilon^B(X) = X \ominus \tilde{B} = \bigcap_{b \in \tilde{B}} X_b \quad (4.2)$$

onde:

- \tilde{B} representa o transposto de B , isto é o simétrico de B em relação à origem.
- X_b representa a imagem X transladada na posição b ,
- \ominus representa a subtração de Minkowski.

Pode-se perceber que, pelo formalismo de Minkowski, a erosão é um operador morfológico que utiliza o operador lógico \mathbf{E} , fazendo as interseções entre as imagens X_b geradas por translação de X para a posição b . A grande vantagem dessa definição é a rapidez de processamento, facilitada pela operação lógica \mathbf{E} .

A seguir, a imagem binária da figura 4.5 é processada pela erosão com dois diferentes elementos estruturantes, nos exemplos 4.1, 4.2 e 4.3.

Representa-se por B o elemento estruturante (EE). O pixel marcado por “.” é um pixel inativo, neutro ou branco, que não interage com a imagem. O pixel marcado por “•” significa um pixel ativo que tem um papel a desenvolver na interação com a imagem. Os pixels “•” criam um sub-conjunto que irá agir sobre a imagem X. O resultado dessa interação é colocado numa posição específica, correspondente à do ponto central (PC) do elemento estruturante, na imagem resultante. O símbolo “(•)” representa este ponto central PC no elemento estruturante [FACON, 1996]. Portanto, a representação dos elementos estruturantes tipo cruz e horizontal é dada como mostra as figuras 4.6 e 4.7.

Exemplo 4.1:

A imagem da figura 4.5, é erodida pelo elemento estruturante B_C (tipo cruz), com 1 iteração*, gerando a figura 4.8.

Exemplo 4.2:

A imagem da figura 4.5 é erodida pelo elemento estruturante B_C (tipo cruz), com 6 iterações*, produzindo a figura 4.9.

Exemplo 4.3:

A imagem da figura 4.5 é erodida pelo elemento estruturante B_H (tipo horizontal), com 10 iterações*, resultando a figura 4.10.

$$B_C = \begin{Bmatrix} \cdot & \bullet & \cdot \\ \bullet & (\bullet) & \bullet \\ \cdot & \bullet & \cdot \end{Bmatrix}$$

Figura 4.6 – Elemento
Estruturante Cruz

$$B_H = \begin{Bmatrix} \cdot & \cdot & \cdot \\ \bullet & (\bullet) & \bullet \\ \cdot & \cdot & \cdot \end{Bmatrix}$$

Figura 4.7 – Elemento
Estruturante Horizontal



Figura 4.5 – Imagem binária.



Figura 4.8 – Imagem erodida com EE tipo cruz (1 iteração).



Figura 4.9 – Imagem erodida com EE tipo cruz (6 iterações).



Figura 4.10 – Imagem erodida com EE tipo horizontal (10 iterações).

Pelos exemplos das figuras 4.8, 4.9 e 4.10, observa-se que a erosão apresenta algumas características como: diminuição do tamanho do objeto na imagem, eliminação de objetos menores que o tamanho do elemento estruturante e separação de objetos próximos.

4.3.3 Dilatação Binária

Dilatação binária significa dilatar, ou aumentar de tamanho, uma imagem binária. Essa dilatação é proporcional ao tamanho do elemento estruturante empregado. A dilatação δ de um conjunto X pelo elemento estruturante B , seguindo o formalismo de Minkowski [SERRA, 1982] é:

$$dil^B(X) = X \oplus \tilde{B} = \bigcup_{b \in B} X_b \quad (4.3)$$

onde:

- \tilde{B} representa o transposto de B, isto é o simétrico de B em relação à origem,
- X_b representa a imagem X transladada para a posição b,
- \oplus representa a adição de Minkowski.

Pode-se perceber que, pelo formalismo de Minkowski, a dilatação é um operador morfológico que utiliza o operador lógico **OU**, fazendo as uniões entre as imagens X_b geradas por translação de X para a posição b. A grande vantagem dessa definição é a rapidez de processamento, facilitada pela operação lógica **OU**.

Utilizando, também, a imagem binária da figura 4.5, é apresentada a dilatação nos exemplos 4.4, 4.5 e 4.6.

Exemplo 4.4:

A imagem da figura 4.5, é dilatada pelo elemento estruturante B_C (tipo cruz), com 1 iteração, gerando a figura 4.11.

Exemplo 4.5:

A imagem da figura 4.5 como X, é processada pelo elemento estruturante B_C (tipo cruz), com 6 iterações, produzindo a figura 4.12.

Exemplo 4.6:

A imagem da figura 4.5, é dilatada pelo elemento estruturante B_H (tipo horizontal), com 10 iterações, gerando a figura 4.13.



Figura 4.5 – Imagem binária.



Figura 4.11 – Imagem dilatada com EE tipo cruz (1 iteração).



Figura 4.12 – Imagem dilatada com EE tipo cruz (6 iterações).



Figura 4.13 – Imagem dilatada com EE tipo horizontal (10 iterações).

Com a dilatação binária, percebe-se que as imagens apresentam efeitos como: aumento do tamanho dos objetos da imagem, conexão de objetos próximos e fechamento de espaços pequenos entre os objetos.

Portanto, a grande força e ao mesmo tempo o grande desafio da morfologia matemática, reside na associação da escolha adequada e judiciosa do elemento estruturante com as propriedades dos operadores de erosão e de dilatação. Essa busca de associação judiciosa de operadores com elementos estruturantes específicos será uma das metas principais pesquisadas nesse trabalho, a fim de adequar a operação morfológica ao processamento de tabelas, tanto na fase de detecção e inclinação do ângulo, como na fase de busca do layout físico, descritos no capítulo 5 (Metodologia Desenvolvida).

4.3.4 Reconstrução Binária

A reconstrução binária é um operador morfológico, inicialmente baseado na dilatação condicional, que busca recuperar a forma original de um objeto que sofreu modificações em outros processos.

Para isso, define-se a imagem original dos objetos a serem reconstruídos como **imagem máscara** ou simplesmente **máscara** e a imagem dos objetos que sofreram modificações como **imagem de marcadores** ou simplesmente **marcador**.

No formalismo matemático, representando-se como **S** a imagem máscara, **Z** o marcador e **B** o elemento estruturante, a definição da reconstrução binária tem a seguinte forma [FACON, 1996]:

$$\rho_S^B(Z) = \lim_{\eta \rightarrow +\infty} \underbrace{dil_{cS}^B(\dots dil_{cS}^B(Z))}_{\eta} \quad (4.4)$$

dil_{cS}^B representa a dilatação condicional do subconjunto Z da imagem S , pelo elemento estruturante B , definida como :

$$dil_{cS}^B(Z) = dil^B(Z) \cap S$$

Com isto, a reconstrução consiste em dilatar condicionalmente n vezes o marcador Z até atingir a convergência, isto é, até que a imagem reconstituída não sofra mais modificações.

Todos, e somente estes, os objetos da máscara marcados pelos marcadores serão reconstruídos. Com as iterações da dilatação condicional, os padrões reconstituem-se pouco a pouco. À medida que o número de iterações cresce, pode-se constatar uma evolução da reconstrução dos objetos marcados. Para um número específico de iterações, o nível de reconstrução atingido depende do desgaste dos marcadores e da forma dos objetos a serem reconstruídos.

Para melhor exemplificar estes conceitos, tem-se a imagem binária da figura 4.14 como imagem original. Esta será, portanto a imagem máscara. Pretende-se então, erodir esta imagem com o elemento estruturante quadrado, com 3 iterações, produzindo

uma imagem com resíduos da letra “Q” e do número “2”. Estes resíduos formam a imagem marcadora (figura 4.15). Esta imagem marcadora irá apenas recuperar os dois padrões, “Q” e “2”. Para tanto, efetua-se a dilatação condicional com a máscara definida anteriormente, produzindo assim a reconstrução somente desta parte da imagem.

A princípio, o número de iterações utilizado para esta reconstrução foi 5, produzindo parcialmente os padrões desejados, como mostra a figura 4.16. Para reconstruir a informação desejada completamente, foram necessárias 20 iterações neste processo (figura 4.17). Com isto, os padrões reconstruídos ficaram idênticos e nenhum padrão indesejável apareceu.

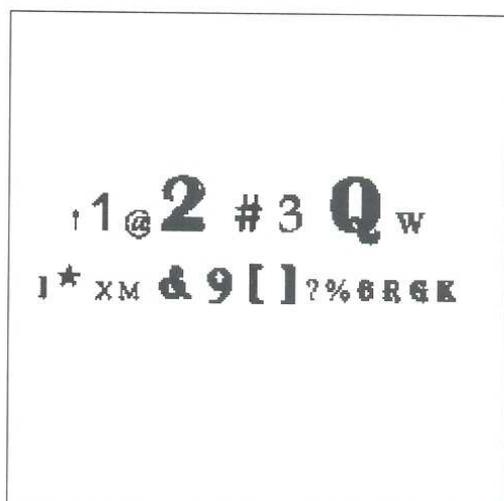


Figura 4.14 – Imagem máscara da reconstrução binária.

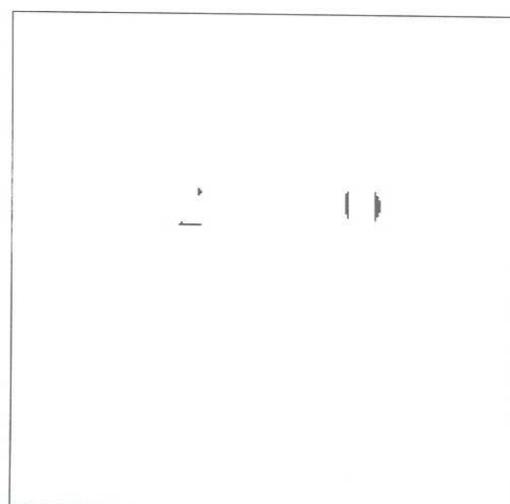


Figura 4.15 – Imagem marcadora da reconstrução binária.

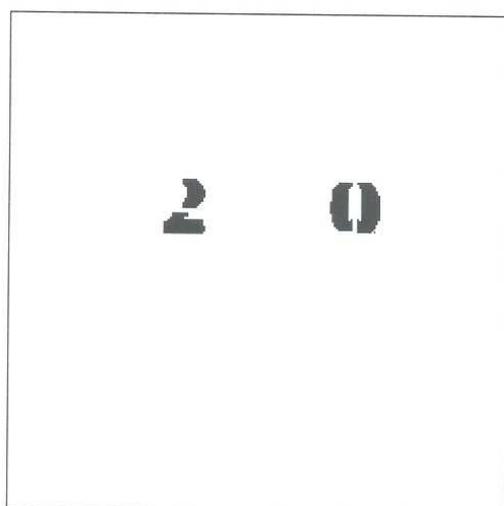


Figura 4.16 – Reconstrução binária com 5 iterações.

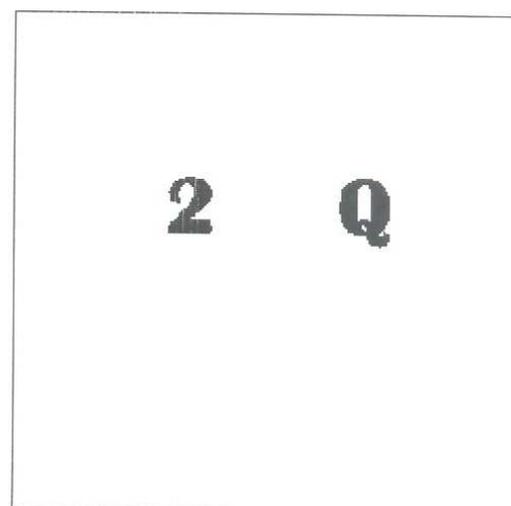


Figura 4.17 – Reconstrução binária com 20 iterações.

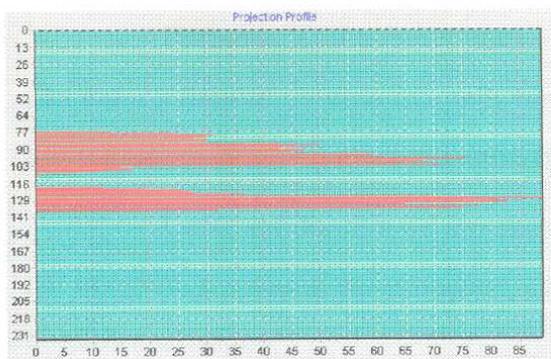
Com das figuras 4.14 à 4.17, Facon em [FACON, 1996] explica a importância da reconstrução. As filtragens clássicas permitem eliminar padrões indesejáveis, porém em muitos casos, chegam a deformar os padrões desejados. Por reconstrução morfológica, é possível eliminar esse problema e recuperar os padrões exatos.

Desta maneira, a reconstrução binária é um tipo de filtragem de imagem eficiente e poderoso, que não produz resíduos ou padrões adicionais. Essa será uma das técnicas utilizadas na identificação do layout físico de tabelas nesta pesquisa.

4.4 HISTOGRAMA DE DENSIDADE

A técnica de Histograma de Densidade é muito conhecida e utilizada para avaliar a detecção da inclinação de um documento, embora a sua aplicação não se restrinja somente a isto.

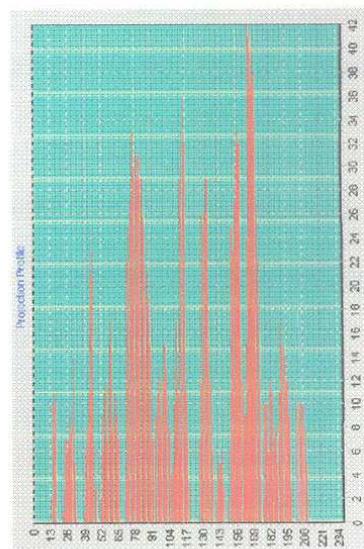
Esta técnica produz um histograma de valores ativos (pretos) acumulados ao longo de uma linha de uma imagem binária, podendo ser analisada no sentido horizontal ou vertical. O histograma de densidade horizontal acumula os pixels ativos ao longo das linhas horizontais do documento e o histograma de densidade vertical, ao longo das linhas verticais, como mostra o exemplo da figura 4.18.



(b)



(a)



(c)

Figura 4.18 – (a) Imagem binária com o resultado do (b) Histograma de Densidade Horizontal e (c) Histograma de Densidade Vertical.

Os pesquisadores O’Gorman e Kasturi em [O’GORMAN & KASTURI, 1998] analisam estas duas orientações, horizontal e vertical, da seguinte forma:

- As larguras dos picos do histograma de densidade horizontal são iguais às alturas dos caracteres e dos números;
- As larguras dos vales do histograma de densidade horizontal, são iguais ao espaçamento entre as linhas;
- Os planaltos do histograma de densidade vertical representam as larguras de cada coluna e os seus vales, os espaçamentos entre as colunas e os espaços das margens esquerda e direita do documento.

Portanto, esta técnica possui um forte potencial de aplicação na identificação das características de uma imagem binária, em tarefas tais como, verificar o ângulo de inclinação através da separação entre os seus picos.

Deste modo, tem-se um método capaz de analisar os subconjuntos existentes na imagem e extrair informações como posição, tamanho e espaçamento entre os objetos analisados.

Contudo, esta técnica será utilizada nesta pesquisa para identificar as características da imagem tabela, principalmente as informações referentes aos tipos de cantos existentes nesta, como é mostrado detalhadamente no capítulo seguinte.

Neste capítulo, apresentamos as ferramentas básicas necessárias que serão utilizadas para a identificação da estrutura física do documento tipo tabela.

No próximo capítulo, apresentamos a metodologia proposta, bem como a descrição de cada etapa que a compõe.

CAPÍTULO 5

METODOLOGIA DESENVOLVIDA

5.1 INTRODUÇÃO

A metodologia da pesquisa desenvolvida neste trabalho pode ser decomposta em seis etapas, mostradas no fluxograma da figura 5.1.



Figura 5.1 - Fases da Metodologia da Pesquisa.

A estratégia de análise empregada nesta metodologia, caracteriza-se como do tipo “bottom-up”, ou seja, primeiro, identificam-se às partes internas do documento e depois, é realizada a extração do documento como um todo [O`GORMAN & KASTURI, 1998]. Na próxima seção, são fornecidas a descrição completa de cada uma destas fases, com as suas respectivas abordagens, a fim de se chegar ao resultado final de extração de células dos dados da tabela.

5.2 HARDWARE E SOFTWARE UTILIZADOS

Para desenvolver esta metodologia, utilizamos os seguintes recursos computacionais:

- **Hardware:** “Personal Compatible Pentium” INTEL 266, 32 bits e com 62 MB de memória RAM;
- **Software:** a metodologia foi desenvolvida no ambiente Windows, utilizando a linguagem de programação Borland Delphi Client Server Suite 4.0.

5.3 AQUISIÇÃO E LIMARIZAÇÃO DA TABELA

Esta primeira fase, a de Aquisição da Imagem, é obtida por meio de um “scanner”, com 300 dpi, que irá gerar uma imagem digitalizada em 256 níveis de cinza. Esta imagem será transformada em uma imagem binária através do processo de limiarização, já descrito no capítulo 4, a fim de prepará-la para a fase seguinte.

No processo, de binarização da imagem, foram utilizadas diferentes técnicas de determinação do limiar, que por sua vez, foram comparadas entre si, para identificar o melhor algoritmo a ser usado nas imagens do formulário padrão do IPPUC. Estas técnicas são Anisotropia, Bernsen, Entropia, Fuzzy de Yager, Fuzzy de Huang, Johannsen, Kittler, Niblack, Ostu, Entropia de Pun e Thrussel [MATTANA, 1990]. Para

fazer a avaliação, utilizaram-se vinte e cinco imagens de teste do formulário IPPUC, como mostra a figura 5.2.

INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA
SUPERVISÃO DE INFORMAÇÕES - SETOR DE PESQUISA
PESQUISA: CONTAGEM DE TRAFEGO

NOME DO PESQUISADOR: Carla Leticia de Souza

DATA: 20.02.98
CÓDIGO DO PESQUISADOR: _____
CÓDIGO DO CRUZAMENTO: _____

CONDIÇÕES CLIMÁTICAS
 SOL GARÇA
 NUBLADO CHUVA

TEMPO	FLUXO N° 5			FLUXO N° 15			FLUXO		
	Automovel	Caminhão	Carro	Automovel	Caminhão	Carro	Automovel	Caminhão	Carro
07:00	108			15			2		
07:15	108	1	5						
07:30	162	2	5	108	2	9			
07:45	196	4	3	147	3	3			
08:00	189	1	1	154	1	5			

TEMPO	FLUXO			FLUXO			FLUXO		
	Automovel	Caminhão	Carro	Automovel	Caminhão	Carro	Automovel	Caminhão	Carro
08:00				108	4	6			
08:15	146	3	2	108	4	6			
08:30	151	3	2	111	2	12			
08:45	150	2	4	108	1	7			
09:00	131	1	9	120	7	9			

Figura 5.2 – Exemplo de uma tabela em níveis de cinza.

Para medir a qualidade das imagens resultantes, estabeleceu-se um padrão quantitativo de avaliação visual subjetiva, com notas de 0 à 5, testando assim, cada uma das técnicas desenvolvidas. Esta avaliação foi definida da seguinte forma:

- A nota zero foi estipulada para imagens imperfeitas (totalmente preta ou branca) ou quando não há resposta do algoritmo;
- A nota um, para imagens bem apagadas;
- A nota dois, para imagens parcialmente apagadas;
- A nota três, para imagens das quais desapareceram somente os números manuscritos ou quando apareceu muito ruído adicional;
- A nota quatro, para imagens com algumas falhas nos números manuscritos e

- A nota cinco, para imagens com boa legibilidade.

Feitos os testes, obteve-se os seguintes resultados:

Técnicas	Média
Anisotropia	2,7
Bersen	0,2
Entropia	1,8
Fuzzy de Yager	2,5
Fuzzy de Huang	0
Johannsen	4,8
Kittler	2,6
Niblack	0
Otsu	3,9
Entropia de Pun	1,1
ThrusseI	0,8

Tabela 5.1 – Tabela de testes de limiarização com as imagens do formulário IPPUC.

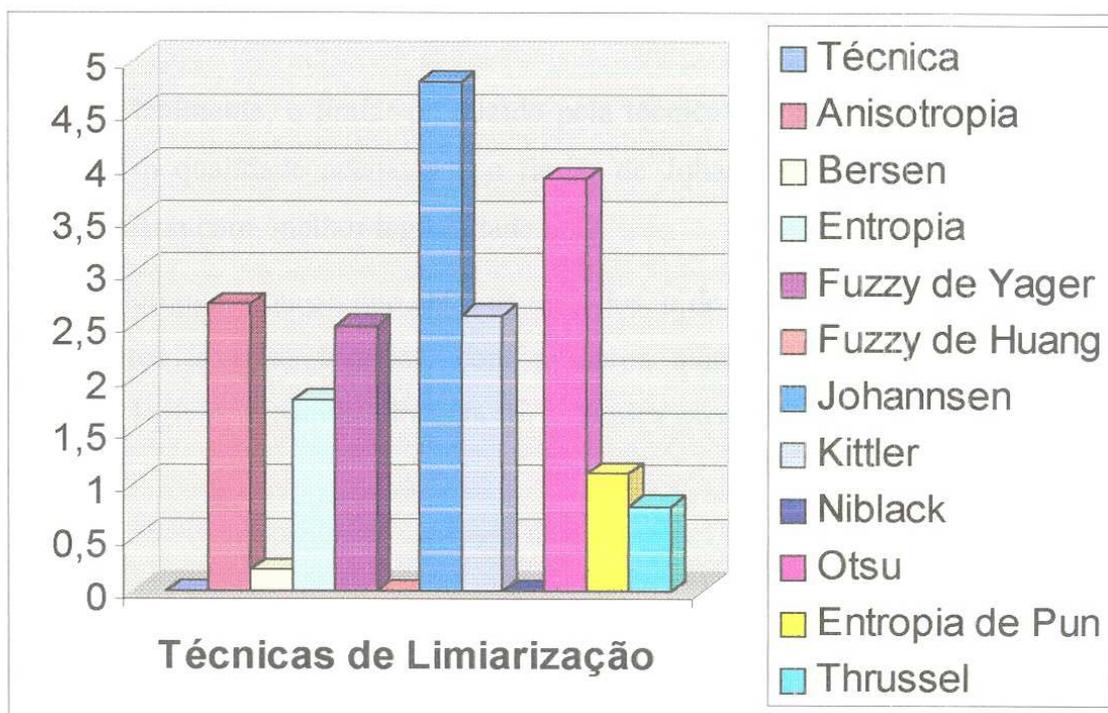


Figura 5.3 – Representação gráfica quantitativa dos testes de limiarização.

A tabela 5.1 mostra que os resultados das técnicas são muito variados. Dentre as onze técnicas aplicadas, quatro técnicas forneceram resultados muito ruins que são: Bersen, Fuzzi Huang, Niblack e Pun Entropia. Das outras, os resultados são mostrados a seguir, com a amostra da imagem 1 deste teste.

Com a técnica Fuzzy de Yager (figura 5.4), detectou-se um limiar muito baixo, causando a perda dos dados manuscritos da imagem tabela.

Por outro lado, com a técnica por Anisotropia (figura 5.5), houve o cálculo de um limiar muito alto, resultando na introdução de ruído na imagem binária.

A técnica por Entropia (figura 5.6), produziu uma imagem binária com os números manuscritos levemente apagados, resultantes de um limiar baixo. Da mesma forma, a técnica de Kittler (figura 5.7) teve um limiar ainda mais baixo, apresentando uma imagem com os números manuscritos parcialmente apagados.

A imagem binária obtida com o limiar produzido pela técnica de Thrussel (figura 5.9) ficou quase que totalmente apagada, devido ao limiar baixíssimo. Houve a perda de todas as informações de interesse da imagem, ficando inviável o uso desta técnica.

Finalmente, o limiar produzido pela técnica de Otsu (figura 5.8) gerou uma imagem com qualidade aceitável e o limiar de Johannsen (figura 5.10), produziu a imagem binária com melhor legibilidade.

Portanto, nota-se que entre os métodos, o de Johannsen (figura 5.10) resultou nas melhores imagens binárias, com números manuscritos nítidos e a tabela do formulário legível. Assim sendo, esta foi a técnica escolhida para ser usada na presente pesquisa.



Figura 5.4 – Limiarização de Fuzzi de Yager.

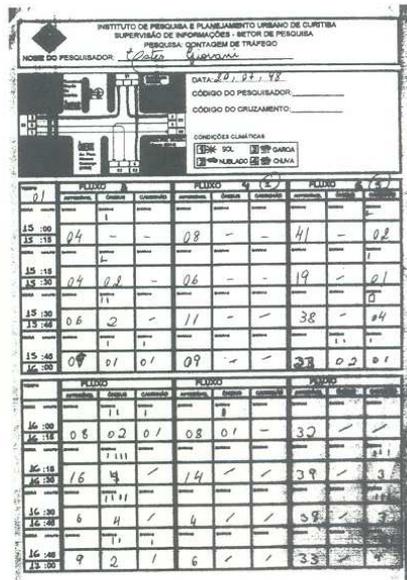


Figura 5.5 – Limiarização por Anisotropia.

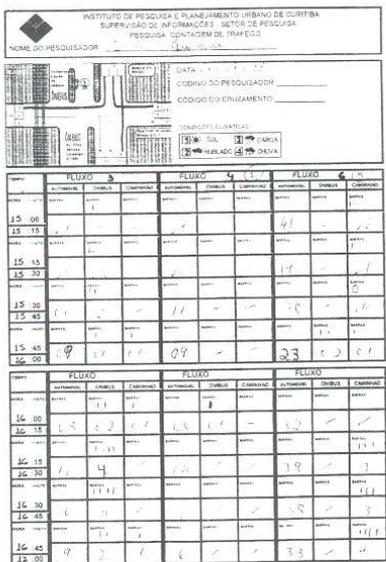


Figura 5.6 – Limiarização por Entropia.



Figura 5.7 – Limiarização de Kittler.

INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA
SUPERVISAO DE INFORMACOES - SETOR DE PESQUISA
PESQUISA CONTAGEM DE TRAFEGO

NOME DO PESQUISADOR: Paulo Roberto de Aguiar

DATA: 21.11.73

CODIGO DO PESQUISADOR: _____

CODIGO DO CRUZAMENTO: _____

CONDICAO CLIMATICA:
 SOL NUBLADO CHUVA

Hora	FLUXO 3			FLUXO 4			FLUXO 5		
	Atividade	Ocupado	Camionado	Atividade	Ocupado	Camionado	Atividade	Ocupado	Camionado
15 00									
15 15	04	-	-	08	-	-	41	-	08
15 30	04	02	-	06	-	-	19	-	01
15 45	06	02	-	11	-	-	38	-	04
15 00	09	01	01	09	-	-	33	02	01

Hora	FLUXO 3			FLUXO 4			FLUXO 5		
	Atividade	Ocupado	Camionado	Atividade	Ocupado	Camionado	Atividade	Ocupado	Camionado
16 00									
16 15	05	02	01	08	01	-	30	-	-
16 30	16	4	-	14	-	-	39	-	3
16 45	6	4	-	6	-	-	59	-	3
16 00	9	2	1	6	-	-	33	-	4

Figura 5.8 – Limiarização de Otsu.

Figura 5.9 – Limiarização de Thrussel.

INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA
SUPERVISAO DE INFORMACOES - SETOR DE PESQUISA
PESQUISA CONTAGEM DE TRAFEGO

NOME DO PESQUISADOR: Paulo Roberto de Aguiar

DATA: 21.11.73

CODIGO DO PESQUISADOR: _____

CODIGO DO CRUZAMENTO: _____

CONDICAO CLIMATICA:
 SOL NUBLADO CHUVA

Hora	FLUXO 3			FLUXO 4			FLUXO 5		
	Atividade	Ocupado	Camionado	Atividade	Ocupado	Camionado	Atividade	Ocupado	Camionado
15 00									
15 15	04	-	-	08	-	-	41	-	08
15 30	04	02	-	06	-	-	19	-	01
15 45	06	02	-	11	-	-	38	-	04
15 00	09	01	01	09	-	-	33	02	01

Hora	FLUXO 3			FLUXO 4			FLUXO 5		
	Atividade	Ocupado	Camionado	Atividade	Ocupado	Camionado	Atividade	Ocupado	Camionado
16 00									
16 15	05	02	01	08	01	-	30	-	-
16 30	16	4	-	14	-	-	39	-	3
16 45	6	4	-	6	-	-	59	-	3
16 00	9	2	1	6	-	-	33	-	4

Figura 5.10 – Limiarização de Johannsen.

Limiarização por Entropia de Johannsen

O método por entropia de Johannsen [JOHANNSEN & BILLE, 1982], baseia-se na separação dos níveis de cinza da imagem em duas classes, a fim de minimizar a interdependência entre elas. Este método baseia-se no cálculo da entropia, que é uma medida de conteúdo de informação. A função entropia de um símbolo x é dada por: $E(x) = -x \log(x)$

Extrapolando-se o conceito acima, uma imagem, que é uma fonte de níveis de cinza, pode ser também vista como uma fonte de símbolos. O algoritmo por entropia de Johannsen baseia-se no cálculo da entropia para os conjuntos de pixels pretos e de pixels brancos da imagem limiarizada, respectivamente. A entropia associada ao conjunto dos pixels pretos, utilizando-se o limiar t , é dada por $S_b(t)$:

$$S_b(t) = \log\left(\sum_{i=0}^t p_i\right) + \frac{1}{\sum_{i=0}^t p_i} \left[E(p_t) + E\left(\sum_{i=0}^{t-1} p_i\right) \right] \quad (5.1)$$

Onde p_t representa a probabilidade cumulativa até o nível de cinza t e p_i é a probabilidade atual do pixel i .

De forma análoga, a entropia dos pixels brancos da imagem binária é dada por $S_w(t)$:

$$S_w(t) = \log\left(\sum_{i=t}^{255} p_i\right) + \frac{1}{\sum_{i=t}^{255} p_i} \left[E(p_t) + E\left(\sum_{i=t+1}^{255} p_i\right) \right] \quad (5.2)$$

Segundo o algoritmo de Johannsen, o valor do limiar ótimo é o valor de t que minimiza a soma $S_b(t) + S_w(t)$. Os valores calculados para $S_b(t)$ e $S_w(t)$ devem ser desprezados para valores de t quando $p_t = 0$.

5.4 DETECÇÃO E CORREÇÃO DA INCLINAÇÃO DA TABELA

A fase de Detecção e Correção da Inclinação do Formulário exerce uma importância fundamental neste estudo, porque a imagem documento precisa estar na posição horizontal com inclinação igual a zero a fim de que seja executada a fase de Extração da Estrutura Física do Formulário. Para isso, foram criados, dois procedimentos: o módulo de Detecção da Inclinação, que identifica o ângulo de

inclinação utilizando os recursos da Morfologia Matemática Binária e o módulo de Correção da Inclinação, utilizando o ângulo avaliado anteriormente. Neste último módulo, aplica-se a técnica de rotação de ângulo inverso.

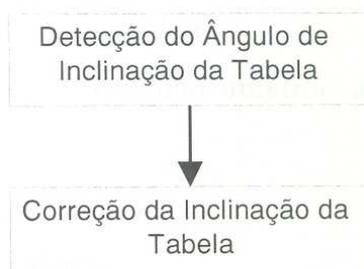


Figura 5.11 – Módulos da fase Detecção e Correção da Inclinação do Formulário.

5.4.1 PROCEDIMENTO DE DETECÇÃO DA INCLINAÇÃO DA TABELA

5.4.1.1 Introdução

Existem várias técnicas para identificar a inclinação de uma imagem, como foi visto no capítulo 3. Embora estas técnicas sejam eficientes, a presente pesquisa criou uma nova abordagem, utilizando a ferramenta da Morfologia Matemática Binária. Assim, esta sub-seção descreve como foram definidos e construídos os elementos estruturantes dos ângulos, e demonstra o método gerado com os operadores morfológicos para a detecção destes ângulos.

5.4.1.2 Avaliação da Inclinação

A avaliação dos ângulos foi feita utilizando o algoritmo de detecção do Ângulo de Inclinação, descrito em conjunto com as operações da morfologia matemática binária.

De acordo com o estudo apresentado no capítulo 4, as operações morfológicas básicas são duas: erosão e dilatação. Nesta seção, é apresentada uma investigação dos efeitos produzidos por estas operações.

a) Estudo dos efeitos da Erosão e da Dilatação:

Facon [FACON, 1996] apresenta, em sua análise, alguns efeitos gerados pela erosão, tais como:

- diminuição do tamanho de partículas;
- eliminação de grãos de tamanho inferior ao tamanho do elemento estruturante;
- aumento dos buracos;
- separação de grãos próximos.

Da mesma forma, os efeitos obtidos pela dilatação são:

- engrossamento das partículas;
- preenchimento de pequenos buracos;
- conexão de grãos próximos.

Embora estes efeitos sejam comuns nestas operações morfológicas, percebe-se que a escolha do elemento estruturante utilizado na operação, é fundamental para produzir estes resultados. Desta forma, esta pesquisa investigou o uso de diferentes elementos estruturantes, para produzir diversos tipos de efeitos.

Para isso, têm-se exemplos de algumas operações realizadas com dois elementos estruturantes básicos, o horizontal e o vertical, representados, respectivamente, por **B_h** e **B_v**, como mostra a figura 5.12. As imagens testadas são do tipo tabela (figuras 5.13 e 5.14).

$$B_h = \begin{Bmatrix} \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & (\cdot) & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \end{Bmatrix} \text{ e } B_v = \begin{Bmatrix} \cdot & \bullet & \cdot \\ \cdot & (\cdot) & \cdot \\ \cdot & \bullet & \cdot \end{Bmatrix}$$

Figura 5.12 – Elementos estruturantes usados nas amostras.

Efeitos da Erosão e da Dilatação sobre a Tabela Original (figura 5.13):

Com o elemento estruturante **B_h**, foi feita a operação de erosão, com 10 iterações, utilizando a imagem original da figura 5.13, produzindo a imagem mostrada na figura 5.15.

Na segunda operação de erosão, utilizou-se o elemento estruturante **B_v**, também com 10 iterações, na mesma imagem original, gerando a imagem da figura 5.16.

Na terceira operação, foi feita a dilatação, com o elemento estruturante **B_h**, com 10 iterações, produzindo como resultado a imagem da figura 5.17. Finalmente, foi usado o elemento estruturante vertical (**B_v**), em uma dilatação com 10 iterações, criando a imagem da figura 5.18.

Analisando as imagens resultantes nas figuras 5.15 e 5.16, obtidas com a operação de erosão, percebe-se que a imagem original, quando processada pelo elemento estruturante horizontal, teve somente uma pequena alteração na largura, conservando a mesma altura que a original. Observa-se também o desaparecimento das linhas finas verticais (figura 5.15). Na operação realizada com elemento estruturante vertical, tem-se o desaparecimento das linhas horizontais e a conservação das verticais (figura 5.16). Então, conclui-se que quando a orientação do elemento estruturante aproxima-se da orientação da tabela, ocorre uma modificação mais limitada, de acordo com o número de iterações processadas. Desta análise, conclui-se que quando a orientação do elemento estruturante se identifica com a dos subconjuntos processados da imagem (no caso da erosão), a imagem erodida apresenta uma redução menor de pixels ativos, enquanto para outras orientações ocorre uma maior eliminação de pixels ativos.

Da mesma forma, averiguando os efeitos da dilatação com **B_h**, observa-se na figura 5.17 o aumento horizontal da largura dos segmentos de linhas verticais. Para a dilatação com **B_v**, observa-se na figura 5.18 o aumento vertical da altura das linhas horizontais. Nota-se, portanto, que também é menor a modificação do conteúdo da imagem original (menor contagem dos pixels ativos) quando a orientação do elemento estruturante é parecida com a da tabela. Logo, com a operação de dilatação, ocorreu a

identificação do conteúdo da imagem com a orientação do elemento estruturante. Este efeito produz a imagem dilatada com a menor adição de pixels ativos.

Efeitos da Erosão com a Tabela inclinada de 3 graus (figura 5.14):

Na seção Construção dos Elementos Estruturantes dos Ângulos, será apresentado um conjunto de elementos estruturantes compostos por uma linha, com diferentes graus de inclinação.

Com o elemento estruturante de grau “zero”, foi realizada a operação de erosão, com 1 iteração, utilizando a imagem original da figura 5.14 e produzindo a imagem da figura 5.19.

Na segunda operação de erosão com a imagem original, utilizou-se o elemento estruturante de grau três, também com 1 iteração, gerando a imagem da figura 5.20.

Percebeu-se com o elemento estruturante de grau “três” que, houve uma redução mínima da imagem enquanto com o grau “zero”, uma redução maior. Desta forma, pode-se identificar o ângulo pelo tipo do elemento estruturante que produz a menor modificação da imagem.

Baseando-se nestes experimentos, desenvolveu-se a abordagem para avaliar o resultado dos operadores de erosão e de dilatação, medindo o grau de mudanças ocorridas em função do tipo de elemento estruturante empregado. No caso de documento tipo tabela, a idéia reside no uso de vários elementos estruturantes de ângulos, apresentando as inclinações de 0 a 10 graus (positivos e negativos) e na capacidade destes para medir o grau de inclinação ocorrida, através das comparações da imagem original com as imagens processadas resultantes da operação morfológica. A medida será identificada pela menor mudança ocorrida nestas imagens. Quer sejam empregada a erosão ou a dilatação, a menor mudança ocorrerá para o elemento estruturante que apresentar a mesma inclinação ou a mais parecida com a imagem original. No caso da erosão, a menor mudança corresponde à menor redução de pixels e no caso da dilatação à menor adição de pixels. Desta forma, consegue-se identificar a inclinação das tabelas.

5.4.1.3 Definição da Família de Elementos Estruturantes

Segue-se, neste tópico, o estudo empregado para definição dos elementos estruturantes de cada ângulo [NEVES & FACON, 1999].

O primeiro passo foi definir a abrangência ou a quantidade de ângulos a serem usados na avaliação da detecção. É necessário definir isso, pois são criados previamente, os elementos estruturantes dos ângulos que serão analisados. Tem-se como hipótese que, durante a aquisição do documento, o formulário foi posicionado no interior do "scanner", encostando o rodapé do papel na borda da bandeja. Então, a inclinação pode ser provocada pela imagem já inclinada no papel ou, quando fechada à tampa do "scanner", o movimento da mesma provoca a alteração do posicionamento deste formulário.

Em razão disso, concluiu-se que as inclinações são limitadas a um erro máximo de posicionamento no "scanner", cometido pelo usuário, de 10 graus. Portanto, definiu-se uma abrangência máxima de 10 graus, positivos e negativos, contando com o zero, totalizando 21 ângulos. Logo, foram criados 21 elementos estruturantes para detecção do ângulo de inclinação.

O segundo passo, foi definir o tamanho do elemento estruturante. Para este estudo, foi utilizada a matemática trigonométrica. Usando a fórmula da tangente do ângulo, foi possível fazer o estudo do tamanho do elemento estruturante.

Sendo α o ângulo da tangente, **a** o cateto adjacente, **b** o cateto oposto e **c** a hipotenusa, como mostra a figura 5.21, têm-se os elementos necessários para este estudo.

$$\tan g \alpha = \frac{b}{a} = \frac{\text{distância euclidiana em relação a inclinação da tabela}}{\text{tamanho do elemento estruturante}} \quad (5.3)$$

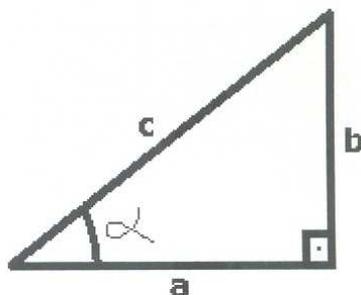


Figura 5.21 - Ângulo alfa representa a inclinação da tabela.

No caso em estudo, α é o ângulo de inclinação da tabela, formado pela inclinação da base inferior da imagem, a qual é representado por **c**. Nesta inclinação, é possível averiguar a distância euclidiana que o ângulo provoca, **b**. A combinação da distância euclidiana **b** com o ângulo α permite determinar o tamanho do elemento estruturante, **a**. Percebe-se que a precisão da avaliação do ângulo α depende principalmente do parâmetro **b**. A precisão será obtida a partir do valor adequado de **a** que irá condicionar o valor de **b** inteiro, diferente para cada ângulo. Com isso, gerando uma distância euclidiana **b**, de tamanho diferente, inteiro, para cada ângulo, haverá a correta detecção do ângulo inclinado.

Portanto, foi feita a análise das distâncias euclidianas produzidas para os ângulos de 0 a 10 graus, com incremento de 1 grau, com o tamanho de **a** variando de 25 a 63 pixels, como mostra a tabela 5.2. Nesta tabela, as colunas são associadas ao ângulo de inclinação e as linhas, ao tamanho do elemento estruturante, representado por **a**, em pixels. Os valores armazenados na tabela são as distâncias euclidianas **b**, produzidas pela fórmula matemática 5.3.

O tamanho escolhido deve produzir valores de **b** com a máxima aproximação possível de um valor inteiro. Caso contrário estes valores dificultarão o processo de detecção. Observando-se a tabela 5.2, nota-se que os tamanhos maiores, sobretudo o de

57 pixels, são os que melhor satisfazem este requisito. Logo, o tamanho de 57 pixels foi escolhido como a medida adequada para a construção dos elementos estruturantes.

Ângulos/ Tamanhos (a)	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
25 pixels	0.4365	0.8730	1.3103	1.7483	2.1873	2.6276	3.0695	3.5135	3.9595	4.4082
27 pixels	0.4714	0.9429	1.4151	1.8881	2.3622	2.8378	3.3151	3.7946	4.2763	4.7608
29 pixels	0.5063	1.0127	1.5199	2.0280	2.5372	3.0480	3.5606	4.0757	4.5930	5.1135
31 pixels	0.5413	1.0825	1.6247	2.1678	2.7122	3.2582	3.8062	4.3567	4.9098	5.4661
33 pixels	0.5762	1.1524	1.7295	2.3077	2.8872	3.4684	4.0517	4.6378	5.2265	5.8188
35 pixels	0.6111	1.2222	1.8344	2.4476	3.0622	3.6786	4.2973	4.9189	5.5333	6.1714
37 pixels	0.6460	1.2921	1.9392	2.5874	3.2371	3.8889	4.5429	5.2000	5.8601	6.5241
39 pixels	0.6809	1.3619	2.0440	2.7273	3.4121	4.0991	4.7884	5.4811	6.1768	6.8768
41 pixels	0.7159	1.4318	2.1488	2.8671	3.5871	4.3093	5.0340	5.7621	6.4936	7.2294
43 pixels	0.7508	1.5016	2.2536	3.0070	3.7621	4.5195	5.2795	6.0432	6.8103	7.5821
45 pixels	0.7857	1.5714	2.3585	3.1469	3.9371	4.7297	5.5251	6.3243	7.1271	7.9347
47 pixels	0.8206	1.6413	2.4633	3.2867	4.1120	4.9399	5.7707	6.6054	7.4439	8.2874
49 pixels	0.8555	1.7111	2.5681	3.4266	4.2870	5.1501	6.0162	6.8865	7.7606	8.6400
51 pixels	0.8905	1.7810	2.6729	3.5664	4.4620	5.3503	6.2618	7.1675	8.0774	8.9927
53 pixels	0.9254	1.8508	2.7777	3.7063	4.6370	5.5605	6.5073	7.4486	8.3941	9.3453
55 pixels	0.9603	1.9206	2.8826	3.8462	4.8120	5.7807	6.7529	7.7297	8.7109	9.6980
57 pixels	0.9952	1.9905	2.9874	3.9860	4.9869	5.9909	6.9985	8.0108	9.0277	10.0506
59 pixels	1.0301	2.0603	3.0922	4.1259	5.1619	6.2011	7.2440	8.2919	9.3444	10.4033
61 pixels	1.0651	2.1302	3.1970	4.2657	5.3269	6.4114	7.4896	8.5729	9.6612	10.7559
63 pixels	1.1000	2.2000	3.3018	4.4056	5.5119	6.6216	7.7351	8.8540	9.9779	11.1086

Tabela 5.2 - Análise dos tamanhos dos EE de 25 a 63 pixels.

5.4.1.4 Construção dos Elementos Estruturantes dos Ângulos

Para construir estes elementos estruturantes dos ângulos, foi elaborado um algoritmo, denominado de Faneline. Este algoritmo descreve o raciocínio lógico da montagem dos 21 elementos estruturantes, da seguinte forma:

1. Monta-se o elemento estruturante de cada ângulo pela fórmula matemática 5.3, colocando-se as posições coordenadas de cada pixel deste, em uma matriz;
2. Identifica-se o Ponto Central (PC) como sendo o pixel mediano do elemento estruturante. Posiciona-se este ponto na coordenada de origem (0,0) a fim de ter-se a imagem processada centralizada;

3. Cria-se o transposto deste elemento estruturante, por ele ser assimétrico. O transposto é o simétrico do elemento estruturante em relação à origem cartesiana (0,0). As posições dos pixels deste transposto serão armazenadas em listas (EEE,DEE) para serem usadas na avaliação do ângulo.

Este algoritmo pode ser descrito pelo seguinte pseudocódigo:

```

EE: matriz que armazena as posições do elemento estruturante
EEE: matriz que armazena as posições X do transposto
DEE: matriz que armazena as posições Y do transposto

Início

Size ← 57; {definir o tamanho do EE}
PC ← (Size+1) div (2); {calcular a posição do ponto central do EE}
Maxskew ← 10; {definir a abrangência dos ângulos}
para i:=0 to maxskew faça {processar o EE de cada ângulo}
    para x:=0 to (size-1) faça {calcular cada ponto do EE}
        y:= (i/size)*x;
        EE[i, x]:= y; {armazena na matriz EE a posição do pixel}
    fimpara
fimpara
{colocar o ponto central do EE na origem cartesiana 0,0 com o seu transposto}
enquanto w<=maxskew faça
    jpc:=EE[w,pc];
    DEE[w,pc]:=0;
    EEE[w,pc]:=0;
    cp:=1;
    k:=pc+1;
    enquanto (k<=size) faça
        DEE[w,k]:=jpc-EE[w,k]; {Registra coordenada Y do transposto}
        EEE[w,k]:=cp; {Registra coordenada X do transposto}
        cp:=cp+1;
        inc(k);
    fimenquanto;
    cn:=(pc-1);
    k:=1;
    enquanto k<(pc) faça
        DEE[w,k]:=jpc-EE[w,k];
        EEE[w,k]:=cn;
        cn:=cn+1;
        inc(k);
    fimenquanto
    w:=w+1;
fimenquanto

Fim.

```

Na figura 5.22, são mostrados os elementos estruturantes gerados por este algoritmo, formando uma família dos ângulos de 0 a +10 (figura 5.22).

5.4.2 PROCEDIMENTO DE CORREÇÃO DA INCLINAÇÃO DA TABELA

Geralmente, a operação de rotação altera a posição espacial (distribuição dos pixels) por a imagem sofrer uma transformação geométrica. Isto muitas vezes acarreta em perda de qualidade da imagem. Para minimizar esta perda, a presente pesquisa, utilizou os métodos de Mapeamento Reverso e de Interpolação Bilinear, a fim de preservar um grau aceitável de fidelidade às informações originais.

O algoritmo de “rotação de um passo” é uma versão adotada nesta pesquisa, o qual utiliza o mapeamento reverso e a interpolação linear [MELLO, 1993], apresentando o seguinte sistema:

$$P_{x,y} \begin{cases} x' = x \cos \alpha + y \sin \alpha \\ y' = y \cos \alpha - x \sin \alpha \end{cases} \quad (5.4)$$

onde, x , y são as coordenadas originais e x' , y' são as novas coordenadas que foram calculadas.

5.4.2.1 Mapeamento Reverso

Ao ser rotacionada uma imagem, poderá ocorrer um conflito na escolha da posição calculada de um pixel, pelo fato de existirem somente posições inteiras na imagem destino. Com isto, alguns vazios poderão aparecer na imagem final, ocasionando perdas da correspondência um-para-um entre a imagem fonte e a imagem destino. Para amenizar isto, o uso do mapeamento reverso garante que todos os pixels da imagem destino tenham um valor após uma transformação geométrica. Do contrário, poderá ocorrer falhas (furos) na imagem destino. Este mapeamento é realizado da perspectiva da imagem destino ao invés da perspectiva da imagem fonte.

No entanto, pela inexistência de linhas e colunas com coordenadas fracionárias, o mapeamento reverso, cria outro problema que é o endereço fracionário do pixel, sendo necessário utilizar a interpolação que permite o cálculo de um novo

valor do ponto através da distância dos pontos conhecidos e calculados [DANIELSSON, 1992].

5.4.2.2 Interpolação

Os pontos de valores conhecidos que circundam o ponto sendo calculado são referidos como vizinhos. A interpolação linear assume que a contribuição de um pixel da vizinhança para o valor calculado variará inversamente (linearmente) com sua distância [LINDLEY, 1991].

A necessidade do uso da interpolação é mostrada na figura 5.23. Na imagem destino, figura 5.23(b), o pixel $P_{x,y}$ é rotacionado, e o endereço do pixel original $P_{x',y'}$ não é inteiro, figura 5.23(a). Nesse caso, o mapeamento reverso foi utilizado. Se a interpolação não for utilizada, o valor da intensidade do pixel preto $P_{x,y}$ na figura 5.23(b) é obtida do pixel mais próximo em 5.23(a). Com interpolação, a intensidade do pixel preto $P_{x,y}$ será derivada dos pixel "A", "B", "C" e "D", de acordo com as suas distâncias euclidianas relativas ao endereço calculado do pixel $P_{x',y'}$.

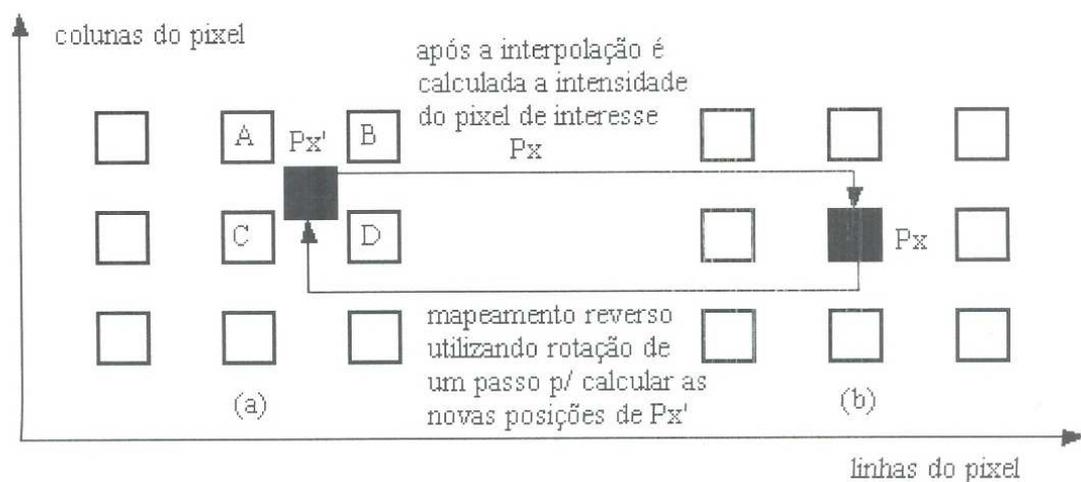


Figura 5.23 - Interpolação do valor de um pixel [MELLO, 1993].

A distância de cada pixel na vizinhança ao pixel A é referida como Δcol e Δlin [MELLO, 1993], definidos como:

$\Delta col =$ coordenada vertical de $P_{x',y'}$ – coordenada vertical de A

$\Delta lin =$ coordenada horizontal de $P_{x',y'}$ – coordenada horizontal de A

Para obter-se um valor interpolado para o pixel de interesse P_x na imagem destino, três interpolações devem ser feitas em relação a vizinhança de P_x . [MEL93], como é mostrado a seguir, considerando espaçamento unitário entre linhas e colunas adjacentes:

$$ContrlAB = \Delta col \cdot (\text{intensidade do pixel "B"} - \text{intensidade do pixel "A"}) + \text{intensidade do pixel "A"}$$

$$ContrlCD = \Delta col \cdot (\text{intensidade do pixel "D"} - \text{intensidade do pixel "C"}) + \text{intensidade do pixel "C"}$$

$$P_x = \Delta lin \cdot (ContrlCD - ContrlAB) + ContrlAB$$

Esta operação corresponde a uma interpolação bilinear.

Este algoritmo é usado sobre as imagens em níveis de cinza do formulário tabela.

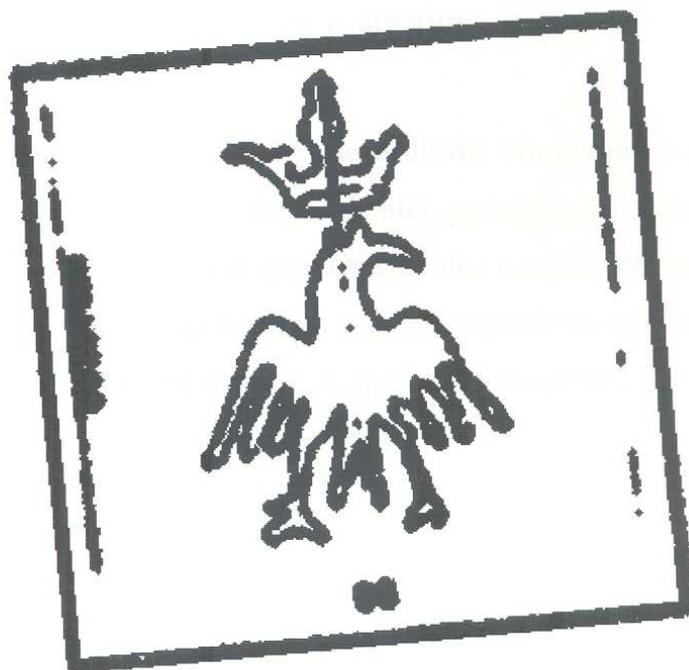


Figura 5.24(a) – Imagem original.

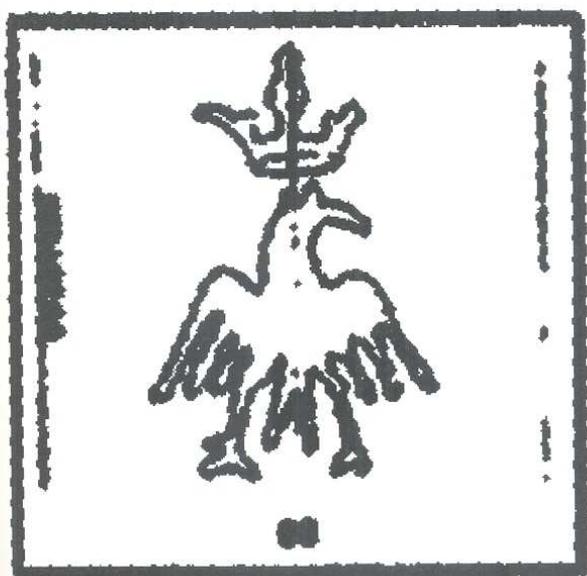


Figura 5.24(b) – Imagem rotacionada sem mapeamento reverso e sem interpolação.



Figura 5.24(c) – Imagem rotacionada com rotação de um passo.

Como exemplo, considere a figura 5.24.

As falhas que ocorreram devido ao uso da rotação sem mapeamento reverso e sem interpolação, mostradas na figura 5.24b, e a diferença de qualidade em relação à

figura 5.24(c), para a qual foi utilizado o algoritmo de rotação de um passo, ficam visíveis.

Quando a interpolação é usada desta forma em conjunto com o processo de mapeamento reverso, são obtidas imagens de alta qualidade. Entretanto, essa qualidade tem seu preço em relação à performance. Os cálculos necessários, tornam vagarosas as transformações geométricas. Isso requer o estabelecimento de um compromisso entre o tempo de processamento a ser gasto e a qualidade requerida da imagem resultante [MORITA, 1998].

5.5 IDENTIFICAÇÃO DA ESTRUTURA FÍSICA DA TABELA

Esta é a fase que visa identificar as partes físicas do formulário, ou seja, reconhecer os conjuntos que formam a tabela, utilizando uma análise bottom-up: primeiro os objetos que compõem a parte interna desta, que são as células, e depois, o formulário todo.

Para isso, esta pesquisa baseia-se na identificação dos tipos de interseções formados pelos cruzamentos dos segmentos de linhas horizontais e verticais que formam cada célula da tabela. Nesta identificação, serão utilizadas as ferramentas da morfologia binária.

Quando identificada à célula, serão extraídas as coordenadas dos cantos superiores esquerdos e inferior direito, que possibilitarão calcular a área, largura, altura e posição da célula, como mostra a figura 5.25.

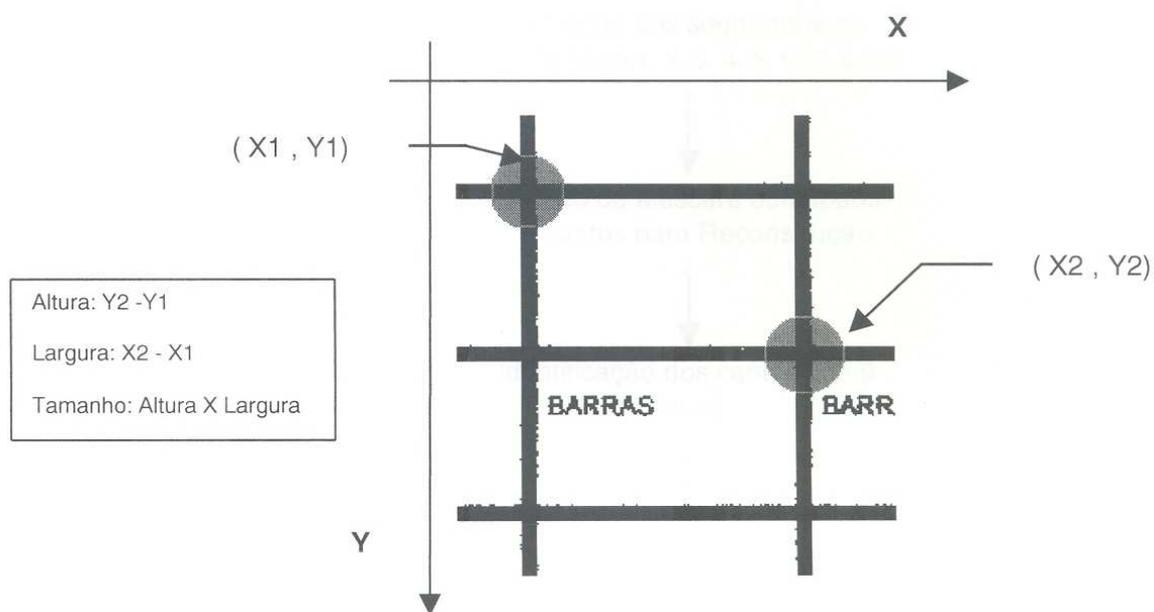


Figura 5.25 - Coordenadas dos cantos superior-esquerdo e inferior-direito da célula.

A altura da célula será a diferença entre as coordenadas $Y2$ e $Y1$; a largura, a diferença entre as coordenadas $X2$ e $X1$ e a área é o produto de altura pela largura.

Portanto, a detecção dos quatro cantos de cada célula é o primeiro passo para identificar e extrair as informações físicas desta. Para tal, esta fase baseia-se no uso da morfologia matemática binária que identifica os nove tipos de cantos propostos por Arias e Kasturi em [ARIAS & KASTURI, 1997].

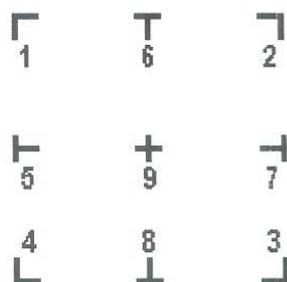


Figura 5.26 – Os nove cantos de uma tabela.

Para desenvolver esta fase foi criada a seguinte metodologia:

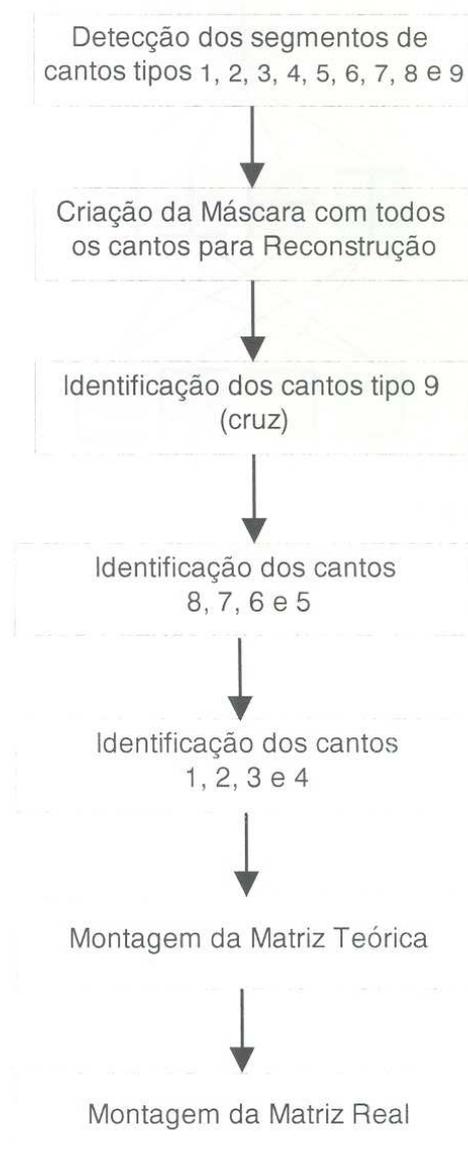


Figura 5.27 - Fase de Identificação da Estrutura Física do Formulário.

Esta metodologia se apóia na proposta apresentada por Arias e Kasturi [ARIAS & KASTURI, 1997] de adotar níveis hierárquicos na identificação dos cantos e adotando a estratégia de Tran van Thom [TRAN VAN THOM, 1997] que inicia esta identificação com o canto de mais alto nível. Neste caso, o primeiro passo é a detecção do canto tipo 9 (cruz), seguido dos cantos 5, 6, 7, 8 e por último, os cantos extremos da tabela que são os tipos 1, 2, 3 e 4.

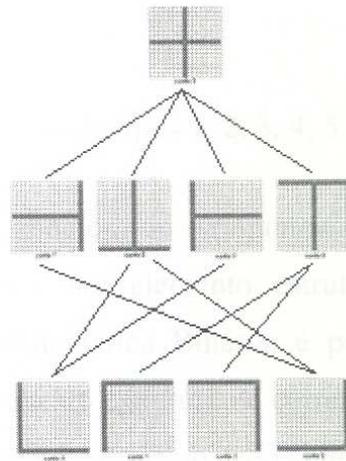


Figura 5.28 – Os nove cantos em níveis hierárquicos propostos por [TRAN VAN THOM, 1997].

Para aplicar a morfologia matemática binária nesta fase, foi utilizado o operador morfológico tipo erosão e criado uma família de elementos estruturantes para os cantos. Estes elementos estruturantes possuem a mesma forma dos nove cantos encontrados na tabela. Estes elementos foram produzidos no tamanho de 35 pixels de cada lado.

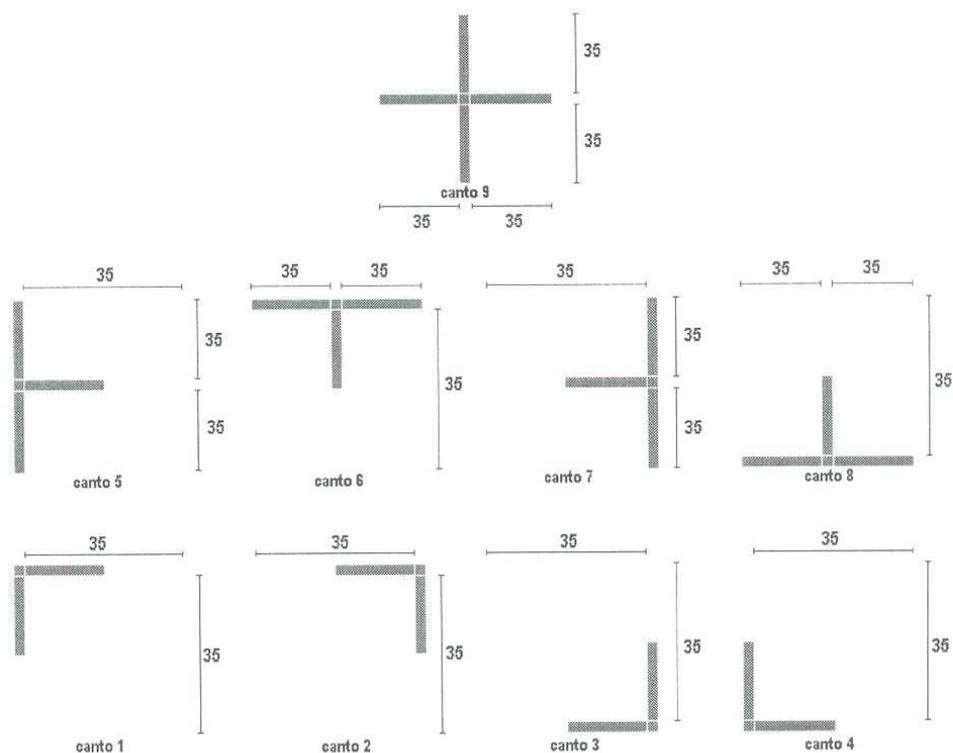


Figura 5.29 - Família dos elementos estruturantes dos cantos.

5.5.1 Detecção das sementes de cantos de tipos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9

Sementes significam segmentos ou conjuntos de pixels resultantes do processamento de uma imagem por um elemento estruturante em uma operação morfológica. Com a Morfologia Matemática Binária, é possível encontrar todas as sementes dos cantos 1 à 9 com o elemento estruturante correspondente, porém isto custa muito caro em termos de computação. Por outro lado, um tipo de semente pode ser identificado pôr um ou mais elementos estruturantes, com o mesmo aspecto desta. Por exemplo, o canto 9 (cruz \oplus) pode ser detectado de oito maneiras diferentes, utilizando os elementos estruturantes: Γ , \lrcorner , \sqcap , \sqcup , \vdash , \top , \dashv e \perp , pois a sua semente pode ser encontrada em qualquer um destes elementos estruturantes. O mesmo efeito acontece, para os elementos estruturantes 5 (\vdash), 6 (\top), 7 (\dashv) e 8 (\perp) que podem detectar as sementes dos cantos 1 (Γ), 2 (\sqcap), 3 (\lrcorner) e 4 (\sqcup).

Com a finalidade de diminuir o tempo de processamento, reduzir etapas no processo e usar menos memória da máquina, esta etapa foi elaborada, iniciando pela identificação das sementes dos cantos 1, 2, 3 e 4. Será possível achar os demais cantos presentes na tabela nas fases posteriores. Desta forma, economiza-se cinco etapas de operações morfológicas, não precisando utilizar os elementos estruturantes dos cantos 5, 6, 7, 8 e 9.

Foram feitas as operações de erosão com os elementos estruturantes **ee1** (figura 5.30-a), **ee2** (figura 5.30-b), **ee3** (figura 5.30-c) e **ee4** (figura 5.30-d), apresentados a seguir com a imagem original de uma tabela (figura 5.31), denominada ORI, com 802 x 1600 pixels de tamanho. Os resultados destas operações são mostrados nas figuras 5.32, 5.33, 5.34 e 5.35, respectivamente.

Verificando, por exemplo, o resultado da operação da imagem ORI (figura 5.31) com o elemento estruturante ee1, percebe-se que houve não somente a identificação das sementes dos cantos 1, como também dos tipos 5, 6 e 9 (figura 5.32).

Todas as imagens processadas possuem, em comum, a presença das sementes do canto 9 (cruz). Portanto, estas sementes foram detectadas quatro vezes neste processo.

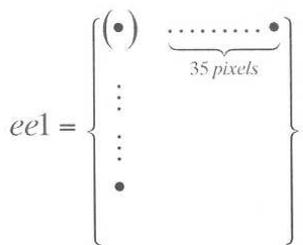


Figura 5.30(a) - Elemento Estruturante do Canto 1.

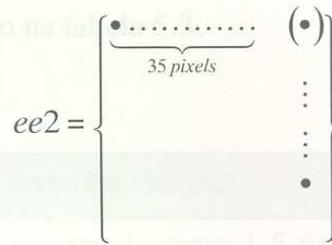


Figura 5.30(b) - Elemento Estruturante do Canto 2.

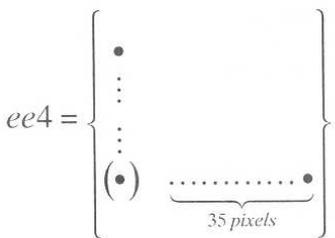


Figura 5.30(c) - Elemento Estruturante do Canto 4.

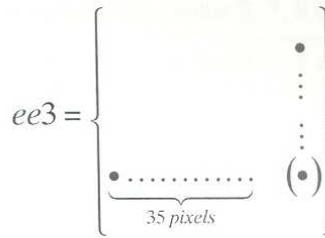


Figura 5.30(d) - Elemento Estruturante do Canto 3.

TEMPO	FLUXO			FLUXO			FLUXO		
	AUTOMÓVEL	ÔNIBUS	CAMINHÃO	AUTOMÓVEL	ÔNIBUS	CAMINHÃO	AUTOMÓVEL	ÔNIBUS	CAMINHÃO
HORA 08:00									
:00									
:15									
HORA 08:30									
:00									
:15									
:30									
HORA 09:00									
:00									
:15									
:30									
:45									
HORA 09:15									
:00									
:15									
:30									
:45									
HORA 09:45									
:00									

Figura 5.31 - Tabela original ORI.

Figura 5.32 – Tabela ORI erodida pelo EE ee1.

Figura 5.33 - Tabela ORI erodida pelo EE ee2.

Figura 5.34 – Tabela ORI erodida pelo EE ee3.

Figura 5.35 - Tabela ORI erodida pelo EE ee4.

O resultado das operações de erosão da tabela ORI pelos elementos estruturantes de cantos ($ee1$, $ee2$, $ee3$ e $ee4$), é resumido na tabela 5.3.

OPERAÇÕES DE EROSAO	CARACTERÍSTICAS DA IMAGEM ERODIDA
$ero^{ee1}(ORI)$	Imagem erodida com a presença das sementes dos cantos 1, 5, 6 e 9.
$ero^{ee2}(ORI)$	Imagem erodida com a presença das sementes dos cantos 2, 6, 7 e 9.
$ero^{ee3}(ORI)$	Imagem erodida com a presença das sementes dos cantos 3, 7, 8 e 9.
$ero^{ee4}(ORI)$	Imagem erodida com a presença das sementes dos cantos 4, 5, 8 e 9.

Tabela 5.3 - Resultado das operações pelos EE dos cantos 1, 2, 3 e 4.

Além de gerar as sementes do canto tipo 9 (cruz) em todas as operações, cada uma das imagens erodidas fornece também, a presença exclusiva de uma única semente de nível inferior (1 ou 2 ou 3 ou 4), dando a possibilidade de, futuramente, extrair estes cantos. Com isso, a metodologia tem condições de identificar todos os cantos, iniciando pelo canto 9 (cruz), o canto de maior nível, seguindo dos cantos de níveis intermediários (5, 6, 7 e 8) e finalizando com os cantos inferiores (1, 2, 3 e 4).

5.5.2 Criação da Máscara com todos os cantos para Reconstrução

A imagem Máscara é gerada pela união de todas as sementes dos cantos da tabela original que foram extraídas na primeira etapa deste processo, uniformizando suas medidas de altura e largura. Esta imagem servirá como máscara na reconstrução binária dos cantos detectados. A vantagem desse processo é a reconstrução das sementes que sofreram desgastes diferentes na operação morfológica de erosão, por possuírem tamanhos diferentes e a eliminação da inclinação, se houver, da tabela, que muitas vezes apresenta-se pequena e despercebida pela fase de detecção e correção da inclinação.

Esta etapa foi projetada da seguinte forma:

- Uso das imagens resultantes da fase de “Detecção das sementes de cantos de tipos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9” para obter todas as sementes dos cantos da

tabela através da seguinte estrutura lógica, gerando a imagem **T** (figura 5.36):

$$T = ero^{ee1}(ORI) \cup ero^{ee2}(ORI) \cup ero^{ee3}(ORI) \cup ero^{ee4}(ORI) \quad (5.5)$$

- b) Extração da imagem **T** (figura 5.36) das informações de tamanho das sementes detectadas, pela técnica de Histograma de Densidade, para gerar a imagem Máscara.

Com a aplicação do Histograma de Densidade Horizontal (figura 5.37), detectou-se as alturas das sementes dos cantos da imagem **T** e com estas informações criou-se a imagem **L**, de linhas horizontais de pixels pretos, como mostra a figura 5.39. Isto foi obtido através da análise das larguras dos planaltos do histograma de densidade.

Da mesma forma, com o uso do Histograma de Densidade Vertical (figura 5.38), obteve-se a identificação das larguras das sementes dos cantos detectados da imagem **T** que possibilitou criar a imagem **C**, de linhas verticais (colunas) de pixels pretos (figura 5.40).

- c) Com as imagens das linhas horizontais e verticais já definidas no processo anterior, tem-se a possibilidade de criar a imagem Máscara (figura 5.41) através da operação lógica de intersecção destas imagens:

Tendo **M** como imagem máscara, **L** a imagem de linhas horizontais e **C** a imagem de linhas verticais, então a operação lógica é dada da seguinte forma:

$$M = L \cap C \quad (5.6)$$

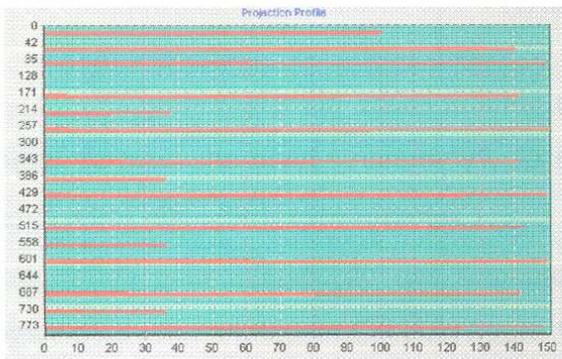


Figura 5.37 – Histograma de Densidade Horizontal da imagem T.

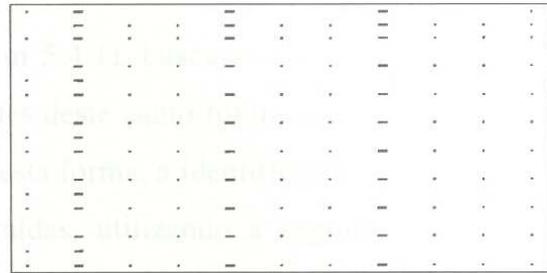


Figura 5.36 - Imagem T.

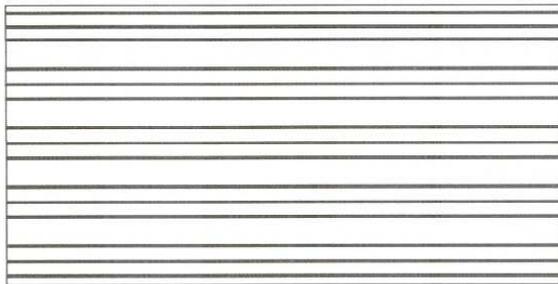


Figura 5.39 - Imagem L de linhas horizontais geradas pelo Histograma de Densidade Horizontal da imagem T.

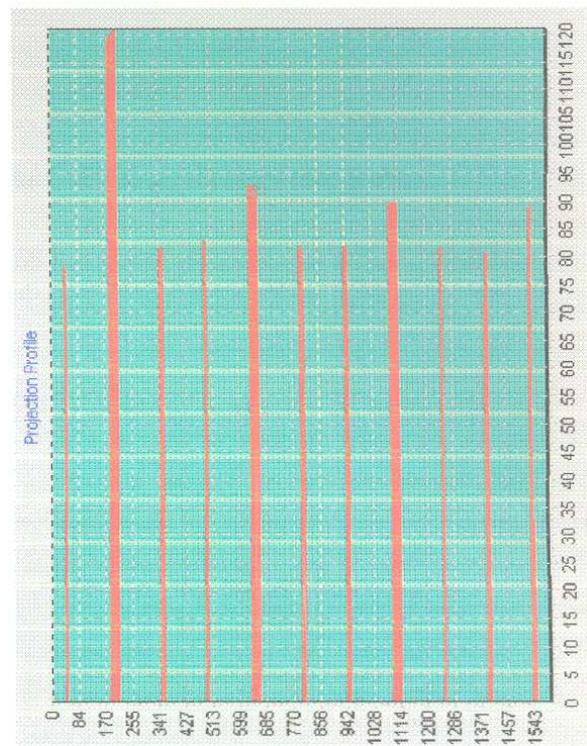


Figura 5.38 - Histograma de Densidade Vertical da imagem T.

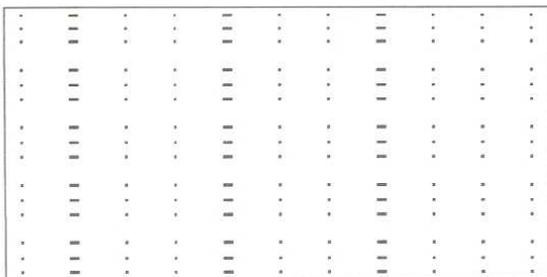


Figura 5.41 - Imagem Máscara M.



Figura 5.40 - Imagem de linhas verticais geradas pelo Histograma de Densidade Vertical da imagem T.

5.5.3 Identificação dos cantos tipo 9 (cruz +)

Como explicado anteriormente (no item 5.4.1), busca-se, nesta pesquisa, os cantos de mais alto nível, o canto “9”. As sementes deste canto foram detectadas quatro vezes pelos elementos estruturantes 1, 2, 3 e 4. Desta forma, a identificação dos cantos 9 será obtida pela intersecção das sementes extraídas, utilizando a seguinte operação lógica para criar a imagem **CRUZ** (figura 5.42).

$$CRUZ = ero^{ee1}(ORI) \cap ero^{ee2}(ORI) \cap ero^{ee3}(ORI) \cap ero^{ee4}(ORI) \quad (5.7)$$

Gera-se uma nova imagem, denominada **CRUZ_{rec}** da seguinte forma:

$$CRUZ_{rec} = \rho_M^B(CRUZ) \quad (5.8)$$

Assim, a imagem **CRUZ_{rec}** (figura 5.43) contém somente as sementes dos cantos “9”.

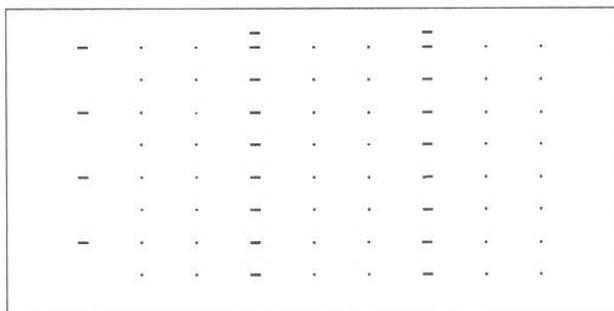


Figura 5.42 - Imagem Cruz.

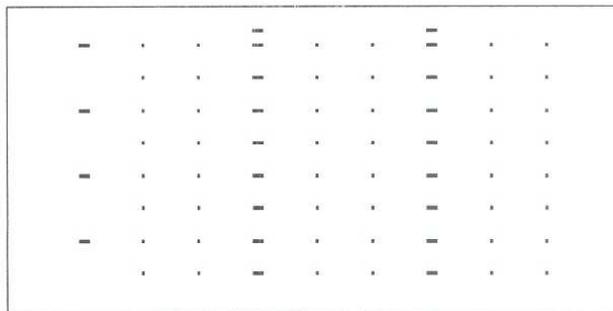


Figura 5.43 - Imagem Cruz_{rec}.

5.5.4 Identificação dos cantos 5, 6, 7 e 8

Para a identificação dos cantos 5, 6, 7 e 8, foram usadas as imagens de sementes obtidas na primeira fase e a imagem dos cantos tipo cruz (**CRUZ_{rec}**), criada na fase anterior.

Este processo foi preparado na seguinte ordem:

a) As quatro imagens extraídas na primeira fase foram reconstruídas com a máscara **M** (figura 5.41), obtida anteriormente. Com isso, houve a reconstrução binária das sementes dos cantos 5, 6, 7 e 8 que apresentavam falhas.

b) Foram eliminados os cantos tipo 9 (cruz) das quatro imagens reconstruídas anteriormente, com a finalidade de evitar que este canto seja detectado novamente. Com isso, geram-se imagens com três tipos de sementes de cantos. Estas imagens foram nomeadas da seguinte forma:

Imagem	Características
Bmp165	Contém somente as sementes dos cantos 1, 6 e 5 (figura 5.44)
Bmp267	Contém somente as sementes dos cantos 2, 6 e 7 (figura 5.45)
Bmp387	Contém somente as sementes dos cantos 3, 8 e 7 (figura 5.46)
Bmp485	Contém somente as sementes dos cantos 4, 8 e 5 (figura 5.47)

Tabela 5.4 - Resultado das operações com a eliminação do canto cruz.

c) Com estas quatro imagens intermediárias, torna-se possível à identificação dos cantos 5, 6, 7 e 8 através de uma operação de intersecção entre elas, como mostra a tabela 5.5:

Intersecção das Imagens	Características
Bmp165 AND Bmp485	Identificação somente das sementes do canto 5 (figura 5.52), gerando a imagem Bmp005
Bmp165 AND Bmp267	Identificação somente das sementes do canto 6 (figura 5.53), gerando a imagem Bmp006
Bmp387 AND Bmp267	Identificação somente das sementes do canto 7 (figura 5.54), gerando a imagem Bmp007
Bmp387 AND Bmp485	Identificação somente das sementes do canto 8 (figura 5.55), gerando a imagem Bmp008

Tabela 5.5 - Resultado das operações para a identificação dos cantos 5, 6, 7 e 8.

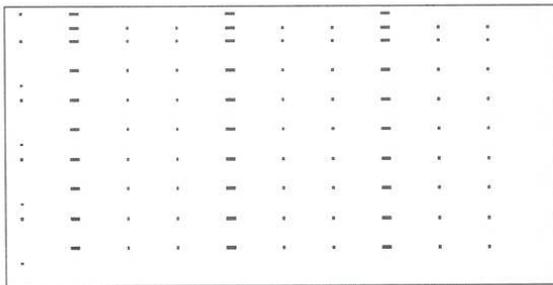
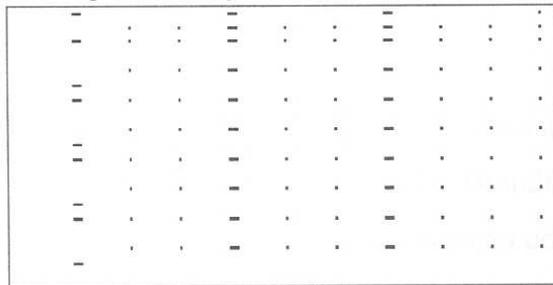
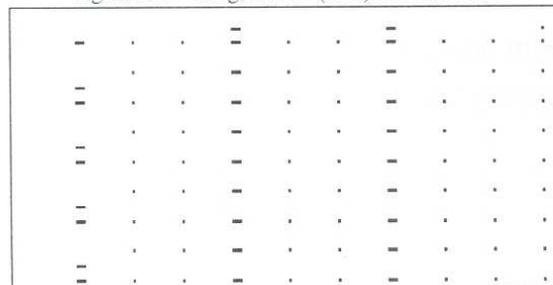
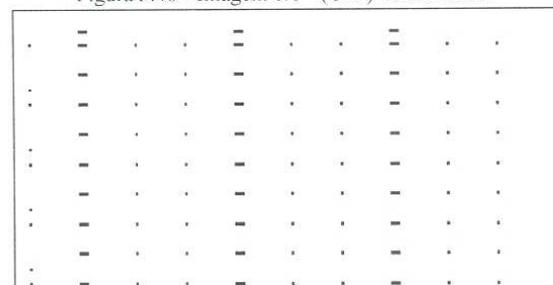
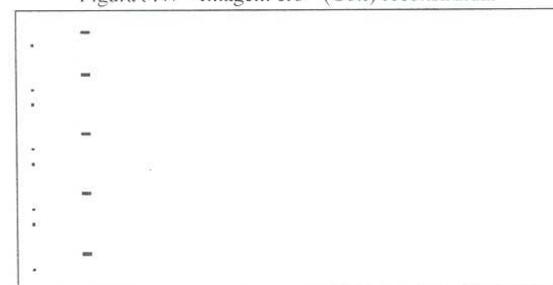
Figura 5.44 - Imagem $ero^{cc1}(ORI)$ reconstruída.Figura 5.45 - Imagem $ero^{cc2}(ORI)$ reconstruída.Figura 5.46 - Imagem $ero^{cc3}(ORI)$ reconstruída.Figura 5.47 - Imagem $ero^{cc4}(ORI)$ reconstruída.

Figura 5.52 - Imagem Bmp005, somente com os cantos 5.

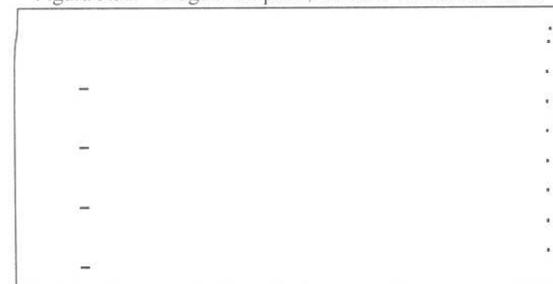


Figura 5.54 - Imagem Bmp007, somente com os cantos 7.

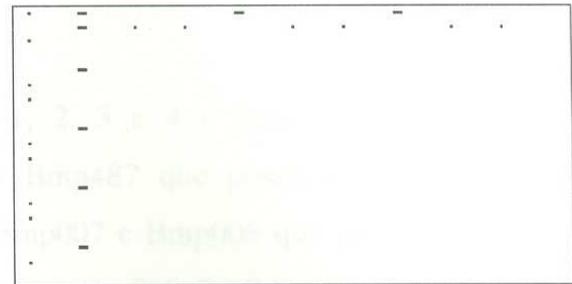


Figura 5.48 - Imagem Bmp165.

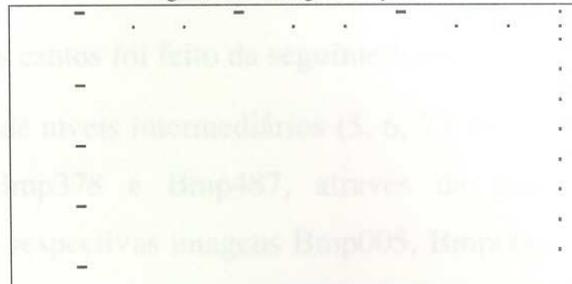


Figura 5.49 - Imagem Bmp267.

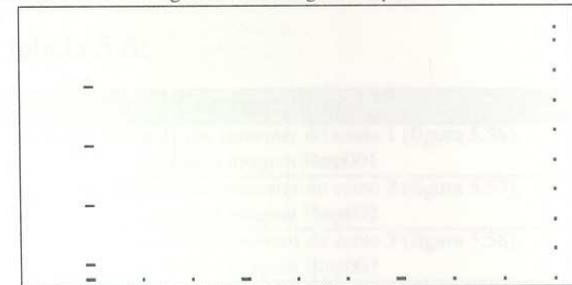


Figura 5.50 - Imagem Bmp387.

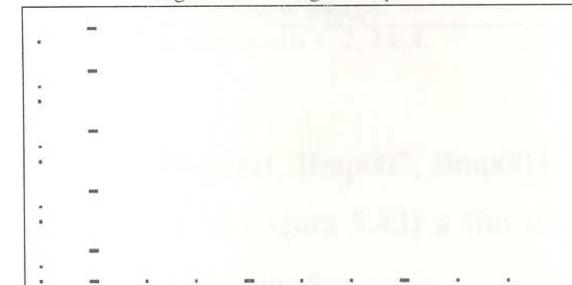


Figura 5.51 - Imagem Bmp485.

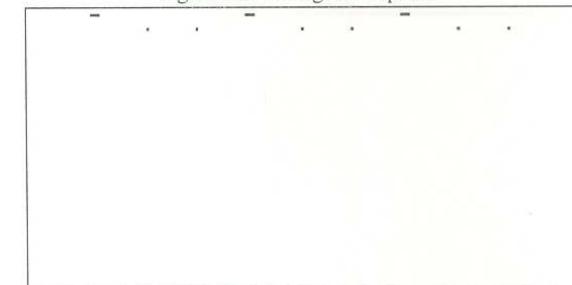


Figura 5.53 - Imagem Bmp006, somente com os cantos 6.

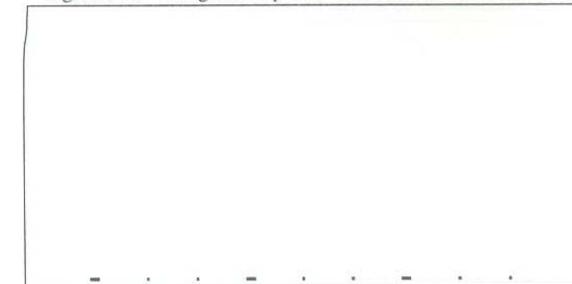


Figura 5.55 - Imagem Bmp008, somente com os cantos 8.

5.5.5 Identificação dos cantos 1, 2, 3 e 4

Finalmente, a detecção dos cantos 1, 2, 3 e 4 é feita com as imagens intermediárias Bmp165, Bmp267, Bmp378 e Bmp487 que possuem três tipos de sementes detectadas, e as Bmp005, Bmp006, Bmp007 e Bmp008 que possuem um só tipo de semente, respectivamente as sementes dos cantos 5, 6, 7 e 8.

O processo para a identificação desses cantos foi feito da seguinte forma:

- a) Tem-se a eliminação dos cantos de níveis intermediários (5, 6, 7 e 8) nas imagens Bmp165, Bmp267, Bmp378 e Bmp487, através de duas operações de intersecção com as respectivas imagens Bmp005, Bmp006, Bmp007 e Bmp008, gerando imagens somente com as sementes dos cantos 1, 2, 3 e 4, como mostra a tabela 5.6:

Eliminação das sementes de cantos 5, 6, 7 e 8	Características
Bmp165 XOR Bmp005 XOR Bmp006	Identificação somente das sementes do canto 1 (figura 5.56), gerando a imagem Bmp001
Bmp267 XOR Bmp006 XOR Bmp007	Identificação somente das sementes do canto 2 (figura 5.57), gerando a imagem Bmp002
Bmp387 XOR Bmp007 XOR Bmp008	Identificação somente das sementes do canto 3 (figura 5.58), gerando a imagem Bmp003
Bmp485 XOR Bmp005 XOR Bmp008	Identificação somente das sementes do canto 4 (figura 5.59), gerando a imagem Bmp004

Tabela 5.6 - Resultado das operações para a identificação dos cantos 1, 2, 3 e 4.

- b) As quatro imagens geradas neste processo (Bmp001, Bmp002, Bmp003, Bmp004) foram reconstruídas com a máscara **M** (figura 5.42) a fim de recuperar os desgastes ocorridos nestas operações lógicas.

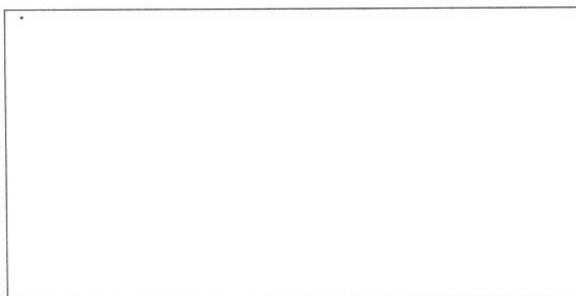


Figura 5.56 - Imagem somente com a semente do canto 1.

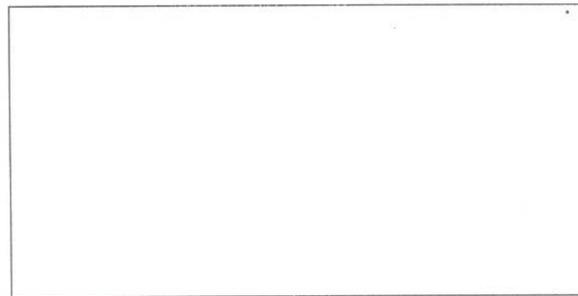


Figura 5.57 - Imagem somente com a semente do canto 2.



Figura 5.58 - Imagem somente com a semente do canto 3.

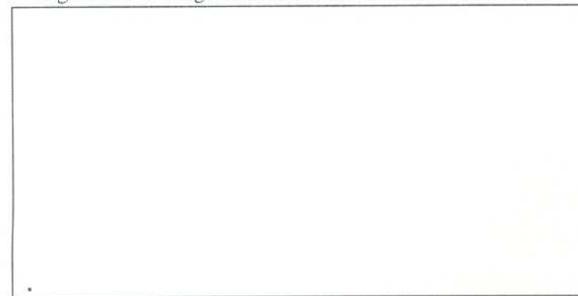


Figura 5.59 - Imagem somente com a semente do canto 4.

O processo de construção da matriz teórica foi elaborado através de um procedimento chamado **CriarMatriz**.

Nesta fase, é possível a montagem da matriz teórica da tabela, aproveitando os resultados da imagem Máscara **M** (figura 5.41), que possui todas as sementes detectadas na tabela, facilitando assim a identificação da quantidade de linhas e de colunas, que são necessárias para montar esta matriz.

Portanto, segue-se a estrutura deste procedimento:

Procedure CriarMatriz (imagem Máscara **M**);

inicio

- fase 1) Utiliza-se o Histograma de Densidade Horizontal na imagem **M** para identificar a quantidade de linhas horizontais da tabela;
- fase 2) Identifica-se o número de linhas verticais (colunas) da imagem **M** através do Histograma de Densidade Vertical;
- fase 3) Cria-se a lista das linhas horizontais e calculam-se as posições da coordenada **y** dos cantos detectados na imagem **M**;
- fase 4) Cria-se a lista das linhas verticais e calculam-se as posições da coordenada **x** dos cantos detectados na imagem **M**;

fim.

Com isso, tem-se a geração da Matriz Teórica.

5.5.7 Montagem da Matriz Real

Com os dados da matriz teórica, tornar-se-á possível construir a matriz real. Esta matriz armazenará os tipos de cantos detectados anteriormente, pois será a matriz fundamental para identificar, posteriormente, as células da tabela para a extração dos dados.

Com o número de linhas e de colunas que a tabela possui, monta-se esta matriz. Estes dados são obtidos na matriz teórica. A identificação e localização de cada

canto encontrado na imagem tabela são obtidas através do uso da matriz teórica e da imagem máscara **M**.

Analisando as imagens originais da tabela, ORI (figura 5.31), e a sua matriz real (figura 5.61), observa-se à correta detecção dos cantos, mostrando a validade do procedimento desta fase.

TEMPO		FLUXO			FLUXO			FLUXO		
		AUTOMÓVEL	ÔNIBUS	CAMINHÃO	AUTOMÓVEL	ÔNIBUS	CAMINHÃO	AUTOMÓVEL	ÔNIBUS	CAMINHÃO
HORA	MINUTO	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS
	:00									
	:15									
	HORA	MINUTO	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS
	:15									
	:30									
HORA	MINUTO	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS
	:30									
	:45									
	HORA	MINUTO	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS
	:45									
	:00									

Figura 5.31 - Tabela original ORI.

Matriz Real											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	6	0	0	6	0	0	6	0	0	2
2	0	5	6	6	9	6	6	9	6	6	7
3	5	9	9	9	9	9	9	9	9	9	7
4	0	5	9	9	9	9	9	9	9	9	7
5	5	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	5	9	9	9	9	9	9	9	9	9	7
7	0	5	9	9	9	9	9	9	9	9	7
8	5	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	5	9	9	9	9	9	9	9	9	9	7
10	0	5	9	9	9	9	9	9	9	9	7
11	5	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	5	9	9	9	9	9	9	9	9	9	7
13	0	5	9	9	9	9	9	9	9	9	7
14	5	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	4	8	8	8	8	8	8	8	8	8	3

┌	T	┐
1	6	2
└	+	┘
5	9	7
┌	8	┐
4	1	3
└	┘	┘

Sair

Figura 5.61 - Matriz Real de ORI com os cantos detectados.

Desta forma, tem-se, na matriz real, a identificação de todos os tipos de canto presentes na tabela, com as informações de suas posições, finalizando, assim, a identificação da estrutura física.

5.6 DETECÇÃO DE ERROS DA ESTRUTURA FÍSICA

No desenvolvimento desta pesquisa, foi criado um procedimento para executar a detecção e posteriormente, a correção de erros na estrutura física identificada. Estas duas fases formam um compilador, que verifica os erros da tabela e automaticamente faz a correção dos mesmos. Portanto, criou-se um Algoritmo de Busca e Correção de Erros de Tabela com a seguinte estrutura lógica:



Figura 5.62 – Estrutura Lógica do Algoritmo de Busca e Correção de Erros de Tabela

Este algoritmo de busca e correção de erros de tabela será demonstrado no final deste capítulo.

A fase de detecção de erros da estrutura física tem a finalidade de analisar, verificar e identificar possíveis erros na definição dos cantos armazenados na Matriz Real.

Para isto, foi elaborada uma análise que verifica a vizinhança de cada elemento desta matriz, em seis orientações, que são:

a) Norte e Sul:

Verifica os vizinhos da posição superior e inferior do elemento (figura 5.63).

b) Oeste e Leste:

Verifica os vizinhos da posição esquerda e direita do elemento (figura 5.64).

c) Norte e Leste (Nordeste):

Verifica os vizinhos da posição superior e direita do elemento (figura 5.65).

d) Norte e Oeste (Noroeste):

Verifica os vizinhos da posição superior e esquerda do elemento (figura 5.66).

e) Sul e Leste (Sudeste):

Verifica os vizinhos da posição inferior e direita do elemento (figura 5.67).

f) Sul e Oeste (Sudoeste):

Verifica os vizinhos da posição inferior e esquerda do elemento (figura 5.68).

Estas verificações foram realizadas através da construção de Tabelas de Validação. Estas tabelas foram divididas em dois tipos: **tabelas de aceitação** e **tabelas de rejeição** para cada tipo de canto.

A tabela de aceitação verifica os dois vizinhos laterais do elemento. Esta estratégia pode ser usada para testar consistência, visando validar e corrigir o canto estudado. Portanto, será usada na fase de “Correção de Erros da Estrutura Física”.

A tabela de rejeição armazena os vizinhos que não podem aparecer naquele tipo de canto analisado. Com isso, pode-se averiguar um só vizinho não compatível com o elemento verificado, para detectar o erro com maior rapidez.

┌	┐	0	┐	└
┐	+	┐	+	└
0	┐	+	└	0
┐	+	+	+	└
└	└	└	└	└

Figura 5.63 - Verificação
Norte e Sul do elemento.

┌	┐	0	┐	└
┐	+	┐	+	└
0	┐	+	└	0
┐	+	+	+	└
└	└	└	└	└

Figura 5.64 - Verificação
Oeste e Leste do elemento.

┌	┐	0	┐	└
┐	+	┐	+	└
0	┐	+	└	0
┐	+	+	+	└
└	└	└	└	└

Figura 5.65 - Verificação
Norte e Leste do elemento.

┌	┐	0	┐	└
┐	+	┐	+	└
0	┐	+	└	0
┐	+	+	+	└
└	└	└	└	└

Figura 5.66 - Verificação
Norte e Oeste do elemento.

┌	┐	0	┐	└
┐	+	┐	+	└
0	┐	+	└	0
┐	+	+	+	└
└	└	└	└	└

Figura 5.67 - Verificação
Sul e Leste do elemento.

┌	┐	0	┐	└
┐	+	┐	+	└
0	┐	+	└	0
┐	+	+	+	└
└	└	└	└	└

Figura 5.68 - Verificação
Sul e Oeste do elemento.

A seguir, tem-se a construção das Tabelas de Validação de cada tipo de canto.

5.6.1 Tabelas de Validação

Estas tabelas foram criadas da seguinte forma para a leitura:

- Os cantos que estão dentro do quadrado verde são os cantos analisados;

- Na **tabela de aceitação**, para cada tipo de verificação e cada tipo de canto, são listados os cantos vizinhos compatíveis, com a respectiva orientação.
- Na **tabela de rejeição**, para cada tipo de verificação e cada tipo de canto, são listados os cantos vizinhos incompatíveis, com a respectiva orientação.

5.6.1.1 Tabelas de Validação Norte e Sul:

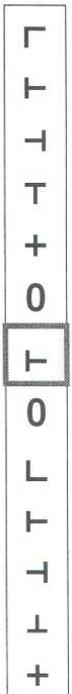
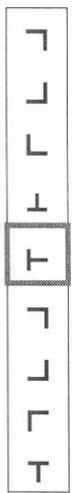
CANTO TIPO 5 		CANTO TIPO 6 	
ACEITAÇÃO	REJEIÇÃO	ACEITAÇÃO	REJEIÇÃO
			

Figura 5.69 - Tabelas de Validação Norte e Sul dos cantos 5 e 6.

5.6.1.2 Tabelas de Validação Oeste e Leste:

CANTO TIPO 5 	
ACEITAÇÃO	
	
REJEIÇÃO	
	
CANTO TIPO 6 	
ACEITAÇÃO	
	
REJEIÇÃO	
	
CANTO TIPO 7 	
ACEITAÇÃO	
	
REJEIÇÃO	
	

Figura 5.72 - Tabelas de Validação Oeste e Leste dos cantos 5, 6 e 7.

CANTO TIPO 8 ┘	
ACEITAÇÃO	
┐ ┌ + L ┘ 0 ┘ 0 ┐ + ┌ ┘	
REJEIÇÃO	
┐ ┌ + ┘ ┘ ┘ ┌ ┐ ┌ ┐ L	
CANTO TIPO 9 +	
ACEITAÇÃO	
┐ ┌ + ┘ 0 + 0 ┐ + ┌	
REJEIÇÃO	
┐ ┌ L ┘ + + ┐ ┌ ┐ L ┘	

Figura 5.73 - Tabela de verificação Oeste e Leste dos cantos 8 e 9.

5.6.1.3 Tabelas de Validação Norte e Leste (Nordeste):

CANTO TIPO 5 ┐	
ACEITAÇÃO	REJEIÇÃO
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;"> ┐ ┐ ┌ + ┘ 0 </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> ┐ 0 ┐ + ┌ L ┘ ┘ </div> </div>	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;"> ┌ L ┘ ┘ </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> ┐ ┐ ┌ </div> </div>

Figura 5.74 - Tabela de verificação Norte e Leste do canto 5.

CANTO TIPO 6 T	
ACEITAÇÃO	REJEIÇÃO
<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">⊥</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">0</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">T</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">0</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">T</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">+</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">-⊥</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">⊥</div> </div>	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">┌</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">T</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">┐</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">T</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">+</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">-⊥</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">┌</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">└</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">T</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">┌</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">┐</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">└</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">└</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">└</div> </div>

Figura 5.75 - Tabela de verificação Norte e Leste do canto 6.

CANTO TIPO 7 -⊥	
ACEITAÇÃO	REJEIÇÃO
<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">T</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">└</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">+</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">-⊥</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">0</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">-⊥</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">0</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">└</div> </div>	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">┌</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">┐</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">└</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">⊥</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">└</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">-⊥</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">┌</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">T</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">┐</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">+</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">-⊥</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">└</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">⊥</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">└</div> </div>

Figura 5.76 - Tabela de verificação Norte e Leste do canto 7.

CANTO TIPO 8 \perp																								
ACEITAÇÃO	REJEIÇÃO																							
<table border="1"> <tr><td>T</td></tr> <tr><td>T</td></tr> <tr><td>+</td></tr> <tr><td>\perp</td></tr> <tr><td>0</td></tr> <tr><td>\perp</td></tr> </table> <table border="1"> <tr><td>0</td><td>T</td><td>+</td><td>\perp</td><td>\perp</td></tr> </table>	T	T	+	\perp	0	\perp	0	T	+	\perp	\perp	<table border="1"> <tr><td>Γ</td></tr> <tr><td>\neg</td></tr> <tr><td>L</td></tr> <tr><td>\perp</td></tr> <tr><td>\perp</td></tr> <tr><td>\perp</td></tr> <tr><td>\perp</td></tr> </table> <table border="1"> <tr><td>\perp</td><td>Γ</td><td>\neg</td><td>\perp</td><td>L</td></tr> </table>	Γ	\neg	L	\perp	\perp	\perp	\perp	\perp	Γ	\neg	\perp	L
T																								
T																								
+																								
\perp																								
0																								
\perp																								
0	T	+	\perp	\perp																				
Γ																								
\neg																								
L																								
\perp																								
\perp																								
\perp																								
\perp																								
\perp	Γ	\neg	\perp	L																				
CANTO TIPO 9 $+$																								
ACEITAÇÃO	REJEIÇÃO																							
<table border="1"> <tr><td>T</td></tr> <tr><td>T</td></tr> <tr><td>+</td></tr> <tr><td>\perp</td></tr> <tr><td>0</td></tr> <tr><td>$+$</td></tr> </table> <table border="1"> <tr><td>0</td><td>T</td><td>+</td><td>\perp</td></tr> </table>	T	T	+	\perp	0	$+$	0	T	+	\perp	<table border="1"> <tr><td>Γ</td></tr> <tr><td>\neg</td></tr> <tr><td>L</td></tr> <tr><td>\perp</td></tr> <tr><td>\perp</td></tr> <tr><td>\perp</td></tr> <tr><td>\perp</td></tr> </table> <table border="1"> <tr><td>$+$</td><td>Γ</td><td>\neg</td><td>\perp</td><td>L</td><td>\perp</td></tr> </table>	Γ	\neg	L	\perp	\perp	\perp	\perp	$+$	Γ	\neg	\perp	L	\perp
T																								
T																								
+																								
\perp																								
0																								
$+$																								
0	T	+	\perp																					
Γ																								
\neg																								
L																								
\perp																								
\perp																								
\perp																								
\perp																								
$+$	Γ	\neg	\perp	L	\perp																			
CANTO TIPO 4 L																								
ACEITAÇÃO	REJEIÇÃO																							
<table border="1"> <tr><td>Γ</td></tr> <tr><td>T</td></tr> <tr><td>0</td></tr> <tr><td>L</td></tr> </table> <table border="1"> <tr><td>0</td><td>\perp</td><td>\perp</td></tr> </table>	Γ	T	0	L	0	\perp	\perp	<table border="1"> <tr><td>T</td></tr> <tr><td>\neg</td></tr> <tr><td>+</td></tr> <tr><td>\perp</td></tr> <tr><td>L</td></tr> <tr><td>\perp</td></tr> <tr><td>\perp</td></tr> <tr><td>\perp</td></tr> </table> <table border="1"> <tr><td>L</td><td>Γ</td><td>T</td><td>\neg</td><td>\perp</td><td>+</td><td>\perp</td><td>L</td></tr> </table>	T	\neg	+	\perp	L	\perp	\perp	\perp	L	Γ	T	\neg	\perp	+	\perp	L
Γ																								
T																								
0																								
L																								
0	\perp	\perp																						
T																								
\neg																								
+																								
\perp																								
L																								
\perp																								
\perp																								
\perp																								
L	Γ	T	\neg	\perp	+	\perp	L																	

Figura 5.77 - Tabelas de Validação Norte e Leste dos cantos 8, 9 e 4.

5.6.1.4 Tabelas de Validação Norte e Oeste (Noroeste):

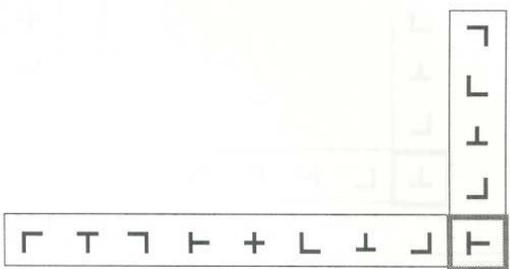
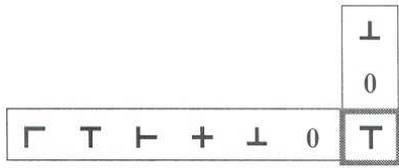
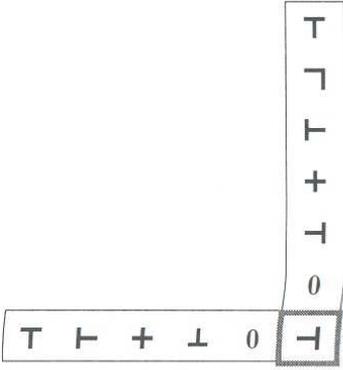
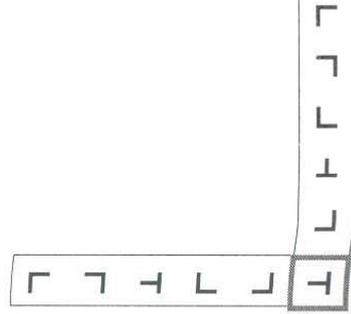
CANTO TIPO 5 	
ACEITAÇÃO	REJEIÇÃO
	
CANTO TIPO 6 	
ACEITAÇÃO	REJEIÇÃO
	
CANTO TIPO 7 	
ACEITAÇÃO	REJEIÇÃO
	

Figura 5.78 - Tabelas de Validação Norte e Oeste do canto 5, 6 e 7.

CANTO TIPO 8 \perp	
ACEITAÇÃO	REJEIÇÃO
<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> T ┌ + └ 0 </div> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center; margin-left: 10px;"> T ┌ + └ 0 </div> </div>	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> ┌ └ └ └ └ </div> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center; margin-left: 10px;"> ┌ └ └ └ └ </div> </div>
CANTO TIPO 9 $+$	
ACEITAÇÃO	REJEIÇÃO
<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> T ┌ + └ 0 </div> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center; margin-left: 10px;"> T ┌ + └ 0 </div> </div>	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> ┌ └ └ └ └ </div> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center; margin-left: 10px;"> ┌ └ └ └ └ </div> </div>
CANTO TIPO 3 \lrcorner	
ACEITAÇÃO	REJEIÇÃO
<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> └ └ 0 </div> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center; margin-left: 10px;"> └ └ 0 </div> </div>	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> ┌ T ┌ + └ └ </div> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center; margin-left: 10px;"> ┌ T ┌ + └ └ </div> </div>

Figura 5.79 - Tabelas de Validação Norte e Oeste dos cantos 8, 9 e 3.

5.6.1.5 Tabelas de Validação Sul e Leste (Sudeste):

CANTO TIPO 5 ┌																																																																															
ACEITAÇÃO	REJEIÇÃO																																																																														
<table border="1"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">┌</td> <td>0</td> <td>T</td> <td>+</td> <td>┐</td> <td>└</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>┌</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>+</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>┐</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>└</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>┌</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>└</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	┌	0	T	+	┐	└	0						┌						+						┐						└						┌						└						<table border="1"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">┌</td> <td>┐</td> <td>┐</td> <td>┌</td> <td>└</td> <td>└</td> </tr> <tr> <td>┐</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>T</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>┐</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>└</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	┌	┐	┐	┌	└	└	┐						T						┐						└					
┌	0	T	+	┐	└																																																																										
0																																																																															
┌																																																																															
+																																																																															
┐																																																																															
└																																																																															
┌																																																																															
└																																																																															
┌	┐	┐	┌	└	└																																																																										
┐																																																																															
T																																																																															
┐																																																																															
└																																																																															
CANTO TIPO 6 ┐																																																																															
ACEITAÇÃO	REJEIÇÃO																																																																														
<table border="1"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">┐</td> <td>0</td> <td>T</td> <td>┐</td> <td>+</td> <td>└</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>┌</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>+</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>┐</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>└</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>┌</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>└</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	┐	0	T	┐	+	└	0						┌						+						┐						└						┌						└						<table border="1"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">┐</td> <td>┐</td> <td>┌</td> <td>┐</td> <td>└</td> <td>└</td> </tr> <tr> <td>┐</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>T</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>┐</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>└</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	┐	┐	┌	┐	└	└	┐						T						┐						└					
┐	0	T	┐	+	└																																																																										
0																																																																															
┌																																																																															
+																																																																															
┐																																																																															
└																																																																															
┌																																																																															
└																																																																															
┐	┐	┌	┐	└	└																																																																										
┐																																																																															
T																																																																															
┐																																																																															
└																																																																															
CANTO TIPO 7 ┐																																																																															
ACEITAÇÃO	REJEIÇÃO																																																																														
<table border="1"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">┐</td> <td>0</td> <td>T</td> <td>┐</td> <td>┌</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>┌</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>+</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>┐</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>└</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>└</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	┐	0	T	┐	┌	0					┌					+					┐					└					└					<table border="1"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">┐</td> <td>┐</td> <td>+</td> <td>┐</td> <td>└</td> <td>└</td> <td>└</td> </tr> <tr> <td>┐</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>T</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>┐</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>└</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	┐	┐	+	┐	└	└	└	┐							T							┐							└														
┐	0	T	┐	┌																																																																											
0																																																																															
┌																																																																															
+																																																																															
┐																																																																															
└																																																																															
└																																																																															
┐	┐	+	┐	└	└	└																																																																									
┐																																																																															
T																																																																															
┐																																																																															
└																																																																															

Figura 5.80 - Tabelas de Validação Sul e Leste dos cantos 5, 6 e 7.

CANTO TIPO 8 ⊥																																																																								
ACEITAÇÃO	REJEIÇÃO																																																																							
<table border="1"> <tr> <td>⊥</td> <td>0</td> <td>T</td> <td>+</td> <td>-</td> <td>⊥</td> <td>┘</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>T</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	⊥	0	T	+	-	⊥	┘	0							T							<table border="1"> <tr> <td>⊥</td> <td>┌</td> <td>┐</td> <td>└</td> <td>┘</td> </tr> <tr> <td>┌</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>┐</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>└</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>┘</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>+</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>-</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>┘</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>┘</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>┘</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	⊥	┌	┐	└	┘	┌					┐					└					┘					+					-					┘					┘					┘				
⊥	0	T	+	-	⊥	┘																																																																		
0																																																																								
T																																																																								
⊥	┌	┐	└	┘																																																																				
┌																																																																								
┐																																																																								
└																																																																								
┘																																																																								
+																																																																								
-																																																																								
┘																																																																								
┘																																																																								
┘																																																																								
CANTO TIPO 9 +																																																																								
ACEITAÇÃO	REJEIÇÃO																																																																							
<table border="1"> <tr> <td>+</td> <td>0</td> <td>T</td> <td>┐</td> <td>+</td> <td>-</td> <td>⊥</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>┌</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>+</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>-</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>⊥</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	+	0	T	┐	+	-	⊥	0							┌							+							-							⊥							<table border="1"> <tr> <td>+</td> <td>┌</td> <td>└</td> <td>┘</td> <td>┘</td> </tr> <tr> <td>┌</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>└</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>┘</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>┘</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	+	┌	└	┘	┘	┌					└					┘					┘								
+	0	T	┐	+	-	⊥																																																																		
0																																																																								
┌																																																																								
+																																																																								
-																																																																								
⊥																																																																								
+	┌	└	┘	┘																																																																				
┌																																																																								
└																																																																								
┘																																																																								
┘																																																																								
CANTO TIPO 1 ┌																																																																								
ACEITAÇÃO	REJEIÇÃO																																																																							
<table border="1"> <tr> <td>┌</td> <td>0</td> <td>T</td> <td>┐</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>└</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>┘</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	┌	0	T	┐	0				└				┘				<table border="1"> <tr> <td>┌</td> <td>┌</td> <td>└</td> <td>+</td> <td>-</td> <td>┘</td> <td>⊥</td> <td>┘</td> </tr> <tr> <td>┌</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>└</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>┐</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>┘</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	┌	┌	└	+	-	┘	⊥	┘	┌								└								┐								┘																						
┌	0	T	┐																																																																					
0																																																																								
└																																																																								
┘																																																																								
┌	┌	└	+	-	┘	⊥	┘																																																																	
┌																																																																								
└																																																																								
┐																																																																								
┘																																																																								

Figura 5.81 - Tabelas de Validação Sul e Leste dos cantos 8, 9 e 1.

5.6.1.6 Tabelas de Validação Sul e Oeste (Sudoeste):

CANTO TIPO 5 $\boxed{\text{F}}$																																																																																												
ACEITAÇÃO	REJEIÇÃO																																																																																											
<table border="1"> <tr> <td>\neg</td> <td>0</td> <td>F</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>F</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>+</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>\neg</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>\perp</td> <td></td> </tr> </table>	\neg	0	F		0			F			+			\neg			\perp		<table border="1"> <tr> <td>Γ</td> <td>T</td> <td>\neg</td> <td>F</td> <td>+</td> <td>L</td> <td>\perp</td> <td>\neg</td> <td>F</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Γ</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>T</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>\neg</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>L</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>\perp</td> </tr> </table>	Γ	T	\neg	F	+	L	\perp	\neg	F																		Γ									T									\neg									L									\perp										
\neg	0	F																																																																																										
	0																																																																																											
	F																																																																																											
	+																																																																																											
	\neg																																																																																											
	\perp																																																																																											
Γ	T	\neg	F	+	L	\perp	\neg	F																																																																																				
								Γ																																																																																				
								T																																																																																				
								\neg																																																																																				
								L																																																																																				
								\perp																																																																																				
CANTO TIPO 6 $\boxed{\text{T}}$																																																																																												
ACEITAÇÃO	REJEIÇÃO																																																																																											
<table border="1"> <tr> <td>Γ</td> <td>T</td> <td>F</td> <td>+</td> <td>\perp</td> <td>0</td> <td>T</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>F</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>+</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>\neg</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>\perp</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>L</td> </tr> </table>	Γ	T	F	+	\perp	0	T														0							F							+							\neg							\perp							L	<table border="1"> <tr> <td>\neg</td> <td>\neg</td> <td>L</td> <td>\perp</td> <td>T</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Γ</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>T</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>\neg</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>L</td> </tr> </table>	\neg	\neg	L	\perp	T										Γ					T					\neg					L					
Γ	T	F	+	\perp	0	T																																																																																						
						0																																																																																						
						F																																																																																						
						+																																																																																						
						\neg																																																																																						
						\perp																																																																																						
						L																																																																																						
\neg	\neg	L	\perp	T																																																																																								
				Γ																																																																																								
				T																																																																																								
				\neg																																																																																								
				L																																																																																								
CANTO TIPO 7 $\boxed{\neg}$																																																																																												
ACEITAÇÃO	REJEIÇÃO																																																																																											
<table border="1"> <tr> <td>T</td> <td>\neg</td> <td>F</td> <td>+</td> <td>\perp</td> <td>0</td> <td>\neg</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>T</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>+</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>\perp</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>L</td> </tr> </table>	T	\neg	F	+	\perp	0	\neg														0							T							+							\perp							L	<table border="1"> <tr> <td>Γ</td> <td>\neg</td> <td>\neg</td> <td>L</td> <td>\perp</td> <td>\neg</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Γ</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>T</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>\neg</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>L</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>\perp</td> </tr> </table>	Γ	\neg	\neg	L	\perp	\neg												Γ						T						\neg						L						\perp
T	\neg	F	+	\perp	0	\neg																																																																																						
						0																																																																																						
						T																																																																																						
						+																																																																																						
						\perp																																																																																						
						L																																																																																						
Γ	\neg	\neg	L	\perp	\neg																																																																																							
					Γ																																																																																							
					T																																																																																							
					\neg																																																																																							
					L																																																																																							
					\perp																																																																																							

Figura 5.82 - Tabelas de Validação Sul e Oeste dos cantos 5, 6 e 7.

CANTO TIPO 8 ⊥	
ACEITAÇÃO	REJEIÇÃO
<div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 10px;">T T + ⊥ 0</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 2px; margin-left: 2px;">⊥</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 2px; margin-left: 2px;">0</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 2px; margin-left: 2px;">T</div>	<div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 10px;">Γ Γ T L J</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 2px; margin-left: 2px;">⊥</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 2px; margin-left: 2px;">Γ</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 2px; margin-left: 2px;">Γ</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 2px; margin-left: 2px;">T</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 2px; margin-left: 2px;">+</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 2px; margin-left: 2px;">T</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 2px; margin-left: 2px;">L</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 2px; margin-left: 2px;">⊥</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 2px; margin-left: 2px;">J</div>
CANTO TIPO 9 +	
ACEITAÇÃO	REJEIÇÃO
<div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 10px;">T T + ⊥ 0</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 2px; margin-left: 2px;">+</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 2px; margin-left: 2px;">0</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 2px; margin-left: 2px;">T</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 2px; margin-left: 2px;">+</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 2px; margin-left: 2px;">T</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 2px; margin-left: 2px;">⊥</div>	<div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 10px;">Γ Γ T L J</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 2px; margin-left: 2px;">+</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 2px; margin-left: 2px;">Γ</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 2px; margin-left: 2px;">T</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 2px; margin-left: 2px;">Γ</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 2px; margin-left: 2px;">L</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 2px; margin-left: 2px;">J</div>
CANTO TIPO 2 Γ	
ACEITAÇÃO	REJEIÇÃO
<div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 10px;">Γ T 0</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 2px; margin-left: 2px;">Γ</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 2px; margin-left: 2px;">0</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 2px; margin-left: 2px;">T</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 2px; margin-left: 2px;">J</div>	<div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 10px;">Γ T + T L ⊥ J</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 2px; margin-left: 2px;">Γ</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 2px; margin-left: 2px;">T</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 2px; margin-left: 2px;">Γ</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 2px; margin-left: 2px;">T</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 2px; margin-left: 2px;">+</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 2px; margin-left: 2px;">L</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 2px; margin-left: 2px;">⊥</div>

Figura 5.83 - Tabelas de Validação Sul e Oeste dos cantos 8, 9 e 6.

5.6.2 Avaliação das Tabelas de Validação

A detecção de erros é desenvolvida com o uso das tabelas de validação, tipo rejeição. Quando estas tabelas encontram erros nos cantos analisados, esta ocorrência é armazenada em uma matriz de erros, denominada Matriz Contadora de Erros. Com isso, cada canto detectado com erro, terá o seu contador de erros incrementado +1, nesta matriz. No final desse processo, o elemento de maior erro encontrado, será o canto a ser corrigido na fase seguinte.

Para averiguar a aplicação destas Tabelas de Validação na fase de detecção, foi criado um simulador de tabela (*"table simulator"*). Com esta ferramenta, pode-se verificar a correta contagem de erros armazenada na matriz contadora de erros.

Por exemplo, foram criadas no simulador uma matriz real sem erros (figura 5.84-b) para configurar uma tabela perfeita (figura 5.84-a) e a sua matriz contadora (figura 5.84-c) teve como resultado de detecção, todos os seus elementos zerados, significando que não houve erros em nenhum canto.

(a)

Simulador						Matriz Contadora de Erros					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
1	1	6	0	6	2	1	0	0	0	0	0
2	5	9	6	9	7	2	0	0	0	0	0
3	0	5	9	9	7	3	0	0	0	0	0
4	4	8	8	8	3	4	0	0	0	0	0

(b) (c)

Figura 5.84 - Exemplo de uma tabela sem erros.

Ilustra-se o processo a partir de um exemplo, onde se simulou uma tabela apresentando erros (figura 5.85-a), configurando a sua matriz real com cantos em posições errôneas (figura 5.85-b). Na figura 5.85-c, os resultados destes erros, são mostrados na Matriz Contadora de Erros.

Pelo fato de poder realizar somente 3 verificações, faz-se necessário verificar as primeiras e as últimas linhas e colunas da matriz real enquanto que os outros

elementos não extremos possuem 4 ocorrências de verificação. Deste modo, esta verificação tem que ser realizada antes das outras.

(a)

Simulador						Matriz Contadora de Erros					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
1	0	6	0	6	2	1	1	0	0	0	0
2	5	5	6	9	7	2	2	3	0	0	0
3	0	5	9	9	7	3	0	0	0	0	0
4	4	8	8	8	3	4	0	0	0	0	0

(b)

Matriz Contadora de Erros					
	1	2	3	4	5
1	1	0	0	0	0
2	2	3	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0

(c)

Figura 5.85 – Exemplo de uma tabela com erros.

O canto posicionado na linha 2 e na coluna 2 da matriz real está como **5**, e o correto é **9**. Na matriz contadora de erros, a ocorrência de erros registrada foi **3**, pois houve detecção de erros nos sentidos: oeste-leste, norte-oeste e sul-oeste, analisados pela tabela de verificação. Desta forma, o número de ocorrência foi de **3**. Portanto, **3 ocorrências de erros**, sendo esta a maior dentre as somas de erros detectados na matriz. Por este motivo, este canto será o primeiro corrigido futuramente.

O erro encontrado na linha 1 e na coluna 1, segue o mesmo raciocínio anterior, mostrando também o papel deste canto em produzir erros em seu vizinho inferior. Esta influência é percebida e resolvida na fase posterior.

Os outros vizinhos possuem relações válidas, de acordo com a correta análise das Tabelas de Validação.

Portanto, percebe-se que o processo de detecção de erros para todo os tipos de cantos funciona corretamente. Isto será bem averiguado através de testes avaliados no capítulo seguinte, intitulado “Resultados Experimentais”. Entretanto, pode-se adiantar algumas observações referentes a esta avaliação.

- O canto tipo zero não está incluso nas Tabelas de Validação, fato de ser aceito por qualquer vizinho. Para este caso, foi criada a **tabela de rejeição do canto zero** a fim de permitir o tratamento de erros. Essa verificação será feita em seguida ao processo de detecção pelas Tabelas de Validação.

- Alguns erros provocam a detecção de erros em seus vizinhos. Estes erros são falsos, não existem na tabela e não serão analisados na fase posterior, porque serão sempre menores que o erro verdadeiro ou principal.

5.6.3 Tabelas de Rejeição do Canto Zero

Estas tabelas foram criadas para verificar a validade do canto zero. Este canto tem compatibilidade com os nove tipos de cantos estudados, podendo fazer relacionamento com qualquer tipo de canto na constituição da célula. Por isso, foram criadas as tabelas de rejeição de erros do canto zero que verificam as possíveis posições indevidas deste canto.

Para analisar o uso indevido do canto zero, foi elaborada a seguinte verificação:

a) Sul e Leste:

Verifica o canto zero superior e esquerdo da tabela, analisando a rejeição com os vizinhos de posições leste e inferior (figura 5.86).

b) Sul e Oeste:

Verifica o canto zero superior e direito da tabela, analisando a rejeição com os vizinhos de posições sul e oeste (figura 5.87).

c) Norte e Leste:

Verifica o canto zero inferior e esquerdo da tabela, analisando a rejeição com os vizinhos de posições norte e leste (figura 5.88).

d) Norte e Oeste:

Verifica o canto zero inferior e direito da tabela, analisando a rejeição com os vizinhos de posições norte e oeste (figura 5.89).

e) Norte, Leste e Sul:

Verifica o canto zero localizado na primeira coluna da tabela e analisa a rejeição com os vizinhos de posições norte, leste e sul (figura 5.90).

f) Norte, Oeste e Sul:

Verifica o canto zero localizado na última coluna da tabela e analisa a rejeição com os vizinhos de posições norte, oeste e sul (figura 5.91).

g) Oeste, Sul e Leste:

Verifica o canto zero localizado na primeira linha da tabela e analisa a rejeição do canto zero com os vizinhos de posições oeste, sul e leste (figura 5.92).

h) Oeste, Norte e Leste:

Verifica o canto zero localizado na última linha da tabela e analisa a rejeição com os vizinhos de posições oeste, norte e leste (figura 5.93).

i) Norte, Sul, Oeste e Leste:

Verifica o canto zero localizado no interior da tabela e analisa a rejeição com os vizinhos de posições norte, sul, leste e oeste (figura 5.94).

Estas tabelas possuem o mesmo princípio das Tabelas de Validação tipo rejeição, onde os vizinhos são todos verificados para poder analisar a rejeição. Se um dos vizinhos não for identificado pela tabela, a rejeição não ocorrerá.

Além disso, algumas tabelas de rejeição do zero têm as suas exceções que foram estudadas e consideradas válidas no processo. Essas exceções são casos onde o zero sempre será válido e considerado como certo naquela posição em relação aos seus vizinhos.

0	T	0	T	↖
┌	+	T	+	┐
0	┌	+	┐	0
┌	+	+	+	┐
L	└	└	└	┘

Figura 5.86 - Rejeição do Zero em Sul e Leste.

┌	T	0	T	0
┌	+	T	+	┐
0	┌	+	┐	0
┌	+	+	+	┐
L	└	└	└	┘

Figura 5.87 - Rejeição do Zero em Sul e Oeste.

┌	T	0	T	↖
┌	+	T	+	┐
0	┌	+	┐	0
┌	+	+	+	┐
0	└	└	└	┘

Figura 5.88 - Rejeição do Zero em Norte e Leste.

┌	T	0	T	↖
┌	+	T	+	┐
0	┌	+	┐	0
┌	+	+	+	┐
L	└	└	└	0

Figura 5.89 - Rejeição do Zero em Norte e Oeste.

┌	T	0	T	↖
┌	+	T	+	┐
0	┌	+	┐	0
┌	+	+	+	┐
L	└	└	└	┘

Figura 5.90 - Rejeição do Zero em Norte, Leste e Sul.

┌	T	0	T	↖
┌	+	T	+	┐
0	┌	+	┐	0
┌	+	+	+	┐
L	└	└	└	┘

Figura 5.91 - Rejeição do Zero em Norte, Oeste e Sul.

┌	T	0	T	↖
┌	+	T	+	┐
0	┌	+	┐	0
┌	+	+	+	┐
L	└	└	└	┘

Figura 5.92 - Rejeição do Zero em Oeste, Sul e Leste.

┌	T	0	T	↖
┌	+	T	+	┐
0	┌	0	┐	0
┌	+	+	+	┐
L	└	└	└	┘

Figura 5.93 - Rejeição do Zero em Norte, Sul, Oeste e Leste.

┌	T	0	T	↖
┌	+	T	+	┐
0	┌	+	┐	0
┌	+	+	+	┐
L	└	0	└	┘

Figura 5.94 - Rejeição do Zero em Oeste, Norte e Leste.

5.6.3.1 Tipos de Tabelas de Rejeição do Canto Zero:

Nestas tabelas, mostradas nas figuras 5.95 e 5.96, a célula de cor verde representa o canto zero analisado. As “pernas” conectadas a este, contém os tipos de canto incompatíveis, com suas respectivas posições e orientações.

REJEIÇÃO SUL E LESTE	REJEIÇÃO SUL E OESTE	REJEIÇÃO NORTE E LESTE	REJEIÇÃO NORTE E OESTE

Figura 5.95 – tabelas de Rejeição do canto Zero.

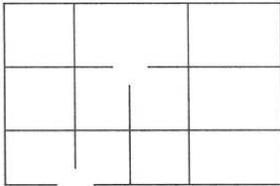
REJEIÇÃO NORTE, LESTE E SUL	REJEIÇÃO NORTE, OESTE E SUL
REJEIÇÃO OESTE, SUL E LESTE	REJEIÇÃO OESTE, NORTE E LESTE

REJEIÇÃO NORTE, SUL, OESTE E LESTE

Figura 5.96 – Tabelas de Rejeição do canto Zero que possuem exceções.

As seis últimas tabelas apresentadas anteriormente, têm suas exceções, cujos casos não são rejeitados. Por exemplo, a **tabela de rejeição norte, sul, leste e oeste**, só causa rejeição quando o canto analisado tem 3 ou 4 vizinhos de tipo zero. A exceção ocorre quando este tem apenas dois vizinhos zero, pelo fato de existir o relacionamento com os outros dois vizinhos que não serão zeros, ocorrendo assim a compatibilidade.

Usando o simulador de tabela, apresentado anteriormente, pode-se observar melhor os efeitos produzidos por estas tabelas de rejeição, como mostra a figura 5.97.



Simulador						Matriz Contadora de Erros					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
1	1	6	0	6	2	1	0	0	0	0	0
2	5	9	0	9	7	2	0	0	1	0	0
3	5	9	9	9	7	3	0	0	0	0	0
4	4	0	8	8	3	4	0	1	0	0	0

Figura 5.97 – Exemplo de uma tabela com erros no canto tipo zero.

Neste exemplo (figura 5.97), foram encontrados dois erros com o canto zero, através do uso das tabelas de rejeição de tipos **oeste, norte e leste e norte, sul, leste e oeste**. Portanto, o resultado apresentado pelo processo de detecção de erros está correto. Neste caso, o zero localizado na linha 2 e coluna 3 está no lugar do canto 9 enquanto que na linha 4 e coluna 2, o canto correto deveria ser o 8. Desta forma, o processo foi construído adequadamente, e este fará parte do compilador de tabela, mencionado no final deste capítulo. Este processo foi elaborado através do procedimento lógico, chamado de **ErrorAnalysis**, que compõe a estrutura lógica deste compilador.

5.6.4 Processo de Detecção de Erros

Com as Tabelas de validação foi possível desenvolver esta fase, elaborando-se um procedimento chamando **ErrorAnalysis**, que será um dos módulos do compilador de tabela.

O procedimento **ErrorAnalysis** analisa todos os elementos da matriz real, utilizando as tabela de verificação de rejeição e armazenando os erros detectados na matriz contadora de erros, por ele criada.

Desta forma, tem-se a estrutura lógica deste procedimento:

procedure **ErrorAnalysis**;

início

Cria a matriz contadora de erros;

Analisa os elementos da matriz real e soma a quantidade de erros de cada canto analisado, utilizando as tabelas de validação;

Elimina as linhas e colunas que possuem somente o canto zero;

Analisa os elementos da matriz real que possuem o tipo zero, utilizando as tabelas de rejeição do zero;

Analisa os elementos da matriz real com a estratégia de Tran van Thom [TRAN VAN THOM, 1997] (ver seção 5.8 sobre esta estratégia);

fim.

Com isso, tem-se o término desta etapa, cujos resultados serão testados e analisados no capítulo seguinte.

5.7 CORREÇÃO DE ERROS DA ESTRUTURA FÍSICA

A fase de correção de erros analisa, na Matriz Real, os cantos que possuem erros identificados na Matriz Contadora de Erros. Para desenvolver isso, são utilizadas as tabelas de validação de aceitação, criadas na etapa anterior. Estas tabelas farão parte do processo de correção para encontrar os cantos corretos. Esta identificação será feita através da análise de todos os vizinhos adjacentes ao canto errado. Para isso, as tabelas de aceitação serão aplicadas em **14** (catorze) verificações, para identificar os cantos que

podem ser os corrigidos ou 7 (sete) verificações, para as primeiras e últimas linhas e colunas.

Estas verificações têm como **x** (elemento de cor cinza) o canto estudado e as suas duas orientações (elementos vermelho escuro) para a análise, como mostrado nas figuras 5.98 a 5.111.

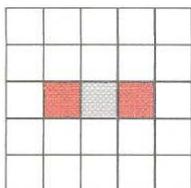


Figura 5.98 –
Verificação **OxL** (Oeste
x Leste)

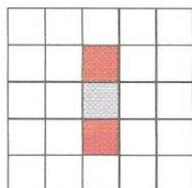


Figura 5.99 –
Verificação **NxS** (Norte
x Sul)

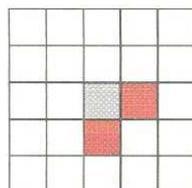


Figura 5.100 –
Verificação **SxL** (Sul x
Leste)

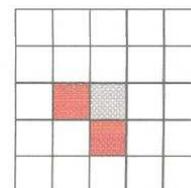


Figura 5.101 –
Verificação **SxO** (Sul x
Leste)

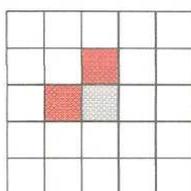


Figura 5.102 –
Verificação **NxO** (Norte
x Oeste)

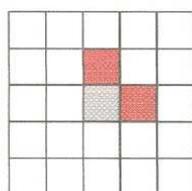


Figura 5.103 –
Verificação **NxL** (Norte
x Leste)

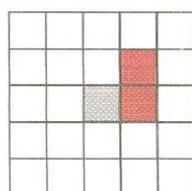


Figura 5.104 –
Verificação **xLN** (x
Leste Norte)

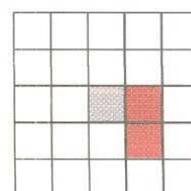


Figura 5.105 –
Verificação **xLS** (x
Leste Sul)

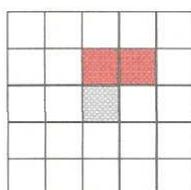


Figura 5.106 –
Verificação **xNL** (x
Norte Leste)

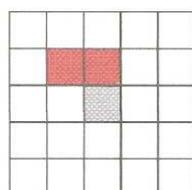


Figura 5.107 –
Verificação **xNO** (x
Norte Oeste)

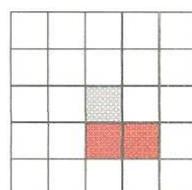


Figura 5.108 –
Verificação **xSL** (x Sul
Leste)

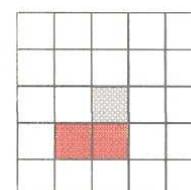


Figura 5.109 –
Verificação **xSO** (x Sul
Oeste)

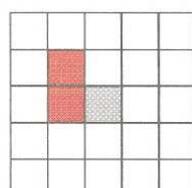


Figura 5.110 –
Verificação **xON** (x
Oeste Norte)

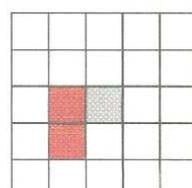


Figura 5.111 –
Verificação **xOS** (x
Oeste Sul)

O resultado destas 14 verificações produz, muitas vezes, a presença de dois ou mais cantos como solução para a devida correção. Desta forma, foram elaborados os seguintes critérios:

1. Se houver mais de um canto detectado na matriz contadora de erros, então corrigir o canto de maior ocorrência de erros;
2. Se houver mais de um canto de maior ocorrência de erros, então corrigir o canto de maior nível;
3. Se houver mais de um resultado na identificação do canto correto, então escolher o canto que apresenta maior nível e
4. Feita a correção, zerar a matriz contadora de erros. Cada correção é uma iteração diferente para cada canto errado.

Após estudos, percebeu-se que duas estratégias de correção de tabela são possíveis. As duas são detalhadas a seguir e a escolha de cada uma delas é explicada e justificada.

5.7.1 ESTRATÉGIA DAS EXTREMIDADES

Esta estratégia analisa, primeiramente, as linhas e as colunas das extremidades da tabela (as primeiras e as últimas), alterando os cantos errados de formato 5(┌), 6(┐), 7(└) e 8(┘). Se esses cantos já existirem, então inserir zeros como solução.

┌	0	┐	└
┌	┐	+	└
0	┌	+	└
┌	+	+	└
┘	┘	┘	┘

Figura 5.112 – Alteração das linhas extremas para corrigir o erro.

Zerados os contadores de erros destas linhas e colunas de extremidades, então analisa-se os outros erros encontrados, através de uma nova verificação de erros, corrigindo os de maior ocorrência de erros e de maior nível.

As vantagens desta abordagem são:

1. Rápida correção dos erros;
2. Eliminação dos outros erros já na segunda iteração;

Desvantagem:

1. Após a correção, podem ser geradas células maiores na tabela, pela união de células adjacentes.

5.7.2 ESTRATÉGIA DO MAIOR NÍVEL COMPATÍVEL

Esta estratégia foi criada para verificar os erros de maior ocorrência e de maior nível. Muitas vezes, apresenta-se mais de uma solução e nem sempre a solução é compatível. Para isso, foi criada uma **lista de acertos utilizados**, para armazenar os cantos corretos não compatíveis, já analisados neste processo, com a finalidade de evitar o seu uso na iteração seguinte e decrementando (-1) ao critério do maior nível do canto a ser analisado posteriormente. Esta lista de acertos é usada para cada célula da matriz real. Desta forma, evita-se repetir a mesma solução nas iterações seguintes e a correção torna-se mais confiável, embora mais lenta.

As vantagens desta estratégia são:

1. A correção é mais confiável;
2. A lista de acertos utilizados em cada célula possibilita evitar o “loop infinito” e extrair uma solução mais próxima do ideal;
3. Após a correção, o processo divide a tabela em várias células menores.

Desvantagens:

1. A correção é mais lenta;
2. O processo pode gerar outros erros e até mesmo maiores;

A solução encontrada nesta pesquisa foi à opção pela segunda estratégia (do maior nível compatível) porque a tabela tem células de tamanhos iguais e isto não ocasiona a divisão das mesmas.

Portanto, tem-se o exemplo de uma tabela criada no Simulador de Tabela com os seus devidos erros (figura 5.113). A lista de possíveis soluções foi utilizada duas vezes, pois a correção foi concluída na quinta iteração.

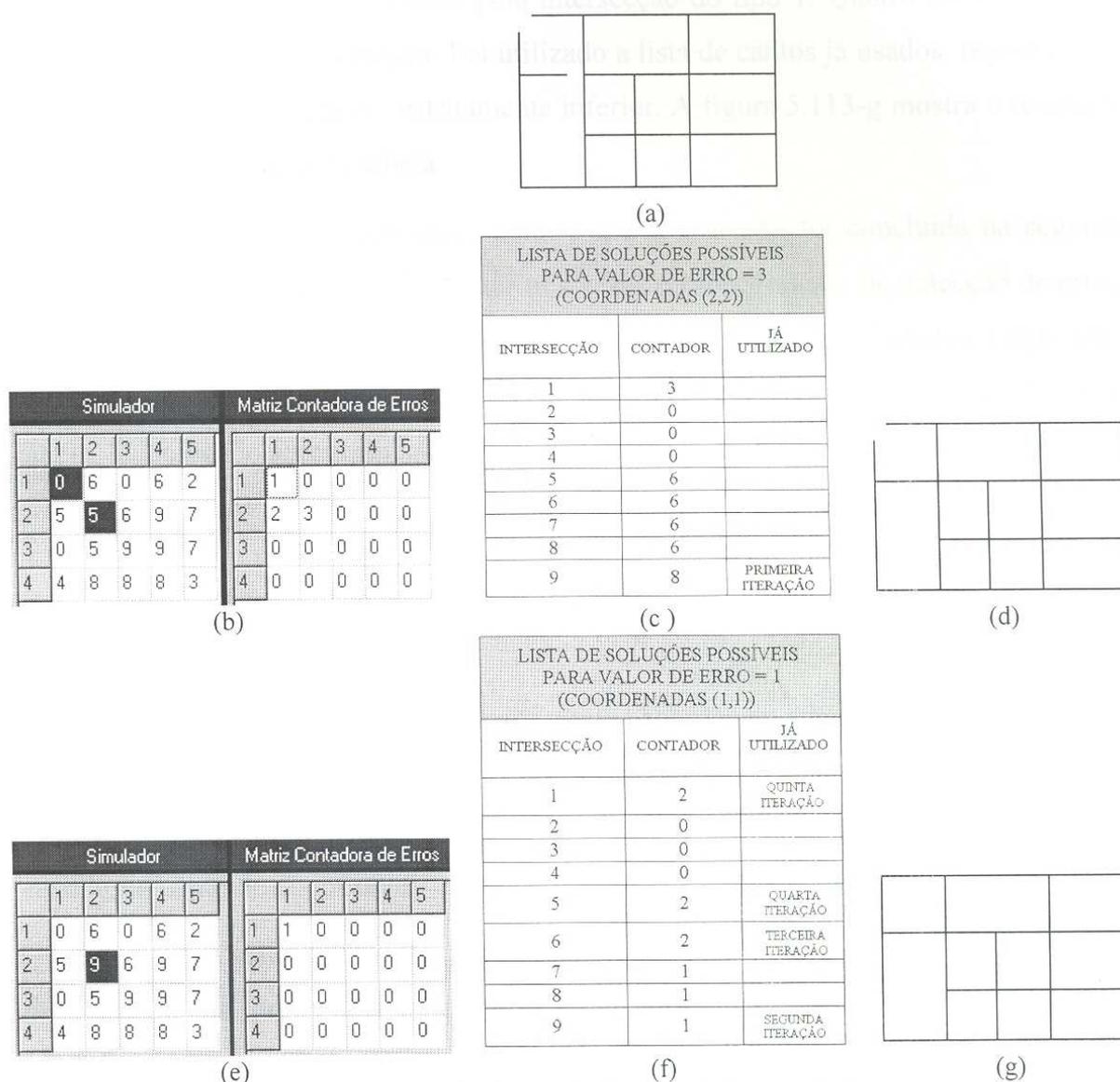


Figura 5.113 – Exemplo de correção de uma tabela.

(a) tabela inicial, (b) (c) identificação e correção do erro da intersecção de tipo 5, (d) reconstrução da tabela corrigida, (e) (f) identificação e correção do erro da intersecção de tipo 0, (g) reconstrução final da tabela corrigida.

Durante a fase de detecção de erros na identificação das intersecções, três erros foram encontrados, na matriz contadora de erros. A maior soma de erro é o 3, da intersecção do tipo 5, de coordenadas (2,2) que foi corrigido pela intersecção do tipo 9, por possuir 8 ocorrências de acerto. Desta forma, o canto 9 foi registrado como o canto que permitiu a correta reconstrução da tabela (figura 5.113-d). Nas iterações seguintes, a fase de detecção de erros, permitiu descobrir mais uma célula errada, do tipo 0 de coordenadas (1,1) que foi corrigido pela intersecção do tipo 1. Quatro iterações foram necessárias para haver a correção. Foi utilizado a lista de cantos já usados, registrando o contador de nível hierárquico, estritamente inferior. A figura 5.113-g mostra o resultado da reconstrução perfeita da tabela.

Através desta experiência, nota-se que a correção foi concluída na segunda iteração. Este processo precisou utilizar três vezes o procedimento de detecção de erros, que finalizou com todos os elementos da tabela contadora de erros zerados. Logo, tem-se, com a união destas duas fases (detecção e correção), a construção do compilador de tabela, mencionado anteriormente.

5.7.3 ANÁLISE DO PROCESSO DE CORREÇÃO DE ERROS

Em alguns casos, adotando como abordagem de correção a estratégia “MAIOR NÍVEL COMPATÍVEL”, houve o aparecimento do “looping infinito”, principalmente quando o canto errado é o zero e também, pelo fato da estratégia escolher o canto de maior nível.

Para solucionar este problema, foi criada uma **matriz contadora de ocorrências de erros** que contabiliza a quantidade de vezes que o elemento é identificado como errado. Desta forma, aquele que apresentar mais erros, no final do processo, será o canto excluído no processo seguinte e o canto analisado será o segundo de maior ocorrência de erros. Com isso, evita-se que o processo analise o mesmo erro e volte ao canto anterior, excluindo assim, a ocorrência do “looping” infinito.

A seguir, tem-se um exemplo de uma tabela com o canto zero errado e as iterações do processo de correção. Para visualizar este processo, as células em cor cinza são as analisadas no processo de detecção na Matriz Real. Em verde, estão as células

identificadas com maior erro na matriz contadora de erros. As células amarelas são as ocorrências registradas de erro. No final do processo, a **célula a ser corrigida** está na cor marrom.



Figura 5.114 – Exemplo de “Looping” infinito.

Neste exemplo, mostra-se o “looping” ocorrido com o canto zero e a matriz de ocorrência de erros identifica o elemento da linha 4 e coluna 2 como o próximo a ser analisado no processo da correção, evitando o uso do elemento da linha 3 e coluna 3.

Como isso, têm-se algumas conclusões:

- Este procedimento serve para qualquer tipo de canto;
- Evita o looping infinito, pois identifica o erro do maior vizinho;
- Corrige somente o vizinho que obteve mais ocorrência de erros porque este é o que gera ou causa o erro;

5.7.4 Processo da Correção de Erros

Esta fase foi codificada em um procedimento chamando **ErrorCorrection** que fará parte do compilador de tabela.

O procedimento **ErrorCorrection** analisa os elementos da matriz real que possuem erros na Matriz Contadora de Erros, utilizando as tabela de verificação de aceitação e corrigindo os erros de maior ocorrência.

Desta forma, tem-se a estrutura lógica deste procedimento:

procedure **ErrorCorrection**;

início

Procura os cantos com os maiores erros na matriz contadora de erros;

Se houver diferentes tipos de cantos, então corrigir os cantos de maior nível;

Se houver mais de um resultado na identificação do canto correto, então escolher o de maior nível e

Zerar a matriz contadora de erros.

fim.

Portanto, a presente pesquisa apresentou uma abordagem que permite detectar erros e corrigí-los, embora este procedimento não seja otimizado. Com isso, tem-se, na conclusão desta fase, a construção do compilador de tabela (figura 5.115) que será testado na fase posterior.

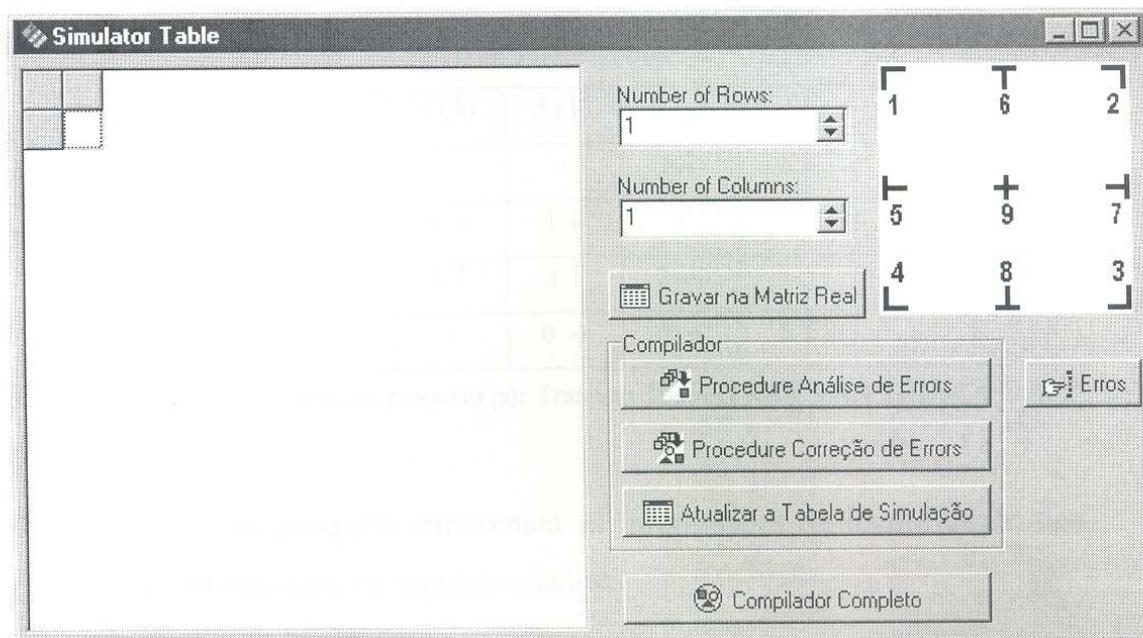


Figura 5.115 – Compilador de tabela.

5.8 EXTRAÇÃO DE CÉLULAS DOS DADOS DA ESTRUTURA FÍSICA

A extração de células dos dados da estrutura física é um processo que visa identificar as células da tabela. Este processo não faz parte do estudo desta pesquisa. Para finalizar a metodologia proposta, será usada, uma abordagem já conhecida, elaborada por Tran van Thom em [TRAN VAN THOM, 1997].

Tran van Thom [TRAN VAN THOM, 1997] apresenta uma estratégia para pesquisar as células na matriz de tipos de canto, que no presente estudo é a Matriz Real. O autor desenvolveu uma análise através de quatro direções. A pesquisa inicia-se pela célula superior esquerda e segue nas direções propostas na tabela de intersecções (figura 5.114). Iniciando na direção 0, o processo irá descobrindo os outros cantos até formar a célula, quando está na direção 3. Com isso, a pesquisa identificará todas as células da tabela, usando esta estratégia de modo recursivo.

	type d'intersection								
	1 (┐)	2 (┌)	3 (└)	4 (┘)	5 (┘)	6 (┐)	7 (┌)	8 (┘)	9 (┐)
direction 0 (→)	-	1 ↓	3 ↑	-	-	1 ↓	1 ↓	0 →	1 ↓
direction 1 (↓)	-	-	2 ←	0 →	1 ↓	-	2 ←	2 ←	2 ←
direction 2 (←)	1 ↓	-	-	3 ↑	3 ↑	2 ←	-	3 ↑	3 ↑
direction 3 (↑)	0 →	2 ←	-	-	0 →	0 →	3 ↑	-	0 →

Figura 5.116 – tabela de intersecções proposto por Tran van Thom [TRAN VAN THOM, 1997].

Desta forma, esta pesquisa armazenará as informações da identificação das células na **matriz de células**, com os seguintes dados:

- Número da célula (número dado pela identificação seqüencial da célula);
- Coordenadas do canto superior esquerdo (x_1, y_1) e
- Coordenadas do canto inferior direito (x_2, y_2).

Para avaliação, foi criado na ferramenta “*Table Simulator*” um procedimento para criar a **matriz de células** e com os dados desta matriz, montar o desenho da tabela (**visualização da constituição da tabela**) a fim de verificar a correta extração das células, como mostra a figura 5.117.

TEMPO	FLUXO			FLUXO			FLUXO		
	AUTOMÓVEL	ÔNIBUS	CAMINHÃO	AUTOMÓVEL	ÔNIBUS	CAMINHÃO	AUTOMÓVEL	ÔNIBUS	CAMINHÃO
HORA	BARRA	BARRA	BARRA	BARRA	BARRA	BARRA	BARRA	BARRA	BARRA
:00									
:15									
HORA	BARRA	BARRA	BARRA	BARRA	BARRA	BARRA	BARRA	BARRA	BARRA
:15									
:30									
HORA	BARRA	BARRA	BARRA	BARRA	BARRA	BARRA	BARRA	BARRA	BARRA
:30									
:45									
HORA	BARRA	BARRA	BARRA	BARRA	BARRA	BARRA	BARRA	BARRA	BARRA
:45									
:00									

(a) Tabela original

(b) Tabela Constituída para a extração dos dados

Figura 5.117 – Imagem da Constituição da Tabela gerada pela Matriz de Células.

Utilizamos esta estratégia de Tran van Thom também na fase de detecção de erros para averiguar se todas as células da tabela possuem os quatros cantos adequados para formar as mesmas.

Neste capítulo, apresentamos detalhadamente todas as etapas da metodologia desenvolvida para a extração de células dos dados de uma tabela.

No próximo capítulo, serão apresentados os resultados empíricos desta metodologia.

CAPÍTULO 6

RESULTADOS EXPERIMENTAIS

6.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo visa exemplificar a metodologia completa, desde a aquisição e limiarização da tabela até a extração de seus dados, como mostra a figura 6.1, apresentada também, no capítulo anterior.



Figura 6.1 – Fases da Metodologia da Pesquisa.

Para melhor apresentar os resultados experimentais, este capítulo foi dividido em quatro seções que são:

- Na seção **Testes de Detecção do Ângulo**, desenvolvemos uma comparação entre a nossa abordagem de detecção do ângulo e as técnicas de “Transformada de Hough” e “Projection Profile”.
- Na seção **Testes de Base de Validação**, tem-se a simulação de tabelas para a validação das tabelas de Aceitação e Rejeição criadas na fase de Detecção e Correção de Erros.
- Na seção **Contexto do IPPUC**, mostramos os resultados feitos com tabelas de padrão somente IPPUC e
- Na seção **Testes em Tabelas de Formato e de Tamanho Diversos**, apresentamos os testes feitos com diversos padrões de tabelas de formatos e de tamanhos distintos.

6.2 TESTES DE DETECÇÃO DO ÂNGULO

Desenvolvemos uma comparação entre a nossa abordagem de detecção do ângulo [NEVES & FACON, 1999] e as técnicas de “Transformada de Hough” e “Projection Profile”. Testamos 150 formulários do IPPUC e obtivemos os seguintes resultados, como mostra a tabela 6.3.

Num. de formulários	150
---------------------	-----

Ângulo	Transf. Hough tempo (s)	Projection Profile tempo (s)	Método Proposto tempo (s)
0	11,24	13,02	15,08
1	10,73	13,44	20,14
2	12,84	13,83	28,63
3	11,52	14,54	37,28
4	11,62	15,08	45,84
5	11,75	15,54	55,41
6	11,86	15,98	65,95
7	11,84	16,44	73,58
8	11,94	16,92	80,96
9	11,39	12,7	11,43

Tabela 6.1 – Resultados experimentais de análise das técnicas de detecção do ângulo.

Com isso, conclui-se o nosso método é o mais lento devido aos processos morfológicos utilizados. Tem-se, com seu uso, a necessidade de decompor os elementos estruturantes dos ângulos, a fim de melhorar o desempenho da detecção. Esta decomposição, entretanto, fica como um futuro desafio dessa pesquisa.

6.3 TESTES EM BASE DE VALIDAÇÃO

A base de validação é constituída de imagens sintéticas, para verificar o funcionamento do Simulador de Tabela, a fim de averiguar os resultados obtidos pelas tabelas de validação.

No Simulador de Tabela, montamos simulações de tabela de 10 x 10, com vários números de erros. Foram testados casos que apresentaram de 1 a 10 erros inseridos na tabela, como mostra a figura 6.2, uma tabela simulada com 10 erros. Estes erros estão representados em verde, para melhor visualizá-los.

T	T	T	0	T	0	T	⊥	T	+
⊥	+	+	T	+	T	+	T	+	-
0	-	+	+	+	+	+	+	+	-
⊥	+	+	+	+	+	+	+	-	0
0	⊥	+	+	+	+	-	+	+	-
⊥	⊥	+	+	+	+	+	+	-	0
0	⊥	+	+	T	+	+	+	+	-
⊥	⊥	+	+	+	+	+	⊥	-	0
⊥	T	⊥	+	⊥	+	⊥	+	+	-
T	⊥	0	⊥	0	⊥	0	⊥	⊥	⊥

Figura 6.2 – simulação de uma tabela com 10 erros.

RESULTADOS EXPERIMENTAIS:

Num. de testes	53
----------------	----

Num. de cantos com erros	133
--------------------------	-----

Processos/Resultados	acertos	erros	tempo médio (s)
Deteção da Estrutura Física	100%	0%	0,00
Correção da Estrutura Física	100%	0%	0,00

Tabela 6.2 – Resultados experimentais dos testes de validação.

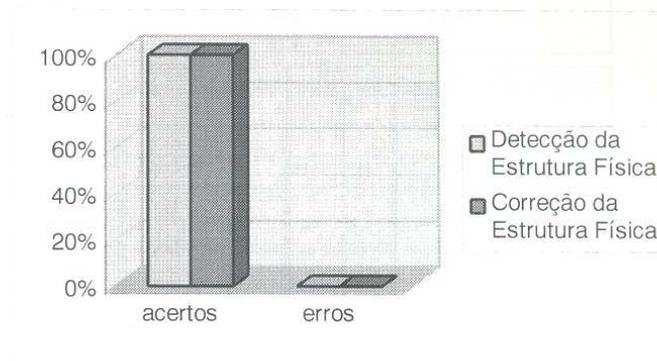


Figura 6.3 – Gráfico dos resultados da base de testes.

6.4 CONTEXTO DAS TABELAS IPPUC

O Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba, IPPUC, é uma autarquia pública municipal criada em 1965, com a finalidade de promover pesquisas, planejar e controlar os processos de desenvolvimento urbano da cidade de Curitiba. Dentro de suas atribuições, a análise do tráfego viário de Curitiba constitui uma tarefa importante para averiguar o congestionamento do mesmo com o crescimento da cidade, bem como para planejar novas estratégias de fluxos no desenvolvimento urbano.

Entre várias análises de tráfego viário, o presente estudo refere-se à contagem de veículos em uma determinada faixa de horário em vários cruzamentos de ruas de Curitiba, administrada e executada pelo Setor de Pesquisa do IPPUC, através de um formulário padrão de campo, mostrado na figura 6.4.

INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA
 SUBDIVISÃO DE INFORMAÇÕES - SETOR DE PESQUISA
 PESQUISA CONTAGEM DE TRÁFEGO

NOME DO PESQUISADOR: _____

DATA: ____/____/____

CÓDIGO DO PESQUISADOR: _____

CÓDIGO DO CRUZAMENTO: _____

CONDIÇÃO CLIMÁTICA

SOL NUBLADO CHUVA

TEMPO	FLUXO			FLUXO			FLUXO		
	ALTERNATA	ONIBUS	CARRETIÃO	ALTERNATA	ONIBUS	CARRETIÃO	ALTERNATA	ONIBUS	CARRETIÃO
00:00									
00:15									
00:30									
00:45									
01:00									

TEMPO	FLUXO			FLUXO			FLUXO		
	ALTERNATA	ONIBUS	CARRETIÃO	ALTERNATA	ONIBUS	CARRETIÃO	ALTERNATA	ONIBUS	CARRETIÃO
00:00									
00:15									
00:30									
00:45									
01:00									

Figura 6.4 – Formulário de campo de Pesquisa de Tráfego.

A pesquisa de contagem de tráfego é limitada à região da cidade de Curitiba, nos cruzamentos solicitados pelo CTA, setor de Controle de Tráfego em Área, do IPPUC, em um dado bairro, em uma data estipulada e independente do clima (tempo), e é coordenada pelo setor de Pesquisa. Este processo gera dados que serão repassados ao solicitante, o qual os utilizará para programar o cálculo de tempo dos semáforos da cidade. A contagem de tráfego é executada da seguinte maneira (figura 6.5):

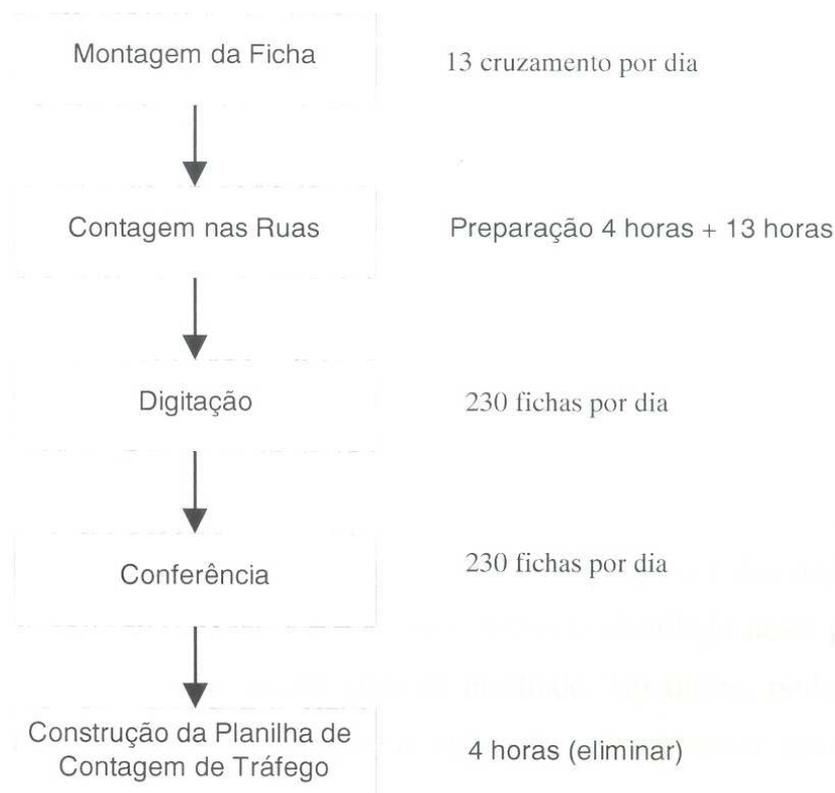


Figura 6.5 – Resumo das fases do processo das fichas do IPPUC.

A Montagem da Ficha, pelo setor de Pesquisa, consiste em organizar as fichas com os croquis contendo os fluxos de tráfego do cruzamento, a serem pesquisados;

Contagem nas Ruas, vem a ser a execução da pesquisa, com os funcionários posicionados nos cruzamentos de rua solicitados;

Digitação dos Formulários, é o processo manual de digitação de todos os dados preenchidos pelos pesquisadores de rua no setor de Pesquisa;

Conferência dos dados digitados, consiste em verificar se os dados não foram digitados com erros;

Construção da Planilha de Contagem de Tráfego, consiste em criar um relatório de análise estatística dos dados dos fluxos a cada quinze minutos, por tipo de veículo;

De acordo com os dados coletados dos formulários de pesquisas, em média, são computados 50 cruzamentos que geram por dia, aproximadamente, 140 mil dados no período das 7:00h às 22:00h. A digitação manual destes dados, leva em média 11

dias, gerando muitos erros e mais 4 horas são necessárias para elaborar os resultados finais de uma pesquisa.

Portanto, há uma dificuldade muito grande em obter-se resultados rápidos pelo processo manual existente no momento.

A proposta é realizar a extração automática dos dados manuscritos do formulário de contagem de tráfego, eliminando as fases de digitação e de conferência (substituídas pelo processo de reconhecimento). A extração automática dos dados manuscritos de um formulário consiste das etapas de aquisição da imagem, usando um scanner, e de localização e extração do formulário tipo tabela e dos dados manuscritos. O reconhecimento automático desses dados não será abordado nesta pesquisa, pois é objeto de estudo de outras dissertações de mestrado. No futuro, poder-se-á utilizar o resultado de tais pesquisas em diversas aplicações. Essa leitura automática também facilitará o controle dos erros de reconhecimento dos dados manuscritos. Em consequência, essa abordagem reduzirá os prazos de obtenção dos resultados finais da pesquisa de tráfego.

6.4.1 Identificação dos Problemas das Fichas do IPPUC

- 1 Os formulários de campo, algumas vezes, apresentam condições precárias (estão molhados, rasgados, sujos de barro, etc.) devido ao tempo e/ou ambiente onde se encontrava o pesquisador.
- 2 Grandes variações no formato dos dados manuscritos pelos pesquisadores de rua.
- 3 Sobreposição de dados manuscritos com informações do próprio formulário que irá prejudicar o reconhecimento dos números manuscritos.
- 4 Inclinação do formulário na fase de aquisição entre -10 e 10 graus.

6.4.2 Base de Testes do IPPUC

A base de testes foi formada somente por fichas do IPPUC para testar a operação do método na prática. Esta base foi obtida em níveis de cinza (256 cores), com 300 dpi e tamanho 3800 x 3000, totalizando 263 imagens.

Nestes resultados, são mostradas duas imagens reais de uma tabela inclinada, com ângulos de 4 e 8 graus, respectivamente, nos quais foram inseridos padrões, simulando defeitos ou adições indevidas.

6.4.3 Resultados dos Experimentos

Foi utilizada uma base de dados com imagens rotacionadas de 0 a 10 graus e com alguns padrões de ruído adicionado, como mostra as figuras 6.6 e 6.7.

INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA
SUPERVISÃO DE INFORMAÇÕES - SETOR DE PESQUISA
PESQUISA CONTAGEM DE TRÁFEGO

NOME DO PESQUISADOR: _____ DATA: ____/____/____
CÓDIGO DO PESQUISADOR: _____ CÓDIGO DO CRUZAMENTO: _____

CONDIÇÕES CLIMÁTICAS:
 SOL CHUVA
 NEBLINA NUVEM

TEMPO	FLUXO			FLUXO			FLUXO		
	Automóvel	Ônibus	Caminhão	Automóvel	Ônibus	Caminhão	Automóvel	Ônibus	Caminhão
00									
15									
30									
45									
00									

Figura 6.6 – Ficha inclinada com 4 graus.

INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA
SUPERVISÃO DE INFORMAÇÕES - SETOR DE PESQUISA
PESQUISA CONTAGEM DE TRÁFEGO

NOME DO PESQUISADOR: _____ DATA: ____/____/____
CÓDIGO DO PESQUISADOR: _____ CÓDIGO DO CRUZAMENTO: _____

CONDIÇÕES CLIMÁTICAS:
 SOL CHUVA
 NEBLINA NUVEM

TEMPO	FLUXO			FLUXO			FLUXO		
	Automóvel	Ônibus	Caminhão	Automóvel	Ônibus	Caminhão	Automóvel	Ônibus	Caminhão
00									
15									
30									
45									
00									

Figura 6.7 – ficha inclinada com 8 graus.

RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Número de formulários testados 263

Fase	Processos/Resultados	acertos	erros	tempo médio (s)	Quantidade formulários acertados
Fase 1	Aquisição e Limiarização da Tabela	97%	3%	1,46	256
Fase 2	Deteccção da Inclinação da Tabela	87%	13%	35,00	230
Fase 3	Identificação da Estrutura Física da Tabela	91%	9%	30,00	239
Fase 4 e 5	Compilador de Tabela	84%	16%	0,70	220
Fase 6	Extração das Células	70%	30%		155

com 80:	0,5%	com 91:	1,8%	com 95:	0,9%	com 117:	0,9%
com 89:	0,5%	com 92:	15,5%	com 98:	0,5%	com 120:	1,8%
com 90:	0,9%	com 94:	5,0%	com 101:	0,5%	com 122:	0,5%

Tabela 6.3 – Resultados experimentais da base de dados IPPUC.

Encontramos na fase 1, aquisição e limiarização da tabela, 97% de acerto, sendo os outros 3% de erros em imagens que apresentaram limiar muito baixo, o que impossibilitou continuar a fase seguinte.

Na fase de deteção da inclinação da tabela, obteve-se 87% de acertos pelo fato de haver dificuldade na deteção do ângulo de grau 2 e de grau 1, onde o elemento estruturante destes são muitos parecidos.

Finalizando esta fase, com a tabela rotacionada a zero grau, inicia-se a fase de identificação da estrutura física que resultará na formação da matriz teórica e a real.

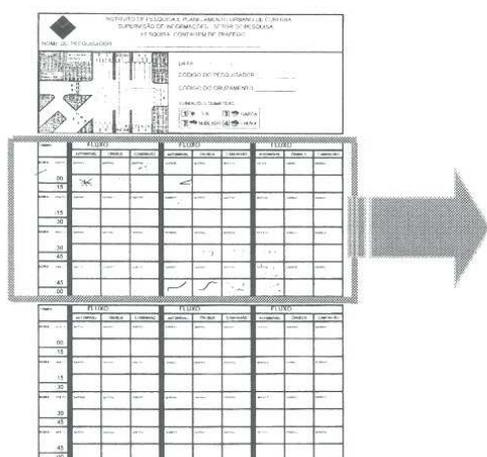


Figura 6.8 – Tabela de 8 graus rotacionada em zero graus.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	6	0	0	6	0	0	6	0	0	2
2	0	5	6	6	9	6	6	9	6	6	7
3	5	9	9	9	9	9	9	9	9	9	7
4	0	5	9	9	9	9	9	9	9	7	
5	5	7	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	5	9	9	9	9	9	9	9	9	7	
7	0	5	9	9	9	9	9	9	9	7	
8	5	7	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	5	9	9	9	9	9	9	9	9	7	
10	0	5	9	9	9	9	9	9	9	7	
11	5	7	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	5	9	9	9	9	9	9	9	9	7	
13	0	5	9	9	9	9	9	9	9	7	
14	5	7	0	0	0	0	0	0	0	0	
15	4	8	8	8	8	8	8	8	8	8	3

Figura 6.9 – Matriz Real da figura 6.8.

Vector Teórica Y (linhas)												
Linha	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Valor	20	60	98	182	226	268	352	396	439	523	567	610

Vector Teórica X (colunas)											
Coluna	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Valor	356	510	663	807	961	1115	1259	1413	1567	1711	1855

Figura 6.10 – Matriz Teórica da figura 6.8.

Houve, nesta fase, 91% de acertos (239 fichas com acertos), os 9% de erros foram resultantes da fase anterior, onde não houve a correta detecção do ângulo, prejudicando, assim, a identificação dos cantos da tabela.

Na fase de Detecção de Erros, é produzida a matriz contadora de erros, através da matriz real.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	6	0	0	6	0	0	6	0	0	2
2	0	5	6	6	9	6	6	9	6	6	7
3	5	9	9	9	9	9	9	9	9	9	7
4	0	5	9	9	9	9	9	9	9	9	7
5	5	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	5	9	9	9	9	9	9	9	9	9	7
7	0	5	9	9	9	9	9	9	9	9	7
8	5	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	5	9	9	9	9	9	9	9	9	9	7
10	0	5	9	9	9	9	9	9	9	9	7
11	5	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	5	9	9	9	9	9	9	9	9	9	7
13	0	5	9	9	9	9	9	9	9	9	7
14	5	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	4	8	8	8	8	8	8	8	8	8	3

Figura 6.9 – Matriz Real da figura 6.8.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 6.11 – Matriz contadora de erros da figura 6.8.

Nesta fase de Detecção e Correção de Erros, os 16% de erros foram provenientes de identificação do canto zero e dos erros resultantes na fase anterior. Outro fato é a presença de dado manuscrito que sobrepõem as linhas da tabela, dificultando a divisão correta das células.

Ao término destas duas fases, tem-se a extração das células, através da constituição da tabela feita da matriz real da figura 6.9. Nesta fase, houve 70% de acerto na extração das células, com 93 divisões de células em 155 formulários, e os 30% foram decorrentes de divisões erradas, devido à presença de dados manuscritos sobrepostos às

linhas do formulário. Com isso, tem-se divisões de 80 a 122 células, sendo que a mais ocorrida é a de 92 células.

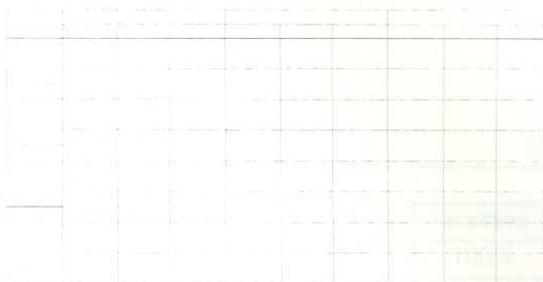


figura 6.12 – Constituição da tabela da tabela 6.9 para a extração das células.

TEMPO ↓	FLUXO			FLUXO			FLUXO		
	AUTOMÓVEL	ÔNIBUS	CAMINHÃO	AUTOMÓVEL	ÔNIBUS	CAMINHÃO	AUTOMÓVEL	ÔNIBUS	CAMINHÃO
HORA MINUTO	BARRAS	BARRAS	BARRAS /	BARRAS J	BARRAS	BARRAS X	BARRAS	BARRAS	BARRAS
14 :00									
14 :15	174	1	18	24	-	5	8	-	1
HORA MINUTO	BARRAS	BARRAS r	BARRAS H	BARRAS	BARRAS	BARRAS r	BARRAS	BARRAS	BARRAS r
14 :15									
14 :30	165	2	12	29	-	2	10	-	3
HORA MINUTO	BARRAS	BARRAS	BARRAS /	BARRAS	BARRAS	BARRAS r	BARRAS	BARRAS	BARRAS
14 :30									
14 :45	173	-	13	21	-	3	8	-	1
HORA MINUTO	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS
14 :45									
14 :45	195	1	9	20	-	-	6	-	1
15 :00									

(a)

TEMPO ↓	FLUXO			FLUXO			FLUXO		
	AUTOMÓVEL	ÔNIBUS	CAMINHÃO	AUTOMÓVEL	ÔNIBUS	CAMINHÃO	AUTOMÓVEL	ÔNIBUS	CAMINHÃO
HORA MINUTO	BARRAS	BARRAS	BARRAS /	BARRAS J	BARRAS	BARRAS X	BARRAS	BARRAS	BARRAS
14 :00									
14 :15	174	1	18	24	-	5	8	-	1
HORA MINUTO	BARRAS	BARRAS r	BARRAS H	BARRAS	BARRAS	BARRAS r	BARRAS	BARRAS	BARRAS r
14 :15									
14 :30	165	2	12	29	-	2	10	-	3
HORA MINUTO	BARRAS	BARRAS	BARRAS /	BARRAS	BARRAS	BARRAS r	BARRAS	BARRAS	BARRAS
14 :30									
14 :45	173	-	13	21	-	3	8	-	1
HORA MINUTO	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS	BARRAS
14 :45									
14 :45	195	1	9	20	-	-	6	-	1
15 :00									

(b)

figura 6.13 – Resultado da segmentação de um formulário tipo tabela: (a) imagem inicial, (b) células extraídas.

Para viabilizar o método proposto, foram feitos testes com fichas do IPPUC não preenchidas pelo usuário, a fim de demonstrar que os erros provêm dos dados manuscritos sobrepostos ou adicionados.

RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Num. de formulários	55
---------------------	----

Fase	Processos/Resultados	acertos	erros	tempo médio (s)
Fase 1	Aquisição e Limiarização da Tabela	100%	0%	1,46
Fase 2	Detecção da Inclinação da Tabela	100%	0%	35,00
Fase 3	Identificação da Estrutura Física da Tabela	100%	0%	30,00
Fase 4 e 5	Compilador de Tabela	100%	0%	* 0,70
Fase 6	Extração dos Dados	100%	0%	

Tabela 6.4 – Resultados experimentais da base de dados IPPUC em fichas não preenchidas.

Desta forma, tem-se os 55 formulários em branco com identificação correta das células em 100%, identificando que os erros gerados são provenientes dos dados manuscritos e não das características físicas da tabela.

6.5 TESTES EM TABELAS DE FORMATO E TAMANHO DIVERSOS

A base de testes foi formada por imagens diversas, de padrões e tamanhos variados, para testar a operação do método na prática. Esta base foi obtida em níveis de cinza (256 cores), com 300 dpi, totalizando 108 imagens.

RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Num. de formulários	108
---------------------	-----

Fase	Processos/Resultados	acertos	erros	tempo médio (s)
Fase 1	Aquisição e Limiarização da Tabela	97%	3%	1,15
Fase 3	Identificação da Estrutura Física da Tabela	97%	3%	0,35
Fase 4 e 5	Compilador de Tabela	86%	14%	0,50
Fase 6	Extração dos Dados	67%	33%	

Tabela 6.5 – Resultados experimentais com base de dados de tabelas diversas.

Nestes testes, não foi realizada a fase 2, detecção de inclinação do ângulo, pelo fato das imagens já terem sido obtidas no grau zero.

Foram analisados 108 formulários, de diversos padrões, e encontramos na fase 1, aquisição e limiarização da tabela, 97% de acerto, sendo os outros 3% de erros em imagens que apresentaram limiar muito baixo, o que impossibilitou continuar a fase seguinte.

Ocorreu também, 3% de erros na fase identificação da estrutura física, devido a falta de memória da máquina que interrompia o processo. Isto aconteceu com imagens maiores por possuírem muitas células.

Na fase de detecção e correção de erros houve, 14% de erros devido ao fato de que algumas tabelas não localizaram ou não identificaram corretamente o canto adequado para fechar as células, como mostra a figura 6.14. Neste exemplo, o canto 5 está sem o canto 7 no sentido horizontal da matriz real.

Simulator Table			
1	6	0	2
5	9	6	7
5	9	9	0
4	8	8	3

Figura 6.14 – Exemplo de erros com o canto 5 sem o fechamento do canto 7.

Este problema também ocorre no sentido vertical da matriz. Assim o canto 6 não se fecha com o canto 8.

Além disso, a fase de extração de dados destas tabelas apresentou 67% de acertos. Os 33% de erros provêm das linhas destas tabelas serem muito finas e um pouco inclinadas, entre 0 e 1 grau, provocando o desaparecimento de alguns cantos e a incorreta identificação dos mesmos.

Avaliação da técnica morfológica de detecção do ângulo com outros tipos documentos

Nos testes realizados, comparou-se a abordagem morfológica com as técnicas de “Projection Profile” onde só a projeção horizontal foi empregada e da transformada de Hough otimizada com o conceito de imagem “bursty” unicamente no sentido horizontal. A figura 6.15 apresenta três exemplos de imagens de documentos propositadamente inclinadas de 3 graus. Os resultados da avaliação do grau de inclinação pelo três foram idênticos. Os tempos de processamento respectivos mostraram que a abordagem morfológica é muito mais veloz (Tabela 6.5).

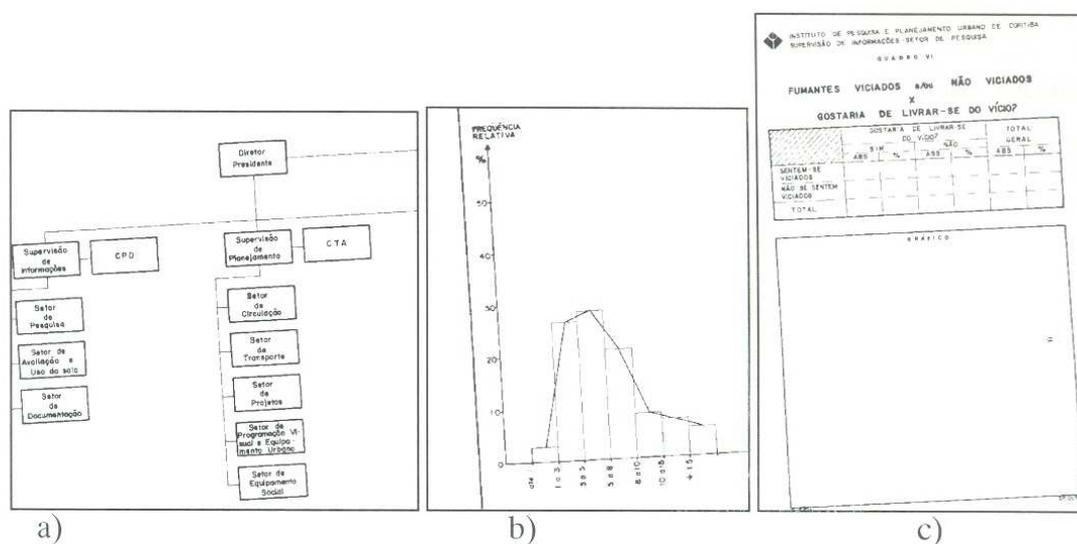


Figura 6.15 - Exemplos de documentos contendo linhas.

A figura 6.16 ilustra um exemplo de imagem de logotipo não inclinado. Nesse exemplo, percebeu-se que a abordagem por “Projection Profile” detectou erradamente uma inclinação de 2 graus enquanto a “Transformada de Hough e a abordagem morfológica avaliaram corretamente a inclinação com tempos de processamento parecidos (Tabela 6.5).



Figura 6.16 - Exemplo de logotipo

A figura 6.17 ilustra um exemplo de imagem de tabela inclinada de 3 graus. Nesse exemplo, a tabela foi adquirida deixando a tampa do “scanner” aberta, gerando assim uma faixa cinzenta escura ao redor da mesma, que foi transformada como preta pelo processo de binarização de Johannsen. Percebeu-se que, devido à presença dessa faixa preta, as abordagens por “Projection Profile” e pela “Transformada de Hough” não conseguiram determinar a inclinação da tabela. Pela abordagem morfológica, tanto por erosão como por dilatação, a avaliação da inclinação foi de 3 graus com um tempo de processamento de 15 segundos (Tabela 6.5).

Figura 6.17 - Imagem de tabela “mal adquirida”

A Tabela 6.5 agrupa os resultados numéricos realizados num “Personal Compatible Pentium” 133, 32 bits, das abordagens por “Projection Profile”, pela Transformada de Hough e pela abordagem morfológica proposta a partir das imagens anteriores.

Métodos		Projection Profile		Transformada de Hough		Abordagem Morfológica	
Imagem	Tamanho	ângulo	tempo(s)	ângulo	tempo(s)	ângulo	tempo(s)
Fig 6.14-a	854x835	3	10	3	6	3	3,26
Fig 6.14-b	430x541	3	3,5	3	2	3	1,23
Fig 6.14-c	642x976	3	9,5	3	4,5	3	2,96
Fig 6.16	327x333	2	2	0	1	0	0,42
Fig 6.17	3502x2680	-	-	-	-	3	15

Tabela 6.6 - Resultados numéricos das três abordagens testadas

A abordagem descrita anteriormente visa processar imagens de documentos contendo linhas. Nesse caso específico tanto o processo de avaliação do grau de inclinação por erosão ou por dilatação, fornece resultados precisos.

No caso de outros tipos de documentos sem linhas (texto etc.), essa nova abordagem mostrou-se eficiente e precisa, sendo realizada somente por dilatação. A abordagem por erosão, por eliminar excessivamente informações contidas em documentos outros que tabelas, revelou-se ineficientes. A figura 6.18 ilustra uma imagem de texto onde a abordagem morfológica por dilatação mostrou-se eficiente e precisa (inclinação de 6 graus).

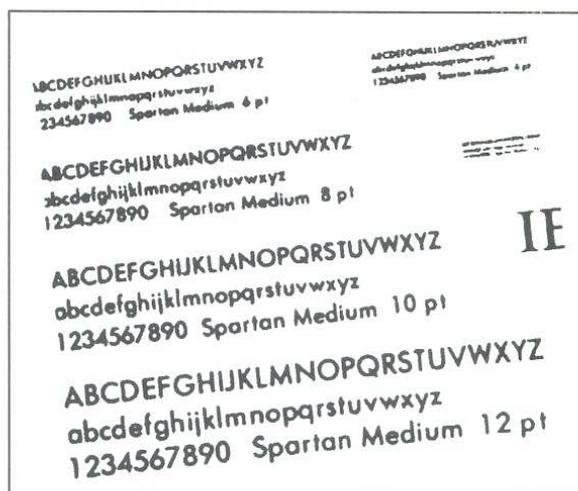


Figura 6.18 – Documento sem linha eficientemente processado pela abordagem morfológica por dilatação.

No caso de outros tipos de documentos (texto por exemplo), essa nova abordagem por dilatação mostrou-se também eficiente e precisa. Além da precisão, pelas medições em tempo efetuadas, mostrou-se em alguns casos, mais rápida que as abordagens clássicas. No futuro, pretende-se reduzir esse tempo decompondo os elementos estruturantes empregados.

Assim, apresentamos, neste capítulo, os experimentos produzidos nos testes de validação, na base de dados de fichas do IPPUC e na base de dados de formulários diversos. Desta forma, tem-se a validação da metodologia empregada, atingindo o seu objetivo em identificar a estrutura física da tabela.

No próximo capítulo, apresentaremos a conclusão e as perspectivas futuras desta pesquisa.

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

O processamento digital de documentos é um assunto apaixonante no campo da Informática. A possibilidade de se automatizar alguns processos manuais, o que, em geral, acarreta em economia de tempo e diminuição de digitação, constitui um grande desafio.

O objetivo desse trabalho foi desenvolver uma metodologia de extração automática de dados pré-impressos e/ou manuscritos contidos em formulários de tipo tabela. Vários estudos já foram apresentados a respeito no caso de tabelas perfeitas. Porém poucos trabalhos até agora foram desenvolvidos no caso de tabelas danificadas.

A metodologia apresentada focalizou-se em processar tabelas danificadas através do uso de um algoritmo de busca de erros que permitiu detectar e corrigir erros gerados na fase de identificação da estrutura física, permitindo assim extrair corretamente as células dessas tabelas. Nas etapas intermediárias que vão da detecção da inclinação do documento até a identificação da estrutura física deste, foi empregada de forma exaustiva a ferramenta de Morfologia Matemática Binária.

A metodologia proposta foi testada tanto em condições simuladas como em condições reais. Para isso, um gerador de tabelas foi desenvolvido a fim de poder simular problemas que podem ocorrer em tabelas reais. Testes exaustivos foram realizados a partir de tabelas reais. Foi utilizado o formulário padrão do IPPUC, de pesquisa de tráfego viário, como objeto de estudo, embora a técnica desenvolvida sirva para qualquer tipo de documento padrão de formato tabela. Em ambos os casos, os resultados numéricos apresentados nesse trabalho demonstraram a viabilidade da abordagem adotada no caso de tabelas perfeitas e danificadas.

Certos exemplos de formulário de tipo tabela, contudo, mostraram que a estratégia adotada para corrigir os erros identificados na tabela pode gerar divisões das células. Esse fato demonstra a complexidade envolvida ao tratar-se qualquer formulário de tipo tabela.

Como proposta para pesquisas futuras, pode-se considerar o estudo deste problema, assim como o desenvolvimento de códigos específicos para detectar as linhas horizontais, verticais e até mesmo as inclinadas. Com isso, ter-se-á melhor desempenho

na interpretação da detecção de erros; como também, na definição dos dados manuscritos sobrepostos aos dados pré-impressos. Além disso, pode ser usada a aplicação de rede neural para o reconhecimento da estrutura física do formulário, isto é um ótimo desafio em identificar as características da tabela pelo reconhecimento de diversas redes neurais.

A extração da estrutura lógica e o reconhecimento dos números manuscritos, não foram aqui estudados. Na parte da extração da estrutura lógica, faz-se necessário o estudo da identificação de células ativas (células com dados manuscritos) e células passivas (células com dados pré-impressos). Por ser um assunto ainda recente com pouca literatura a respeito, o estudo da identificação de células ao mesmo tempo ativas e passivas é um desafio interessante.

Logo, chega-se à conclusão desta pesquisa, que no caso de tabelas padrão do IPPUC, a automatização da extração dos dados será futuramente utilizada permitindo assim diminuir o tempo de digitação e possibilitar obtenção mais rápida das informações contidas nestas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [CASTLEMAN, 1996] Castleman, Kenneth R. "Digital Image Processing". Prentice-Hall, New Jersey, 1996, pp. 470-480.
- [CHAUDHURI & CHAUDHURI, 1997] Chaudhuri A and Chaudhuri S., "Robust Detection of skew in Document Images", *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 6, No 2, pp 344-349, February 1997.
- [CHAUDHURI & PAL, 1997] Chaudhuri B.B. and Pal U., "Skew angle detection of digitized Indian script documents", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 19, No 2, pp 182-186, February 1997.
- [CHEN et al., 1995] Chen S. and Haralick R.M. and Phillips I. T., "Automatic text skew estimation in document images". *IEEE*, pp 1153-1556, 1995.
- [DENGEL, 1993] Dengel, Andreas. "Initial Learning of Document Structure". International Conference on Document Analysis and Recognition, Tsukuba Science City, Japan, IEEE Computer Society Press, October 20-23, 1993, pp 86 - 90.
- [FACON, 1996] Facon, Jacques. "Morfologia Matemática: Teoria e Exemplos", Curitiba, Paraná, 1996.
- [FAN & CHANG, 1998] Fan, Kuo-Chin e Chang, Mei-Lin. "Form Document Identification Using Line Structure Based Features". *IEEE*, 1998, pp 1098 - 1100.
- [GATOS et al., 1997] Gatos B. and Papamarkos N. and Chamzas C., "Skew Detection and text line position determination in digitized documents", *Pattern Recognition*, vol. 30, No 9, pp 1505-1519, 1997.
- [GONZALEZ, 1992] Gonzalez, Rafael C.; Woods, Richard E. "Digital Image Processing". Addison-Wesley Publishing Company, USA, 1992, pp 518-569.
- [HAO et al., 1993] Hao, Xiaolong e Wang, Jason T. L. e Ng, Peter A. "Nested Segmentation: An Approach For Layout Analysis In Document Classification". International Conference on Document Analysis and

- Recognition, Tsukuba Science City, Japan, IEEE Computer Society Press, October 20-23, 1993, pp 319 -322.
- [HINDA et al., 1990] Hinda S.C. and Fisher J.L. and D'Amato D.P. , “A document skew detection method using run-length encoding and the Hough transform”, Proceedings of 10th Int. Conf. Pattern Recognition, 1, pp.464-468, 1990.
- [ISHITANI, 1993] Ishitani Y., “Document skew detection based on local region complexity”, Proceedings of 2rd Int. Conf. on Document Analysis and Recognition, Tsukuba Science City, Japan, pp.49-52, October 1993.
- [JIANG et al., 1997] Jiang H.F. and Huan C.C. and Fan K.C., “A fast approach to the detection and correction of skew documents”, *Pattern Recognition Letters*, vol. 18, pp 675-686, 1997.
- [JOHANNSEN & BILLE, 1982] Johannsen G. and Bille J., “A Threshold Selection Method using Information Measures”, Proceedings of 6th Int. Conf. Pattern Recognition, Munich, Germany, pp.140-143, 1982.
- [ARIAS & KASTURI, 1997] Arias, Juan F.; Kasturi, Rangachar. “Efficient Extraction of Primitives From Line Drawings Composed of Horizontal and Vertical Lines”. *Machine Vision and Applications*, 1997, vol. 10, pp 214-221.
- [LE et al., 1994] Le D.S. and Thomas G. R. and Wechsler H., “Automated Page Orientation and Skew Angle Detection for binary document images”, *Pattern Recognition*, vol. 27, No 10, pp 1325-1344, 1994.
- [LINDLEY, 1991] Lindley C. A. , “Practical Image Processing in C”, Wiley & Sons, pp. 407 – 441, 1991.
- [MASCARENHAS et al., 1989] Mascarenhas, Nelson D. A . , Velasco, Flávio R. D. “Processamento Digital de Imagens”. Escola Brasileiro-Argentina de Informática, Universidad Católica de Santiago del Estero, Argentina, 1989, 2ª edição, pp 8.09-8.18.
- [MATTANA, 1999] Mattana, Marco Flávio, “Avaliação da Qualidade da Segmentação por Binarização de Cheques Bancários a partir do Processo de Reconhecimento”, Dissertação de Mestrado, PUC-PR, 08 de fevereiro de 1999.

- [MELLO, 1993] Mello Filho J. B., Chaiben H., “Rotação e Mudança de Escala de Imagens”, Relatório Técnico do CEFET-PR, Ago. 1993.
- [NEVES & FACON, 1999] Neves Luiz A P. e Facon Jacques., “Abordagem Morfológica para a avaliação da inclinação de documentos contendo linhas”, CLEI’99, XXV Conferencia Latino Americana de Informática, Assunção, Paraguai, 3 setembro 1999, pp 277 - 285.
- [O’ GORMAN & KASTURI, 1998] O’Gorman, Lawrence. Kasturi; Rangachar. “Document Image Analysis”. IEEE Computer Society Press, USA, 1998.
- [OLIVEIRA, 1998] Oliveira, Luiz Eduardo Soares. “Estudo Sobre a Extração das Estruturas Lógica e Física a partir de Imagens de Cheques Bancários Brasileiros”, Dissertação de Mestrado, CEFET-PR, 17 de março de 1998.
- [SERRA, 1982] Serra J., “Image Analysis and Mathematical Morphology”, Academic Press, London, 1982.
- [TANG & SUEN, 1993] Tang, Yuan Y. e Suen, Ching Y. “Document Structures: A Survey”. International Conference on Document Analysis and Recognition, Tsukuba Science City, Japan, IEEE Computer Society Press, October 20-23, 1993, pp 99.
- [TRAN VAN THOM, 1997] Thom, Richard Tran van. “Modélisation de Tableaux Pour le Traitement Automatique des Formulaire”, Laboratoire PSI Université de Rouen, 1997.
- [WATANABE & FUKUMURA, 1992] Watanabe, Toyohide. Luo Qin e Fukumura, Teruo. “A Framework of Layout Recognition for Document Understanding”. Symposium on Document Analysis and Information Retrieval, march 16-18 1992, Las Vegas, Nevada, USA, 1992 p 77.
- [WATANABE et al., 1995] Watanabe, Toyohide. Luo Qin e Surgie, Noboru. “Layout Recognition of Multi-Kinds of Table-Form Documents”. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 17, no. 4, april 1995, pp 432 - 445.

[YU & JAIN, 1996] Yu B. and Jain A. K., "A Robust and fast skew detection algorithm for generic documents", *Pattern Recognition*, vol. 29, No 10, pp 1599-1629, 1996.