

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA

FABRÍCIO BARBOSA RIBAS

ANÁLISE DE TÉCNICAS DE LIMIAZIZAÇÃO EM PROGRAMAS DE ANÁLISE DE
CARTÕES HIDROSSENSÍVEIS

PONTA GROSSA
2013

FABRÍCIO BARBOSA RIBAS

ANÁLISE DE TÉCNICAS DE LIMIAZIZAÇÃO EM PROGRAMAS DE ANÁLISE DE
CARTÕES HIDROSSENSÍVEIS

Dissertação apresentada para obtenção do título de mestre na
Universidade Estadual de Ponta Grossa, Área de Computação Aplicada em
Tecnologias da Agricultura.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Giovanetti Canteri.

Co-Orientador: Prof. Dr. Alceu Britto de Souza Júnior

PONTA GROSSA
2013

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Setor de Tratamento da Informação BICEN/UEPG

R482 Ribas, Fabrício Barbosa
Análise de técnicas de limiarização em
programas de análise de cartões
hidrossensíveis/ Fabrício Barbosa Ribas.
Ponta Grossa, 2013.
60f.

Dissertação (Mestrado em Computação
Aplicada - Área de Concentração:
Computação para Tecnologias em
Agricultura), Universidade Estadual de
Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo
Giovanetti Canteri.

Co-Orientador: Prof. Dr. Alceu Britto
de Souza Júnior.

1.Defensivos agrícolas. 2.Pulverização.
3.Cartões hidrossensíveis. 4.Limiarização.
I.Canteri, Marcelo Giovanetti. II. Souza
Júnior, Alceu Britto de. III. Universidade
Estadual de Ponta Grossa. Mestrado em
Computação Aplicada. IV. T.

CDD: 632.952

TERMO DE APROVAÇÃO

FABRÍCIO BARBOSA RIBAS

"ANÁLISE DE TÉCNICAS DA LIMIAZIZAÇÃO EM PROGRAMAS DE ANÁLISE DE CARTÕES HIDROSSENSÍVEIS"

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora:

Orientador:



Dr. Marcelo Giovanetti Canteri
UEPG



Dr. David de Souza Jaccoud Filho
UEPG



Dr. Ariângelo Hauer Dias
UEPG

Ponta Grossa, 08 de janeiro de 2013.

Dedico à “bisa Zita” (*in memorian*) que mesmo sem entender muita coisa do projeto, sempre fazia questão de se manter atualizada com o seu progresso, mas infelizmente não pode vê-lo concluído.

AGRADECIMENTOS

À minha família, pelo apoio irrestrito, mesmo nas horas mais difíceis, sempre me incentivando e apoiando de todas as formas possíveis.

Ao Prof. Dr. Marcelo G. Canteri, pela sugestão do tema e pelas contribuições e orientações desta dissertação.

Ao Prof. Dr. Alceu de Brito Júnior, pela contribuição importantíssima não só na área de Processamento Digital de Imagens, mas na estrutura geral desta dissertação.

Aos membros do CCA – Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Londrina, em especial ao Prof. Dr. Otavio Jorge Grigoli Abi Saab, e seus orientandos Karina Silva e Rafael Balan pela contribuição de seus conhecimentos teóricos e práticos na área de manuseio e tratamentos dos cartões hidrossensíveis.

À comissão avaliadora do processo seletivo deste programa de mestrado, em especial à Prof^a Dr^a Alaine Margarete Guimarães e ao prof. Dr. José Carlos Ferreira da Rocha, pelo crédito dado à minha pessoa, e por enxergarem em mim algumas qualidades que eu mesmo tinha esquecido que possuía.

Antes só do que nunca.

(Ricardo Ribas)

RESUMO

O efeito da contaminação do meio ambiente por parte de defensivos agrícolas vem se tornando uma grande preocupação e um tema frequente de debate em todo o mundo. Otimizar o processo de aplicação do defensivo agrícola, é a abordagem mais eficiente encontrada até o momento para diminuir a contaminação ambiental sem prejudicar a eficácia no controle das doenças de plantas. Dentre as várias técnicas disponíveis para o controle de qualidade no processo de aplicação de defensivos, o uso dos cartões hidrossensíveis é uma das mais populares, mas a análise desses cartões é muito trabalhosa. Já existem alguns programas computacionais para a análise de imagens digitalizadas de cartões hidrossensíveis, mas nenhum está disponível de forma online. Nesse sentido, este trabalho teve por objetivo testar técnicas de limiarização para o desenvolvimento de uma aplicação online de análise de cartões hidrossensíveis. Foram testadas técnicas de limiarização global (método de Otsu), limiarização local adaptativa (Método de Wellner) e multilimiarização (métodos de Bernsen e Papamarkos). O método de Otsu, que utiliza a técnica de limiarização global, produziu os melhores resultados e foi o escolhido para ser utilizado em nossa aplicação online.

Palavras Chave: defensivos agrícolas, pulverização, cartões hidrossensíveis, limiarização.

ABSTRACT

The effect of environmental contamination by pesticides is becoming a major concern and a frequent topic of debate worldwide. Optimize the process of applying the pesticide, is the most efficient approach found so far to reduce environmental pollution without sacrificing effectiveness in controlling plant diseases. Among the various techniques available for quality control in the process of application of pesticides, the use of water sensitive cards is one of the most popular, but the analysis of these cards is very difficult. There are some computer programs for analyzing images of water sensitive cards, but none is available for access online. Thus, this study aimed to test thresholding techniques for developing an online application for analyzing water sensitive cards. We tested techniques for global thresholding (Otsu's method), adaptive local thresholding (Wellner's method) and multithresholding (Bernsen and Papamarkos' methods). The Otsu method, which uses the technique of global thresholding produced the best results and was chosen to be used in our application online.

Keywords: pesticides, spraying water sensitive cards, thresholding.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Formação de gotas através de ponta de pulverização.....	18
Figura 2 - Gabarito para contagem manual de gotas	21
Figura 3 - Exemplos de Papéis Hidrossensíveis para avaliação de gotas de pulverização	22
Figura 4 - Diferentes limiares para uma mesma imagem.....	25
Figura 5 - Binarização com limiar global.....	27
Figura 6 - Binarização com o método de LAR.....	27
Figura 7 - Alternando a ordem a cada nova linha.....	28
Figura 8 - Imagem com alternância entre linhas e informações do eixo vertical	28
Figura 9 - Imagem original usada no método de Papamarkos	30
Figura 10 - Transformação da Figura 9 – Método Papamarkos	30
Figura 11 - Transformação da Figura 9 – Método Kapur	31
Figura 12 - Fluxo de processos para efetuar a análise comparativa entre os métodos testados.....	34
Figura 13 - Cartões para testes de técnicas de limiarização para processamento digital de imagens de cartões hidrossensíveis	35
Figura 14 - Resultado da análise de cartão hidrossensível pelo programa CIR 1.5..	37
Figura 15 – Zoom com a área que apresenta contornos desfocados	43
Figura 16 - Exemplo das janelas para análise no programa CIR 1.5	44
Figura 17 - Comparativo visual com o método de Wellner	46
Figura 18 - Comparativo visual do método de Bernsen.....	48
Figura 19 - Teste do algoritmo de Bernsen com valores 10 e 150 como parâmetro.	49
Figura 20 - Comparativo visual com o método de Papamarkos	50
Figura 21 - Comparativo visual entre as técnicas estudadas	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Imagens digitalizadas dos seis cartões originais	39
Tabela 02 – Imagens digitalizadas dos cartões obtidos pela técnica de Otsu.....	40
Tabela 03 – Imagens digitalizadas dos cartões obtidos pela técnica de Wellner	41
Tabela 04 – Imagens digitalizadas dos cartões obtidos pelas técnicas de Bernsen e Papamarkos	42
Tabela 05 – Resultados obtidos na análise dos cartões originais	44
Tabela 06 – Resultados obtidos na análise dos cartões gerados pelo método de Otsu no programa Conta Gotas Online	45
Tabela 07 – Resultados obtidos na análise dos cartões gerados pelo método de Wellner no programa CIR 1.5	47
Tabela 08 – Resultados obtidos na análise dos cartões gerados pelo método de Wellner na aplicação Conta Gotas Online.....	47
Tabela 09 – Resultados obtidos na análise dos cartões gerados pelo método de Bernsen no programa CIR 1.5.....	49
Tabela 10 – Resultados obtidos na análise dos cartões gerados pelo método de Bernsen na aplicação Conta Gotas Online.....	49
Tabela 11 – Resultados obtidos na análise dos cartões gerados pelo método de Papamarkos no programa CIR 1.5.....	50
Tabela 12 – Resultados obtidos na análise dos cartões gerados pelo método de Papamarkos na aplicação Conta Gotas Online.....	51
Tabela 13 – Comparativo entre os métodos mostrando o número de gotas.....	51

LISTA DE SIGLAS

3D	Três Dimensões
AR	Amplitude Relativa
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CM	Centímetros
DMN	Diâmetro Mediano Numérico
DMV	Diâmetro Mediano Volumétrico
IPL	<i>Image Processing Library</i>
MM	Milímetros

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 O uso dos Papéis Hidrossensíveis na Agricultura.....	16
2.1.1 O processo de produção agrícola.....	16
2.1.2 Tecnologia de Aplicação.....	17
2.1.3 Métodos de Aplicação de Agroquímicos.....	17
2.1.3.1 Aplicação por Via Líquida.....	17
2.1.3.2 Formação e Tamanho de Gotas.....	18
2.1.4 Métodos de Avaliação da Aplicação de Produtos via Pulverização.....	19
2.1.5 Papéis Hidrossensíveis	20
2.2 Processamento Digital de Imagens.....	23
2.2.1 Segmentação de Imagens.....	23
2.2.1.1 Segmentação por Região.....	23
2.2.1.1.1 Limiarização e Multi-limiarização	24
2.2.1.1.2 Limiarização Global.....	24
2.2.1.1.3 Limiarização Local Adaptativa	26
2.2.1.1.4 Método de Pierre D. Wellner	26
2.2.1.1.5 Multilimiarização	28
2.2.1.1.6 Método proposto por N. Papamarkos e B. Gatos	29
2.2.1.2 Segmentação por Contorno	31
2.2.1.2.1 Detecção de Pontos.....	31
2.2.1.2.2 Detecção de Bordas.....	32
2.2.2 Biblioteca Intel OpenCV	32
3 MATERIAL E MÉTODOS	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1 Descrição das imagens.....	38
4.2 Segmentação das imagens.....	43
4.3 Análise dos Cartões pelo programa CIR 1.5.....	44
4.4 Método de Otsu.....	45
4.5 Método de Wellner	46
4.6 Método de Bernsen.....	48
4.7 Método de Papamarkos	50

4.9 Análise Comparativa	51
4.10 Análise do tempo de processamento	53
5 CONCLUSÕES	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

1 INTRODUÇÃO

O efeito da contaminação do meio ambiente por parte de defensivos agrícolas vem se tornando uma grande preocupação e um tema frequente de debate em todo o mundo.

Otimizar o processo de aplicação do defensivo agrícola, é a abordagem mais eficiente encontrada até o momento para diminuir a contaminação ambiental sem prejudicar a eficácia no controle das doenças de plantas. Isso pode ser obtido efetuando a pulverização apenas nos momentos em que a situação está em seu limite crítico, aplicando o defensivo uniformemente em toda a área da planta.

Independentemente do método utilizado, o processo de pulverização necessita de técnicas rápidas e confiáveis para determinar sua qualidade. Vários pesquisadores analisaram as relações entre alguns parâmetros de pulverização (como a densidade e o diâmetro das gotas) e a eficácia no controle das doenças de plantas.

Ainda não existe um padrão de pulverização (tipo de ponta, densidade da gota) que deve ser seguido para controlar determinada doença ou inseto. A qualidade da pulverização depende do tamanho da gota, número de impactos do defensivo na planta e a extensão da folha que teve contato com o defensivo. Por uma melhor eficiência nesse processo, alguns estudos tentam determinar qual o número ideal de gotas que deve entrar em contato com a planta para surtir o efeito desejado. Algumas empresas sugerem um padrão para o número de gotas, a empresa Syngenta Crop Protection AG (Basel, Switzerland) recomenda pelo menos 20–30 gotas/cm² para aplicações de inseticidas, 30–40 gotas/cm² para aplicações de herbicidas, e 50–70 gotas/cm² para aplicações de fungicidas, para que tenha um resultado satisfatório nas pulverizações.

Para qualquer análise, entretanto, a primeira providência é coletar amostras das gotas. Para tanto, deve-se ter uma superfície suscetível de ser marcada, seja através de formação de manchas, crateras ou outro fenômeno visível. Dentre as várias técnicas existentes para este fim, a utilização de papel hidrossensível é, hoje, a mais empregada, devido à sua praticidade (RAMOS, 2000).

Atualmente, a informática pode ser considerada como mais um segmento incorporado à natureza multidisciplinar da pulverização, na busca da melhoria na qualidade das avaliações. Com ela busca-se obter rapidez, dinamismo e

precisão nas avaliações dos dados obtidos no processo de pulverização; daí a importância do desenvolvimento de softwares para análise dos papéis hidrossensíveis, utilizados como amostradores.

Várias técnicas de análise de cartões hidrossensíveis já foram estudadas, podendo-se citar (FÁVERO et Al., 2001), (FRANZ, 1993), (SALYANI e FOX, 1994, 1999), (WOLF, 2003) e (HOFFMANN e HEWITT, 2005). Mas nenhum dos métodos analisados oferece uma análise de forma online, que possa ser acessada pela Internet.

O processamento digital de imagens em outras áreas do conhecimento utiliza a técnica de limiarização para separar o plano de objetos do plano de fundo de uma imagem. Quanto à forma que os trabalhos citados processam digitalmente as imagens dos cartões hidrossensíveis, nenhum utiliza a técnica de limiarização multinível.

O objetivo deste trabalho foi testar quatro técnicas de limiarização para a aplicação em um sistema online de análise de cartões hidrossensíveis, estudando diferentes técnicas, como a limiarização global, limiarização local adaptativa e multilimiarização.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O uso dos Papéis Hidrossensíveis na Agricultura

2.1.1 O processo de produção agrícola

Dentre as várias etapas que constituem o processo de produção agrícola, a aplicação de defensivos é uma das mais exigentes, pois deve atender não somente ao tratamento da área cultivada, mas também a cuidados com a preservação do ambiente (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Na maioria das vezes, durante o controle químico de pragas, doenças e plantas daninhas, dá-se muita importância ao produto fitossanitário e pouca atenção à técnica de aplicação. A consequência é a perda de eficácia, quando não o fracasso total do tratamento, com superdosagens ou subdosagens, que levam à perda de produção e a danos ao ambiente e à própria saúde humana (CUNHA e RUAS, 2006).

O aumento do uso de defensivos agrícolas no custo da produção agrícola e as crescentes preocupações ambientais obrigam, cada vez mais, o aperfeiçoamento das técnicas utilizadas para sua aplicação, visando reduzir a quantidade de produto aplicado e os riscos de contaminação ambiental (MENEGETTI, 2006).

Aliado ao aumento da demanda de alimentos, cresceu o grau de exigência dos consumidores, o que tornou necessária uma nova postura do produtor para satisfazer os mercados. O consumidor tem se tornado cada vez mais exigente quanto à qualidade do produto final. Segundo (BONILLA, 1994), o controle de qualidade é perfeitamente adaptável ao sistema de produção agrícola, o qual, com a correção e a eliminação de desperdícios e falhas, redução de custos e aumento da produtividade, trará vantagens numerosas na competitividade do campo num futuro próximo.

Um ajuste correto nos pulverizadores pode melhorar sua precisão e eficiência e os resultados no controle de enfermidades podem ser maximizados, visando redução dos custos, aumento da produtividade e menos impacto ao meio ambiente. (PRAAT, MANKLETOW, SUCKLING e MABER, 1996).

2.1.2 Tecnologia de Aplicação

A tecnologia de aplicação de defensivos é descrita por (MATUO, 1990) como emprego dos conhecimentos científicos que proporcionem a correta colocação do produto biologicamente ativo no alvo, em quantidade necessária, de forma econômica e com o mínimo de contaminação de áreas não alvo.

Segundo (CHRISTOFOLETTI, 1992), a tecnologia de aplicação é composta por 3 fatores básicos: “O produto, que tem que ser o mais adequado e específico para a praga e ser controlada; o momento da aplicação deve ser o qual a praga esteja mais exposta e mais sensível à ação do produto; e a máquina, que é aquela que produz a aplicação mais adequada, distribuindo melhor o produto sobre a área ser protegida”. Entretanto, existem muitas variáveis que interferem no bom andamento dessa operação, constatando-se que a quantidade de produto que realmente atinge o alvo é muito menor que a quantidade de produto aplicado (GRAHAM-BRYCE, 1977). Por tal razão, desenvolveram-se vários estudos e técnicas de avaliação da aplicação, para verificar se as mesmas atingem os objetivos descritos e desejados. O produto lançado que não atinge o alvo, além de causar prejuízo financeiro direto pelo seu custo e não controle da praga, ainda promove contaminação ambiental e danos por deriva em cultivos vizinhos, pessoas, animais e meio ambiente em geral.

2.1.3 Métodos de Aplicação de Agroquímicos

Os agroquímicos podem ser aplicados por forma gasosa, sólida ou líquida. Na forma gasosa, aplica-se principalmente produtos para controle de pragas em silos. É uma forma de aplicação bastante restrita pela natureza da operação. Na forma sólida, existem os produtos aplicados na forma de pó e grânulos. Bastante comuns no passado, encontram-se quase em total desuso, devido a fatores como deriva e toxicidade pela facilidade de aspiração das partículas finas (CHRISTOFOLETTI, 1992).

2.1.3.1 Aplicação por Via Líquida

A aplicação de defensivos por via líquida é a mais comum e eficaz na operação de aplicação. Os defensivos agrícolas, diluídos normalmente em água, são transportados até o alvo através de rega, injeção, molha através de pincelamento ou pulverização. Sendo a pulverização a mais comum destas, ela é também dividida em aplicação com bicos hidráulicos, bicos pneumáticos, termonebulizadores e por discos centrífugos.

2.1.3.2 Formação e Tamanho de Gotas

O processo de formação de gotas se inicia pela saída do líquido sob pressão pela ponta de pulverização. A energia potencial do líquido, associada com o desenho da ponta e geometria do orifício fazem o líquido emergir em pequenos ligamentos. Esse ligamentos posteriormente quebram-se em pequenas peças, que são chamadas de gotas, gotículas ou partículas líquidas (SCHICK, 1997), como pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 - Formação de gotas através de ponta de pulverização



(Fonte: Oxford Lasers).

As pontas hidráulicas produzem um espectro de gotas de diferentes tamanhos e com diferentes velocidades (LEFEBVRE, 1989). O tamanho das gotas produzidas e a informação sobre elas é de fundamental importância na efetividade da operação de aplicação (SCHICK, 1997).

O tamanho de gotas é medida em micra (milésima parte do milímetro), e para que a compreensão do tamanho fosse entendida de forma padrão, foi estabelecido o padrão ASTM (*American Society for Testing and Materials*) 1296-92, no qual se determinou o DMV, diâmetro mediano volumétrico ou DV0.5. O DMV significa o tamanho da gota que divide um volume pulverizado pela metade, significando que metade das gotas formadas tem tamanho superior àquela medida e a outra metade tamanho inferior.

Entretanto, face a dimensão do espectro de gotas produzidas e pelos variação na uniformidade dos mesmos, faz-se necessário o uso dos DV0.1, que indica o tamanho de gota no qual 10% da gotas produzidas são menores que aquele tamanho e 90% são maiores. Da mesma forma, usa-se o DV0.9, qual 90% da gotas produzidas são menores que aquele tamanho e 10% são maiores.

Conhecendo esses números, encontra-se um índice de uniformidade das gotas produzidas por determinada ponta, denominado amplitude relativa (AR) ou span, através da seguinte equação:

$$A.R. = \frac{DV0.9 - DV0.1}{DV0.5}$$

A determinação do tamanho de gotas é feito com o uso de equipamentos sofisticados e complexos, conforme descrito por Schick em 1997, como a Análise óptica de imagem, Difração de raios laser, Sondas opticas e o Doppler.

2.1.4 Métodos de Avaliação da Aplicação de Produtos via Pulverização

A medição da deposição da pulverização nas plantas alvo ou em alvos simulados é uma importante técnica para avaliação dos métodos de pulverização (FOX et Al., 2001). Os padrões de distribuição e cobertura da aplicação são diretamente relacionados a sua eficácia no controle de pragas e planta daninhas (SALYANI e FOX, 1994).

Conceitualmente existem dois tipos de avaliações de aplicação: a deposição, avaliação quantitativa na qual se verifica a quantidade de produto depositado no alvo; e a cobertura, avaliação qualitativa na qual se observa a porcentagem do alvo que foi coberta pela aplicação. A cobertura é influenciada por diversos fatores, tais como condições climáticas, velocidade de aplicação, tamanho de gotas, arquitetura da planta alvo e outras características do próprio pulverizador (PRAAT et Al., 1996). Em ensaios de cobertura, utiliza-se papéis hidrossensíveis, papel kromekote, traçantes, corantes e placas de Petri entre outros. Um dos primeiros métodos para avaliação de deposição foi descrito por (MATHEWS, 1982) e citado por (RAMOS et Al., 2004), consistindo-se na coleta de gotas em superfície lisa, com fator de espalhamento conhecido, dimensionados em microscópio óptico equipado com retículo ou graticulo de Porton (mínimo de 200 gotas por superfície), separadas por classe de tamanho de gotas, planilhadas em função do número e volume por classe, plotadas em papel logarítmico e finalmente que a curva seja traçada e os parâmetros determinados. Tal processo é bastante moroso e cansativo, dificultando a aplicabilidade e comprometendo a confiabilidade dos resultados.

2.1.5 Papéis Hidrossensíveis

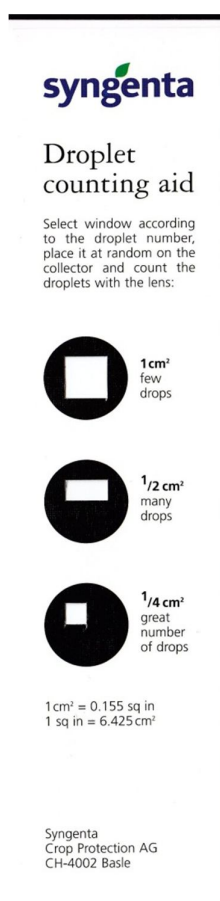
Os papéis hidrossensíveis são papéis semi-rígidos, com uma camada composta de azul de bromofenol, refletindo a cor amarela, que se torna azul ao contato com a água, devido a mudança de pH de 2.8 para 4.6 (TURNER e HUNTINGTON, 1970). Esses papéis, fabricados pela empresa Syngenta (anteriormente Ciba-Geigy), são bastante populares em todo o mundo.

Uma característica dos papéis hidrossensíveis é que as gotas pulverizadas que o atingem causam uma mancha no mesmo. Entretanto, essa mancha não reflete o tamanho da gota que foi depositada. Para o cálculo do tamanho de gota, existe um fator de espalhamento, usado para estimar seu tamanho. Ele consiste-se no diâmetro da mancha dividido pelo diâmetro da gota (CIBA-GEIGY, 1994). O fator de espalhamento padrão considera a água como solvente, entretanto cada solução possui características diferentes, devido a adição de adjuvantes, como surfactantes, requerendo um fator de espalhamento customizado (FRITZ et Al., 2009). A contagem de gotas que atingem os papéis pode ser feita manualmente, contando-se visualmente as gotas contidas em espaço

determinado como um (1) cm^2 ou menos, como mostrado na Figura 2, ou através de softwares de análise da imagem dos impactos ou manchas no papel (SYNGENTA, 2007), sendo que a estimativa do tamanho das gotas pode ser feita somente pelos softwares de avaliação.

Para uma contagem não computadorizada, pode-se utilizar um Gabarito, conforme ilustra a Figura 2, que possui áreas para contagem manual de gotas em papel hidrossensível. A área de 1cm^2 é indicada para papéis com poucas manchas, e as áreas menores para o que contenham mais manchas.

Figura 2 - Gabarito para contagem manual de gotas

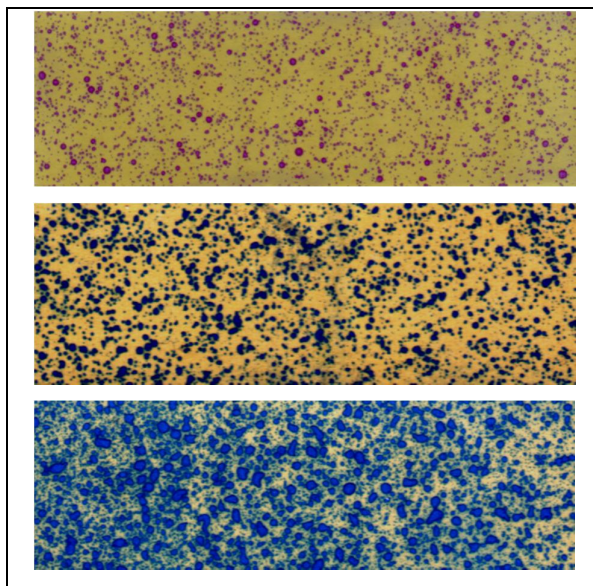


(Fonte: Syngenta, 2007).

Outras características do uso do papel hidrossensível são: a) com seu uso em condições de alta umidade, acima de 85%, faz que toda sua superfície comece a se tornar azul em função da umidade do ar, e b) em aplicação com altas vazões, normalmente acima de 200 litros por hectare, o número de gotas é tão grande que as mesmas se interpolam, causando manchas contínuas no papel que

distorcem o tamanho das gotas e até impossibilitam o cálculo do número de impactos por área e seu tamanho (FOX et Al., 2001). Por esta razão, (DEGRÉ et Al., 2001) consideraram que os papéis sensíveis tiveram boa indicação qualitativa da aplicação em volumes não maiores que 100 litros por hectare. Tal problema foi também verificado por (FRITZ et Al., 2009), que encontrou a tendência de os programas medirem diâmetros medianos volumétricos maiores quando a deposição é maior, pois gotas interpoladas são lidas como uma única gota. Quando um papel é atingido por poucas gotas, sua avaliação estatística fica comprometida, conforme sugerido por (HOFFMAN e HEWITT, 2004). Uma limitação técnica ao uso de softwares de análise de gotas em papéis sensíveis se deve a dificuldade de leitura e análise de gotas muito pequenas, abaixo de 50 micra, segundo (HOFFMAN e HEWITT, 2004) ou 80 micra, como descrito por (SALYANI e FOX, 1999). Exemplos de imagens de papéis hidrossensíveis expostos a gotas de diferentes tamanhos podem ser vistos na Figura 3, onde observa-se manchas que se unificaram e que podem causar erros na interpretação de quantidade e tamanho de gotas

Figura 3 - Exemplos de Papéis Hidrossensíveis para avaliação de gotas de pulverização



(Fonte: CCA – Centro de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual de Londrina)

Uma das principais vantagens do uso de papéis hidrossensíveis é a facilidade de colocação junto a folhas em qualquer parte da copa da planta ou alvo biológico (HOFFMAN e HEWITT 2004).

2.2 Processamento Digital de Imagens

Pode-se definir processamento digital de imagens como uma ciência que permite modificar, analisar e manipular imagens digitais a partir de um computador. Os algoritmos de processamento de imagens são procedimentos passo-a-passo para otimizar as operações de tratamento de imagens. O processo completo pode ser dividido em três estágios: a digitalização, a visualização e a manipulação das imagens (MASCARENHAS e VELASCO, 1989).

Uma imagem digital é o resultado da transformação da função matemática contínua $f(x,y)$ em uma outra função matemática $F(x,y)$ cujos valores são discretos. A imagem pode ser representada por uma tabela $N_1 \times N_2$, onde cada elemento dessa tabela chama-se pixel (abreviação de "*picture element*") os números N_1 e N_2 determinam a qualidade da imagem, e quanto maior essa qualidade, mais bits são necessários para se armazenar essa imagem (MORAND, 1987).

Cada representação de um pixel pode armazenar diversas informações, dependendo do número de cores e tons de cinza da imagem, e ainda do formato de representação das cores. Uma imagem colorida pode ser representada por vários formatos, como o CMYK, RGB e HSI, entre outros. Uma imagem não colorida pode ser representada em tons de cinza, que pode ter vários níveis, mas geralmente utiliza-se 256 níveis para a representação de uma imagem em tons de cinza, e as imagens com menor grau de detalhes, são as que possuem apenas dois tons de cinza, que são denominadas imagens binárias.

2.2.1 Segmentação de Imagens

O alvo da segmentação de imagens, é obter, a partir de uma imagem digitalizada e pré-processada, um conjunto de primitivas ou segmentos significativos, que contem a informação semântica relativa à imagem de origem. Em geral, as primitivas usadas são contornos e regiões.

2.2.1.1 Segmentação por Região

A detecção de regiões numa imagem pode ser feita com o objetivo de extrair uma determinada região ou dividir a imagem em um conjunto de regiões

disjuntas, cuja união representa a imagem inteira. Uma região de uma imagem é um conjunto de pontos “ligados” onde, de qualquer ponto da região pode-se chegar a qualquer outro ponto por um caminho inteiramente contido nessa região. As regiões que se deseja detectar, em geral, são regiões “homogêneas”, ou seja, apresentam alguma propriedade local aproximadamente constante. Existem vários métodos para particionamento em regiões, como a divisão e fusão, e a limiarização ou binarização.

2.2.1.1.1 Limiarização e Multi-limiarização

O processo de digitalização gera uma imagem composta de pixels, cujos níveis de cinza vão de 0 a 255. De forma geral, essa imagem pode conter diversos objetos, células, texto, gráficos, etc. Com isso, é possível dividir a imagem em dois planos distintos: o plano de objetos representando as regiões de interesse na imagem, e o plano de fundo, que contem todas as outras regiões como não interessantes. O princípio da binarização, consiste em separar o plano de objetos do plano de fundo. Seu objetivo é marcar os pixels que pertencem às verdadeiras regiões de primeiro plano com um valor simples (Ligado) e as regiões de fundo com um valor diferente (Desligado). Com isso, é gerada uma imagem binária, apresentando somente duas classes, o primeiro plano de cor preta, sobre o fundo de cor branca. Existem várias técnicas para o processo de limiarização, que serão apresentadas a seguir.

2.2.1.1.2 Limiarização Global

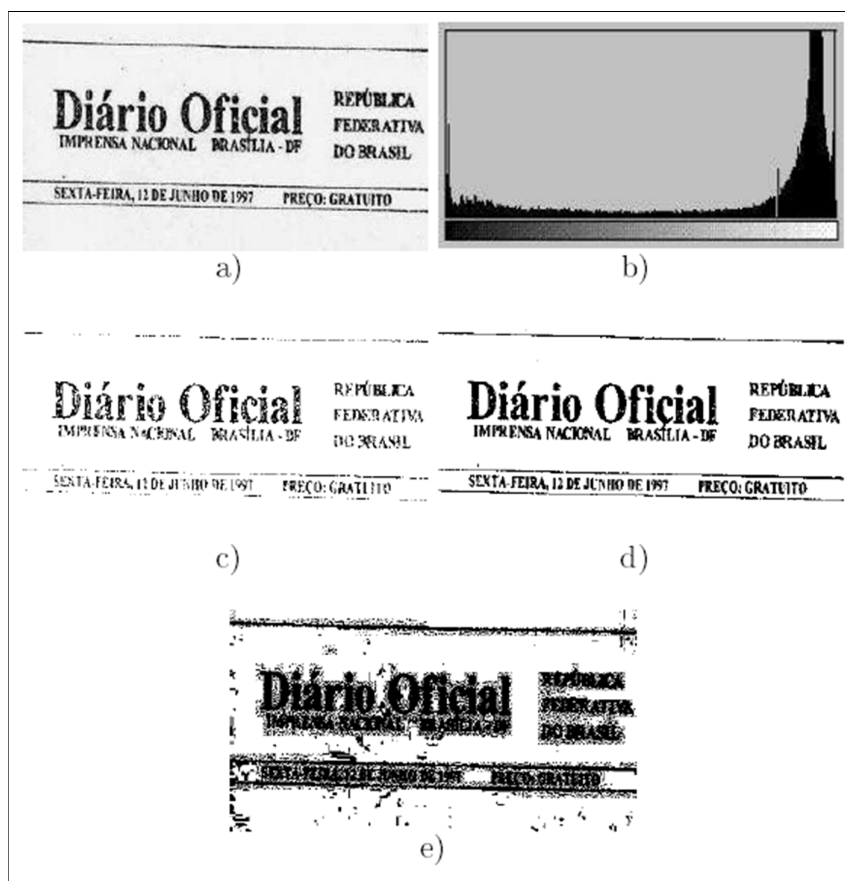
Quando se busca um único valor de limiar para toda a imagem, o processo chama-se de limiarização global. O modo mais direto para selecionar automaticamente um valor de limiar a uma imagem é através do seu histograma. O histograma basicamente é uma tabela que fornece para cada nível de cinza o número de pixels existentes na imagem. No caso do primeiro plano ser bem diferenciado em relação ao fundo, o histograma apresentará distintamente duas classes na forma de dois picos, separados por um “vale”.

A limiarização global consiste, no caso de um primeiro plano mais claro que o fundo, em escolher no histograma um valor Y , tal como para cada pixel $P(x,y)$:

$$P(x,y) = \begin{cases} \in \text{primeiro plano} & \text{se o valor de } P(x,y) > T \\ \in \text{fundo} & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Esse limiar T fica em algum lugar do vale. A Figura 4 ilustra a influência do valor do limiar sobre a qualidade da limiarização.

Figura 4 - Diferentes limiares para uma mesma imagem



(Fonte: Jacques Facon – Processamento e Análise de Imagens)

Este processo é muitas vezes usado para dissociar o fundo das identidades presentes (células, objetos, etc.). A maior vantagem é que o princípio é simples e não exige muito poder computacional. Porém existem algumas desvantagens na utilização deste método, pois as imagens nem sempre contêm intensidades de primeiro e segundo plano bem diferenciados. É bom lembrar que a qualidade da imagem pode influenciar fortemente a natureza dos picos do histograma, ocasionando dificuldades na separação dos picos e o estabelecimento do limiar acaba tornando-se um processo empírico.

Existem muitas pesquisas nessa área específica, e dentre as mais eficientes pode-se destacar a proposta de (OTSU, 1979), que baseia-se na análise

discriminante, definindo as características da imagem em duas classes distintas, em termos de distribuições de Gauss.

2.2.1.1.3 Limiarização Local Adaptativa

Devido à complexidade em selecionar um limiar global, definir valores diferentes de limiar para regiões diferentes da imagem provou ser uma abordagem interessante. Este tipo de limiarização é chamado de limiarização adaptativa ou local.

A maneira mais natural de desenvolver uma limiarização local seria simplesmente adaptar as técnicas de limiarização global de maneira a atuar em janelas deslizando sobre a imagem para determinar limiares locais, no lugar da imagem inteira. Porém os resultados são na maioria dos casos ruins, devido à geração de distorções e diferenças grandes entre regiões.

O problema principal com qualquer técnica de limiarização local é a escolha do tamanho da janela. Existem várias abordagens para se aplicar a limiarização local adaptativa, sendo que a mais se destaca atualmente é o método de (WELLNER, 1993).

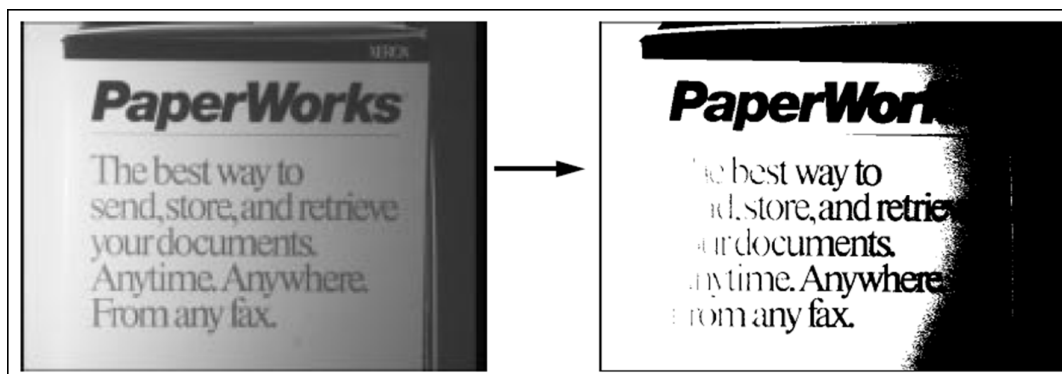
2.2.1.1.4 Método de Pierre D. Wellner

Uma folha branca, com impressões em preto, ao ser escaneada, dificilmente será uma imagem em preto e branco. A imagem gerada é em escala de cinza, não importando a qualidade e resolução do aparelho utilizado. O relatório técnico escrito por Wellner discute algumas técnicas de limiarização de imagens, e apresenta um algoritmo chamado Limiarização Adaptativa Rápida, que não é a melhor solução possível, mas consegue trabalhar de forma satisfatória com os problemas encontrados na digitalização de documentos impressos.

A idéia básica do algoritmo proposto por Wellner, é transcorrer toda a imagem, enquanto é calculada uma média dos últimos N pixels. Quando o valor do pixel, é abaixo do valor da média desse último conjunto de pixels, ele é marcado como preto, e caso contrário, ele é marcado como branco. Apenas uma iteração pela imagem completa é necessária para atingir o seu objetivo. O algoritmo é simples de ser implementado e não tem alto custo computacional.

A Figura 5 mostra um problema clássico na digitalização de documentos utilizando-se apenas um limiar global para toda a imagem. Algumas partes da imagem são erroneamente definidas como branco e outras como preto como pode ser visto, perdendo algumas informações.

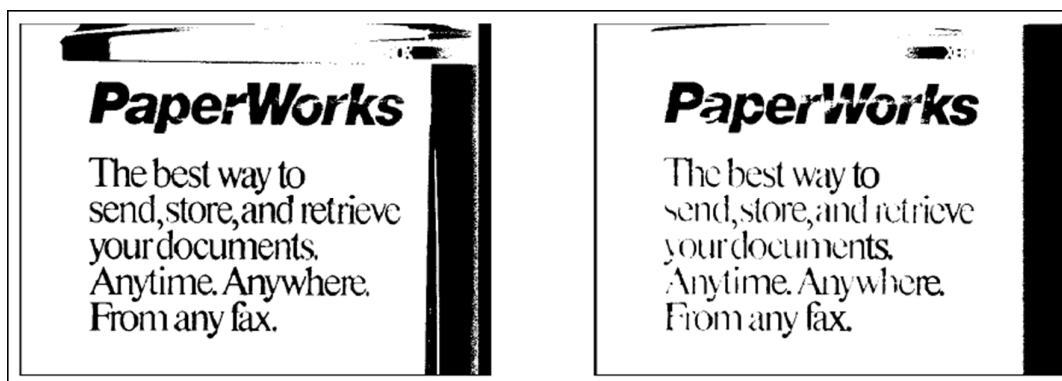
Figura 5 - Binarização com limiar global



(Fonte: Pierre D. Wellner)

A Figura 6 mostra a mesma imagem, binarizada com o algoritmo Limiarização Adaptativa Rápida. A imagem da esquerda utiliza a técnica passando pelos pixels da esquerda para a direita, e a imagem da direita utiliza a mesma técnica, mas passando pelos pixels da direita para a esquerda.

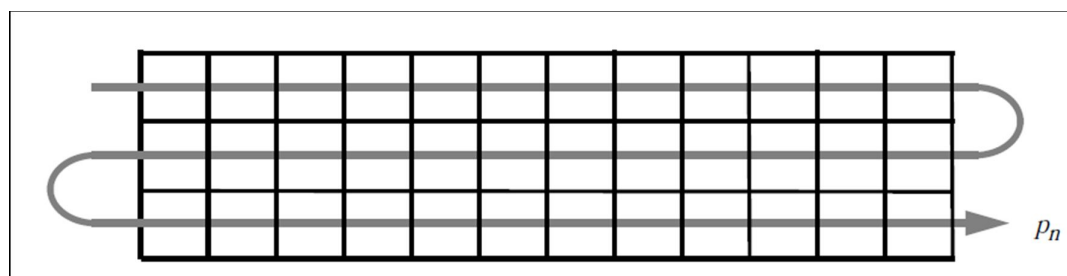
Figura 6 - Binarização com o método de LAR



(Fonte: Pierre D. Wellner)

Uma outra alternativa, ao invés de percorrer toda a imagem da esquerda para a direita, ou da direita para a esquerda, é possível percorrer a imagem alternando as linhas, conforme ilustrado na figura 7.

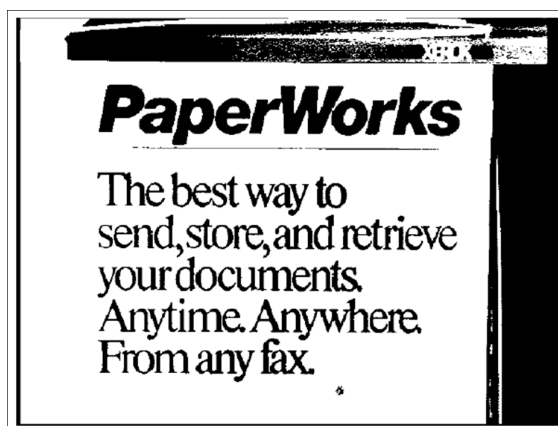
Figura 7 - Alternando a ordem a cada nova linha



(Fonte: Pierre D. Wellner)

Com isso, os resultados obtidos são melhores, e ainda é possível pegar algumas informações do eixo vertical também, produzindo letras melhores formadas, e não perdendo detalhes da imagem, como a linha que fica abaixo da palavra PaperWorks.

Figura 8 - Imagem com alternância entre linhas e informações do eixo vertical



(Fonte: Pierre D. Wellner)

2.2.1.1.5 Multilimiarização

Dependendo do conteúdo da imagem, simplesmente particioná-la em somente duas classes, o primeiro plano e o fundo, acarreta uma grande perda de informação. A multilimiarização propõe a classificação dos objetos em um número maior de classes, gerando assim imagens não binárias, diferentemente dos métodos de limiarização local e global, que partem do pressuposto que no final existem somente duas classes. Existem muitas técnicas distintas, mas nesse caso a

especificação do número de classes é um parâmetro obrigatório para sua utilização, deixando poucas abordagens realmente automáticas.

2.2.1.1.6 Método proposto por N. Papamarkos e B. Gatos

O método proposto nesta técnica, pode ser dividido em três estágios distintos. No primeiro estágio, é feito um agrupamento dos objetos da imagem através do histograma. Num histograma, os objetos são representados por montanhas (hills). Essas montanhas possuem vales e picos. Os pixels próximos dos picos, são considerados pixels de objetos, enquanto os pixels perto dos vales não possuem uma classificação pré-determinada, pois não fazem parte especificamente de nenhum objeto da imagem. Este método procura os limiares nos vales, localizados entre montanhas adjacentes. O método utilizado nessa primeira etapa é o hill-clustering, proposto por (TSAI e CHEN, 1992), onde eles concluem que é possível determinar a localização dos picos no histograma de maneira iterativa. A cada iteração, o número de níveis de cinza é reduzido pela metade. Numa análise mais minuciosa, pode-se perceber que a posição dos picos é determinada por aproximação, com uma pequena margem de erro. Também pode-se perceber que o número final de picos corresponde ao numero total de montanhas (hills) e consequentemente o número de objetos.

Após definido o número final de picos, e suas posições no histograma, é necessário fazer a divisão dos dados do histograma pelo número de picos. Essa tarefa deve ser executada com o mínimo de erros, uma convergência para o que seria a solução ideal, e com um baixo custo computacional. Para tanto, foi proposta uma nova abordagem do método LRA proposto por (PAPAMARKOS, VACHTSEVANOS e MERTZIOS, 1988) e (PAPAMARKOS, 1989). Com esse algoritmo, é possível atribuir a qualquer conjunto de dados, uma função racional de acordo com critérios pré-estabelecidos. O principal problema encontrado foi que o algoritmo LRA não é iterativo, e sim linear. Para contornar esse problema, foi necessário utilizar-se da técnica de recursão.

Como exemplo dessa implementação, a Figura 9 foi transformada com o método de limiarização multinível proposto por Papamarkos, estabelecendo como três o número de picos desejado.

Figura 9 - Imagem original usada no método de Papamarkos



(Fonte: N. Papamarkos e B. Gatos (1994))

A figura 10 mostra a conversão com o método proposto por Papamarkos, e a Figura 11 mostra como fica a imagem com a conversão utilizando o método de (KAPUR et Al., 1985).

Figura 10 - Transformação da Figura 9 – Método Papamarkos



(Fonte: N. Papamarkos e B. Gatos)

Figura 11 - Transformação da Figura 9 – Método Kapur



(Fonte: N. Papamarkos e B. Gatos)

2.2.1.2 Segmentação por Contorno

Um contorno é uma mudança brusca do nível de cinza entre duas regiões relativamente homogêneas. Ele pode aparecer como uma sequência de pontos, uma linha, um segmento, uma curva ou uma forte variação do nível de cinza médio. Para segmentar uma imagem pelo contorno, pode-se utilizar as técnicas de detecção de pontos e detecção de Bordas.

2.2.1.2.1 Detecção de Pontos

É a forma mais resumida de segmentar uma imagem sob a forma de contornos. Um exemplo de segmentação de uma imagem sob a forma de pontos particulares é usar o operador de (MORAVEC, 1987). Ele representa um algoritmo de detecção de pontos que traduzem zonas locais particulares ou que podem constituir o centro de regiões de grande variância segundo algumas direções. Segundo esse operador, um ponto é altamente caracterizável se e somente se ele possuir uma variância alta segundo quatro direções: vertical, horizontal e as duas diagonais principais.

A partir de uma janela normalmente composta de 5x5 pixels, o operador avalia as variâncias segundo as quatro direções computando os quadrados

das diferenças dos valores dos níveis de cinza. O centro da janela é então substituído pelo valor mínimo das quatro variâncias.

2.2.1.2.2 Detecção de Bordas

Uma das técnicas de detecção de bordas mais utilizadas consiste no processamento de uma imagem a partir de um operador de derivada local. A avaliação do gradiente através de máscaras não é única, mas depende dos coeficientes e do tamanho das máscaras. A escolha das máscaras adequadas depende de vários critérios, cujo principal e mais significativo é o tamanho da máscara. Ao se utilizar uma máscara grande, pode-se obter uma melhor suavização da imagem e melhores resultados na eliminação de ruídos, em contrapartida, perde-se precisão na definição dos detalhes finos e exige mais processamento computacional.

2.2.2 Biblioteca Intel OpenCV

A biblioteca OpenCV foi desenvolvida pela Intel e lançada no ano de 1999 para ser utilizada em sistemas de grande porte como interfaces 3D e aplicações em tempo real. (PEREIRA et Al., 2009). Ainda segundo Pereira, a biblioteca OpenCV provê uma série de facilidades quanto ao uso de funções algébricas e operações com matrizes. Esta biblioteca foi originalmente desenvolvida em linguagem de programação C/C++ e possui compatibilidade com Java, Python e Visual Basic e com plataformas Windows, GNU/Linux, OS X, POSIX e Mac OS. (LIMA et Al., 2008). A biblioteca é livre para uso comercial e de pesquisa sob a licença BSD, uma licença de código aberto considerada pouco restritiva quando comparada a outras licenças.

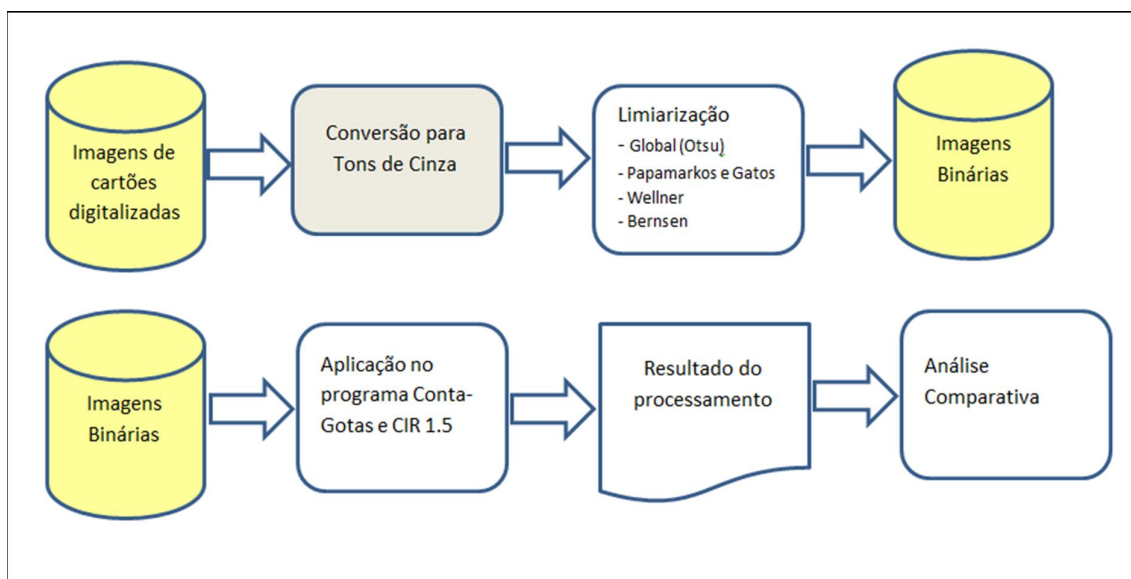
Juntamente com o pacote OpenCV é oferecida a biblioteca IPL (*Image Processing Library*), da qual a OpenCV depende parcialmente. A biblioteca está dividida em cinco grupos de funções: Processamento de imagens; Análise estrutural; Análise de movimento e rastreamento de objetos; Reconhecimento de padrões e Calibração de câmera e reconstrução 3D. O pacote OpenCV está disponível na internet, assim como seu manual de referência. (MARENGONI e STRINGHINI, 2009).

Segundo (ALVES, 2005), a Biblioteca OpenCV é recomendada para economizar tempo de programação nas funções básicas de manipulação de imagens, e também para se utilizar técnicas mais difundidas em operações específicas no processamento digital de imagens.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa procurou testar diferentes técnicas de limiarização em imagens digitalizadas de cartões hidrossensíveis para uma posterior análise comparativa dentre as técnicas utilizadas. A Figura 12 apresenta o fluxo de processos seguidos para se atingir o objetivo.

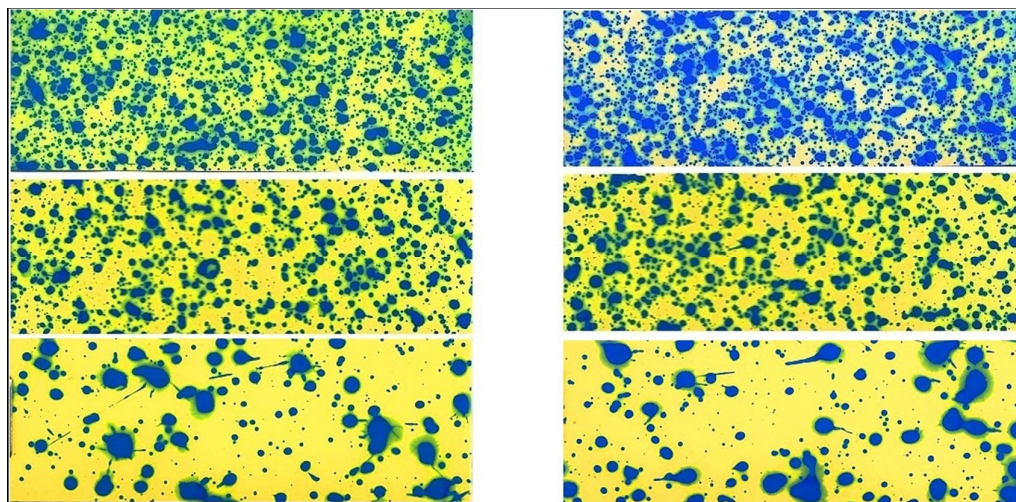
Figura 12 - Fluxo de processos para efetuar a análise comparativa entre os métodos testados



(Fonte: O autor)

Para os testes foram utilizadas imagens digitalizadas de cartões hidrossensíveis reais, obtidos junto ao CCA-UEL (Centro de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual de Londrina), e algumas imagens foram feitas em programas de edição de imagens, para se obter algumas situações específicas. Dentre todo o conjunto de imagens disponíveis, foram selecionadas seis imagens, classificadas em três grupos distintos. Esses grupos foram definidos através de uma análise visual, para classificar os cartões de acordo com o número de gotas em cada cartão. Foram selecionadas duas imagens com poucas gotas, duas imagens com muitas gotas e duas imagens com um número mediano de gotas, conforme mostra a Figura 13. Para determinados testes, também foram utilizadas algumas imagens preparadas em programas de edição de imagens, para simular situações específicas e também para calibrar as ferramentas utilizadas.

Figura 13 - Cartões para testes de técnicas de limiarização para processamento digital de imagens de cartões hidrossensíveis



(Fonte: O Autor)

Como as imagens de cartões hidrossensíveis são coloridas, antes de executar o processo de limiarização, é necessária uma transformação da imagem colorida para tons de cinza. Esse processo foi realizado utilizando-se uma função da biblioteca OpenCV para realizar essa operação específica, a qual se mostrou eficiente e de simples utilização.

Na sequência, essa imagem em tons de cinza foi transformada em uma imagem binária, através de algumas técnicas diferentes de limiarização, descritas a seguir.

O primeiro teste foi com a limiarização global, onde também foi utilizada uma função disponível na biblioteca OpenCV. Essa função tem a possibilidade de escolher o método de limiarização global como parâmetro. Em nossos testes, foi utilizado o Método proposto por (OTSU, 1979).

Para testar a técnica de limiarização local adaptativa, foi utilizado o método proposto por (WELLNER, 1993). Este método exige que seja informado como parâmetro o número de pixels que serão agrupados para determinar a média utilizada para definir o limiar para aquela região. Foram executados testes com grupos de pixels de vários tamanhos e como se pode ver na seção de Resultados e Discussões, o grupo com cinco pixels foi o que obteve melhores resultados.

Para a técnica de multilimiarização, foram utilizados dois métodos distintos: o método de (BERNSEN, 1986) e o método de (PAPAMARKOS e GATOS, 1994).

No método de Bernsen, é possível definir o contraste da limiarização como parâmetro de execução. Esse contraste da limiarização, aceita valores entre um e duzentos e cinquenta e cinco, e foram efetuados vários testes com números neste intervalo, e como pode-se verificar na seção de Resultados e Discussões, quando esse parâmetro recebeu o valor trinta e cinco apresentou os melhores resultados.

No método proposto por Papamarkos e Gatos, é possível definir como parâmetro quantos níveis de cinza terá a imagem final.

Essas técnicas foram implementadas em linguagem C, utilizando recursos da biblioteca OpenCV para o manuseio de arquivos de imagens.

A partir deste estágio, o conjunto de seis imagens aumentou de número consideravelmente, pois cada método testado gerou novas imagens para cada um dos seis cartões testados, de acordo com os parâmetros utilizados. Entretanto, para os testes posteriores, foram selecionadas as imagens cujos parâmetros obtiveram os melhores resultados, limitando o conjunto de imagens em trinta.

Esse conjunto de trinta imagens foi submetido a uma análise utilizando-se o programa de análise de cartões hidrossensíveis CIR 1.5 (INTA, 2002), desenvolvido por uma empresa argentina e disponibilizado comercialmente.

Para esta análise, também foi utilizado o programa Conta-Gotas, proposto por (FÁVERO et Al., 2001) mas o programa não conseguiu efetuar as análises das imagens binárias, e por esse motivo não pode ser utilizado na análise comparativa.

A análise pelo programa CIR 1.5 gerou um relatório detalhado para cada uma das imagens, com várias informações, como o número de gotas, percentual de área atingida, DMV, DMN entre outras, como mostra a Figura 14.

Foi desenvolvida uma aplicação online de análise de cartões que também serviu de ferramenta para analisar os dados das imagens selecionadas, chamada de Conta Gotas Online.

Como os métodos apresentaram diferentes tempos de processamento, essa característica também foi analisada, pois o tempo de processamento é de suma importância numa aplicação online.

No último estágio da pesquisa, a análise comparativa levou em conta os resultados apresentados pelo programa Conta Gotas Online, e foram

confrontados os resultados de cada um dos métodos testados com os resultados das imagens originais.

Para uma melhor documentação da pesquisa, e também para utilizar o processo de análise visual, foi escolhida uma área em comum dos cartões para servir de exemplo em todos os métodos testados, pois com essa área maximizada, fica mais fácil detectar de forma visual a diferença dos resultados de cada método.

Figura 14 - Resultado da análise de cartão hidrossensível pelo programa CIR 1.5

Resultados de la Muestra		Resultados Normalizados	
Diámetro Mínimo	31.42	Cantidad de Impactos por cm ²	148
Diámetro Máximo	817.69	Diámetro Mediano Volumétrico (μm)	360.53
Cantidad de Impactos	376	Impactos con Diámetro < 100 μm por cm ²	42 => 0.94 % Vol
Cantidad de Clases	18	Impactos con Diámetro < 200 μm por cm ²	102 => 13.55 % Vol
Relación de Clase	1.21	Volúmen de Agua por cm ² (μm ³)	1013154797.48
Area Efectiva Muestreada	2.54 cm ²	Volúmen de Agua por cm ² (litros)	0.000001013155
DV(0.5) (μm)	360.53	Cantidad de Gotas por Litro pulverizado	146032551
DV(0.1) (μm)	184.56	Volúmen de Campo Muestra (lts/Ha)	101.32
DV(0.9) (μm)	722.03	Tasa de Aplicación Teórica (lts/Ha)	
DMN (μm)	162.49	Eficiencia (%)	!E
Amplitud Relativa	1.49	Factor de Dispersión	2.22
		Area de Cobertura (%)	21.8

Nuevo Análisis << Anterior Siguiete >>

(Fonte: Programa CIR 1.5)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

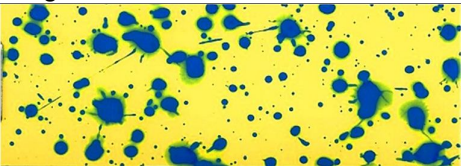
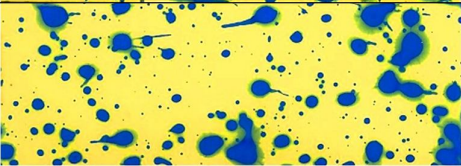
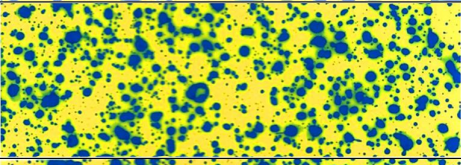
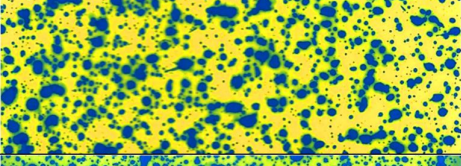
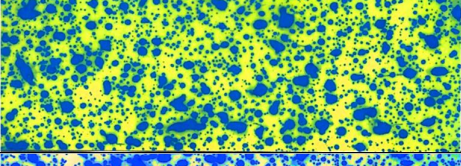
4.1 Descrição das imagens

Para este experimento foi utilizado um conjunto de trinta imagens, tendo como base seis imagens digitalizadas de cartões hidrossensíveis da biblioteca de cartões do CCA-UEL.

Essas seis imagens originais foram rotuladas de acordo com a quantidade de gotas que apresentam.

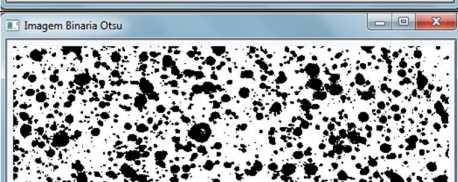
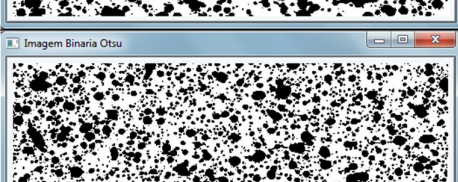
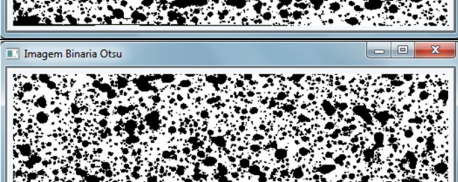
O cartão 01-original e o cartão 02-original representam as imagens originais com um número pequeno de gotas, o cartão 03-original e o cartão 04-original representam cartões com um número médio de gotas e o cartão 05-original e o cartão 06-original representam cartões com um grande número de gotas, como mostrado na Tabela 1:

Tabela 01 – Imagens digitalizadas dos seis cartões originais

Cartão 01-original	
Cartão 02-original	
Cartão 03-original	
Cartão 04-original	
Cartão 05-original	
Cartão 06-original	

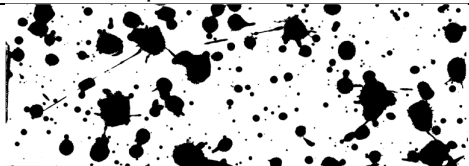
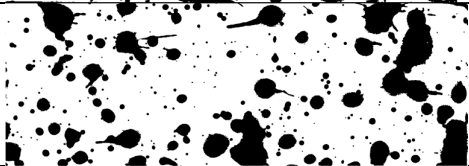
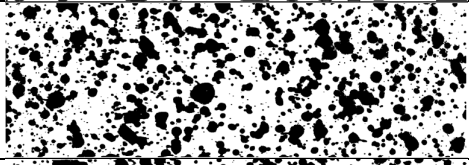
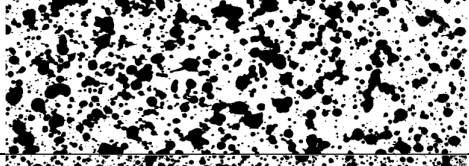
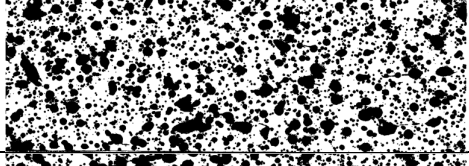
Cada uma dessas imagens originais foram submetidas a uma aplicação que reproduz o método de (OTSU, 1979) para gerar imagens binárias com a técnica de limiarização global. Essas imagens foram rotuladas conforme exibido na Tabela 2.

Tabela 02 – Imagens digitalizadas dos cartões obtidos pela técnica de Otsu

Cartão 07-Otsu	
Cartão 08-Otsu	
Cartão 09-Otsu	
Cartão 10-Otsu	
Cartão 11-Otsu	
Cartão 12-Otsu	

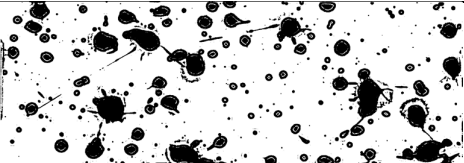
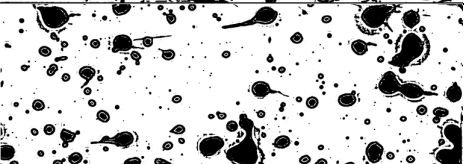
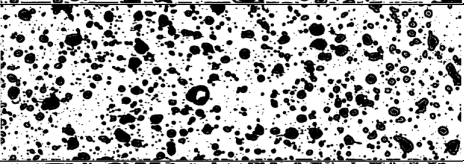
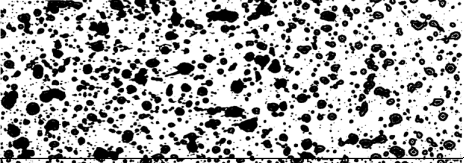
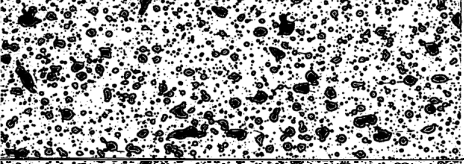
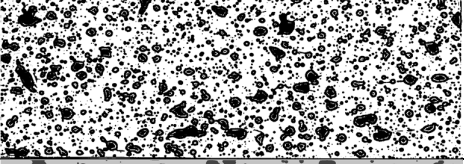
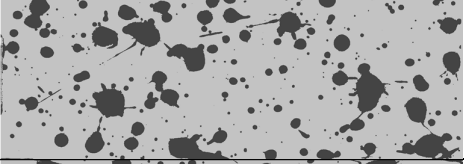
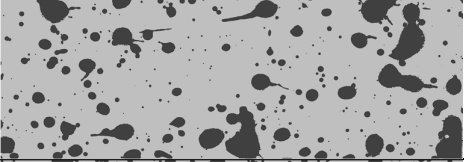
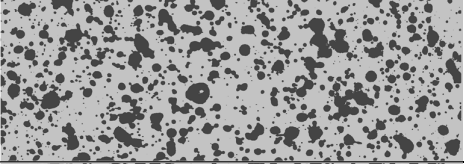
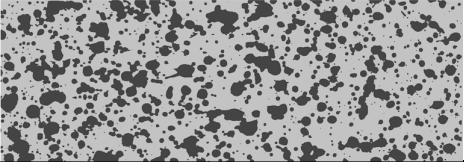
As imagens originais ainda foram submetidas a uma aplicação que reproduz o método de (WELLNER, 1991) para gerar imagens binárias com a técnica de limiarização local adaptativa. Neste processo, várias imagens foram geradas, para se analisar qual o melhor valor para o parâmetro exigido pelo algoritmo. As imagens que tiveram resultados inferiores foram descartadas e as imagens que foram aproveitadas estão apresentadas e devidamente rotuladas na Tabela 03.

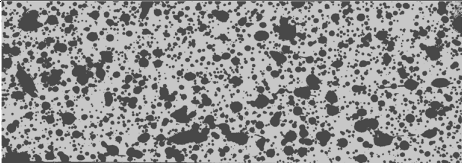
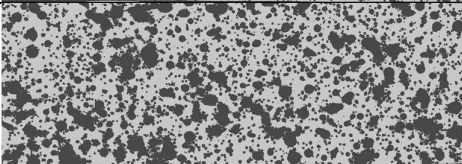
Tabela 03 – Imagens digitalizadas dos cartões obtidos pela técnica de Wellner

Cartão 13-Wellner	
Cartão 14-Wellner	
Cartão 15-Wellner	
Cartão 16-Wellner	
Cartão 17-Wellner	
Cartão 18-Wellner	

Para a técnica de multilimiarização, os cartões originais foram submetidos a dois métodos distintos. O primeiro deles foi o método proposto por (PAPAMARKOS e GATOS, 1994) e em seguida os cartões originais foram submetidos ao método proposto por (BERNSEN, 1986). Como esses métodos trabalham com parâmetros que podem assumir valores distintos, várias imagens foram geradas e comparadas entre si para ver quais apresentam os melhores resultados. Os melhores resultados estão apresentados na Tabela 04.

Tabela 04 – Imagens digitalizadas dos cartões obtidos pelas técnicas de Bernsen e Papamarkos

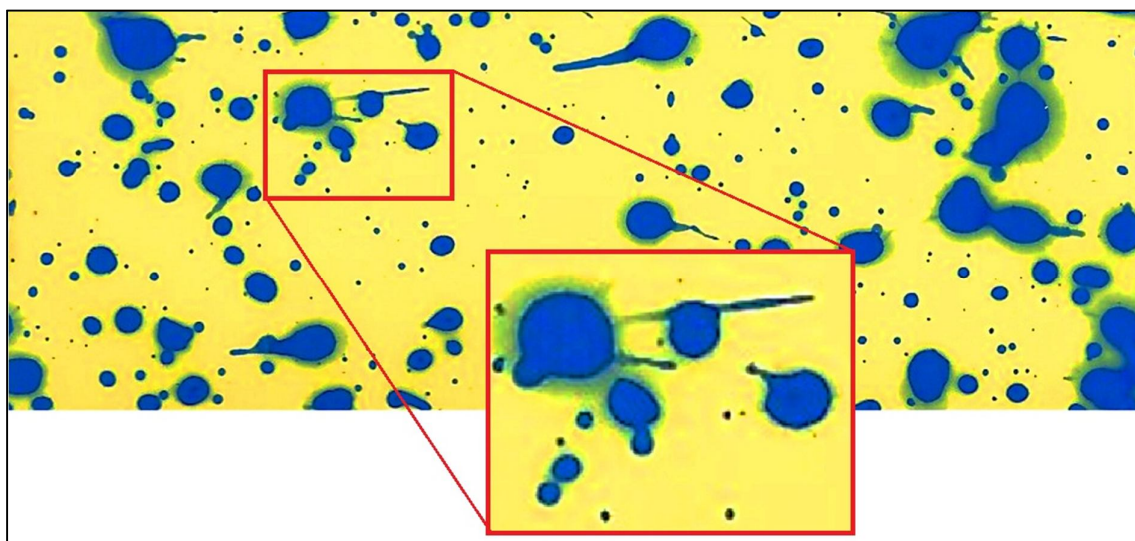
Cartão 19-Bernsen	
Cartão 20-Bernsen	
Cartão 21-Bernsen	
Cartão 22-Bernsen	
Cartão 23-Bernsen	
Cartão 24-Bernsen	
Cartão 25-Papamarkos	
Cartão 26-Papamarkos	
Cartão 27-Papamarkos	
Cartão 28-Papamarkos	

Cartão 29-Papamarkos	
Cartão 30-Papamarkos	

4.2 Segmentação das imagens

O grande desafio para as técnicas utilizadas, foi representar corretamente as gotas que possuíam um contorno desfocado. Para uma análise visual mais eficiente e melhor apresentar os resultados, optou-se por trabalhar com uma região distinta do cartão 02-original, como mostra a Figura 15. Esta área específica possui vários elementos distintos que foram analisados, como gotas médias e gotas grandes, grande área desfocada e gotas muito próximas. Para os cartões gerados com os métodos de limiarização estudados, a área correspondente também foi destacada para análise, conforme mostram os resultados a seguir.

Figura 15 – Zoom com a área que apresenta contornos desfocados



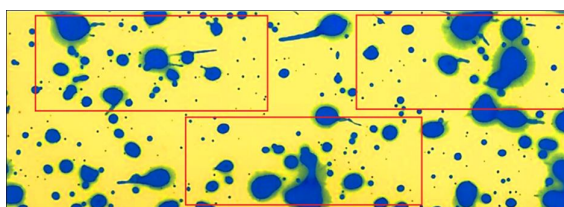
(Fonte: O Autor)

4.3 Análise dos Cartões pelo programa CIR 1.5

Para o início dos trabalhos, os seis cartões originais foram submetidos a uma análise pelo programa CIR 1.5, que posteriormente será utilizado em uma análise comparativa dos resultados com as diferentes técnicas de limiarização pesquisadas.

O programa CIR não especifica em seu manual qual a técnica de limiarização que ele utiliza. Outro detalhe importante deste programa, é que ele não faz uma análise do cartão por inteiro. A análise dos cartões pelo programa CIR é feita através de três janelas, onde o usuário escolhe quais as partes dos cartões que ele deseja a análise, como exemplificado na Figura 16. O programa CIR não tem opção de analisar o cartão como um todo.

Figura 16 - Exemplo das janelas para análise no programa CIR 1.5



(Fonte: O Autor)

Os resultados obtidos na análise dos cartões originais podem ser verificados na Tabela 05, que além da descrição (rótulo) do cartão, também tem informações a respeito do número de gotas, número de gotas por cm^2 , percentual de área pulverizada, amplitude relativa, diâmetro médio numérico e diâmetro médio volumétrico.

Tabela 05 – Resultados obtidos na análise dos cartões originais

	Número gotas	Gotas /cm2	Área pulverizada	AR	DMN	DMV
Cartão01-Original	8849	88	51%	4,480	197	882
Cartão02-Original	-	-	-	-	-	-
Cartão03-Original	6537	68	24%	3,690	166	612
Cartão04-Original	6325	64	28%	3,220	197	635
Cartão05-Original	6517	65	29%	3,520	191	672
Cartão06-Original	11450	119	71%	2,530	269	680

Como pode ser observado pelos dados tabulados, as três janelas deslizantes, onde o usuário pode escolher as áreas da imagem a serem analisadas podem influenciar no resultado final da análise dos cartões. Um exemplo claro, é que o cartão 01-Original possui um número menor de gotas que os cartões 03-Original e 04-Original, mas pela análise do programa CIR 1.5, o cartão 01-Original possui em torno de 25% a mais de gotas. No mesmo sentido, o cartão 05-Original possui um número maior de gotas em relação aos cartões 03-Original e 04-Original, chegando bem próximo ao número de gotas do cartão 06-Original. Pela análise do programa CIR 1.5, o número de gotas do cartão 05-Original está mais próximo ao número de gotas dos cartões 03-Original e 04-Original do que em relação ao cartão 06-Original.

4.4 Método de Otsu

Para se testar o método de (OTSU, 1979), que implementa a técnica de limiarização global, foi desenvolvida uma aplicação para análise de imagens digitalizadas de cartões hidrossensíveis. Os mesmos cartões originais foram submetidos a essa aplicação, que forneceu dados mais condizentes com os dados dos cartões, através de uma análise visual, como podem ser observados na tabela 06. Para efeito de análise visual dos resultados, as imagens binárias foram salvas e podem ser consultadas na Tabela 02.

Tabela 06 – Resultados obtidos na análise dos cartões gerados pelo método de Otsu no programa Conta Gotas Online

	Número gotas	Gotas /cm2	Área pulverizada	AR	DMN	DMV
Cartão07-Otsu	296	14,98	22,75%	6,53	994,93	1615
Cartão08-Otsu	311	15,74	22,93%	4,65	926,17	1615
Cartão09-Otsu	859	43,47	32,22%	3,69	909,08	1235
Cartão10-Otsu	778	39,37	35,39%	4,2	986,14	1425
Cartão11-Otsu	1521	76,97	37,69%	3,20	819	950
Cartão12-Otsu	1422	71,96	39,06%	3,22	785	855

Os dados tabulados mostram uma coerência, deixando os dados dos cartões 07-Otsu e 08-Otsu com valores bem próximos, os cartões 09-Otsu e 10-Otsu com valores próximos e o mesmo acontecendo com os cartões 11-Otsu e 12-Otsu, como era o esperado.

4.5 Método de Wellner

O método de Wellner implementa uma técnica de limiarização local adaptativa. Este método foi escolhido para análise, pois existem casos de cartões hidrossensíveis que possuem manchas em regiões distintas. Ao submeter esses cartões em programas que trabalham com limiarização global, toda a análise pode ficar comprometida, caso as manchas sejam consideradas objetos. Com a utilização deste método, a expectativa era de que as gotas em áreas manchadas pudessem ser identificadas, proporcionando uma análise mais precisa das gotas no cartão.

O problema encontrado foi que o método falhou ao representar o contorno das gotas com o contorno desfocado, como pode ser visto na Figura 17, onde a área segmentada pode ser melhor analisada.

Na imagem binária final, as gotas foram representadas com um tamanho maior, e gotas muito próximas foram representadas como um único objeto. Como o método de Wellner possibilita informar como parâmetro o número de pixels que forma o agrupamento a ser analisado, foram testados vários valores e o que apresentou os melhores resultados, foi o agrupamento de cinco pixels. A implementação escolhida para este método, foi a que alterna a cada linha.

Figura 17 - Comparativo visual com o método de Wellner



(Fonte: O Autor)

Todas as imagens geradas pelo método de Wellner, foram submetidas a uma análise pelo programa CIR 1.5, mas o programa não conseguiu abrir algumas das imagens e nas imagens que conseguiu analisar, não conseguiu

identificar os objetos e os resultados não podem ser aproveitados, como apresentados na Tabela 07.

Tabela 07 – Resultados obtidos na análise dos cartões gerados pelo método de Wellner no programa CIR 1.5

	Número gotas	Gotas /cm2	Área pulverizada	AR	DMN	DMV
Cartão13-Wellner	3	1	0%	0,36	58,19	58,83
Cartão14-Wellner	-	-	-	-	-	-
Cartão15-Wellner	-	-	-	-	-	-
Cartão16-Wellner	-	-	-	-	-	-
Cartão17-Wellner	1	0	0%	0	50,66	50,66
Cartão18-Wellner	-	-	-	-	-	-

As mesmas imagens foram submetidas ao programa Conta Gotas, mas nenhuma imagem pode ser analisada, não gerando nenhum resultado concreto.

Para não ficar apenas na análise visual, e ter dados discretos referente às imagens geradas pelo método de Wellner, foi desenvolvida uma aplicação para analisar as imagens. Essa aplicação tem funcionalidades para funcionar online, através da internet, e foi denominada Conta Gotas Online. Os resultados obtidos na análise feita pelo Conta Gotas Online são apresentados na Tabela 08.

Tabela 08 – Resultados obtidos na análise dos cartões gerados pelo método de Wellner na aplicação Conta Gotas Online

	Número gotas	Gotas /cm2	Área pulverizada	AR	DMN	DMV
Cartão13-Wellner	261	13,21	24,62%	9,33	1017,34	1710
Cartão14-Wellner	268	13,56	24,31%	5,21	1032,24	1805
Cartão15-Wellner	678	34,31	35,11%	3,5	977,18	1520
Cartão16-Wellner	642	32,49	37,23%	4,93	1008,45	1425
Cartão17-Wellner	1316	66,6	39,42%	3,2	817,68	950
Cartão18-Wellner	1299	65,74	42,26%	3,5	745,74	950

Analisando os dados obtidos na aplicação Conta Gotas Online, verifica-se que a análise conseguiu manter o padrão da análise dos cartões originais, com uma pequena variação nos valores apresentados.

4.6 Método de Bernsen

O método de Bernsen teve um desempenho bom na tarefa de identificar corretamente o contorno das gotas. A parte ruim deste método, é que ele cria novos objetos nas áreas do contorno desfocado. Outro problema encontrado nesse método, foi que o interior de algumas gotas ficou com áreas vazadas. Uma análise visual dos resultados desse método pode ser verificada na Figura 18.

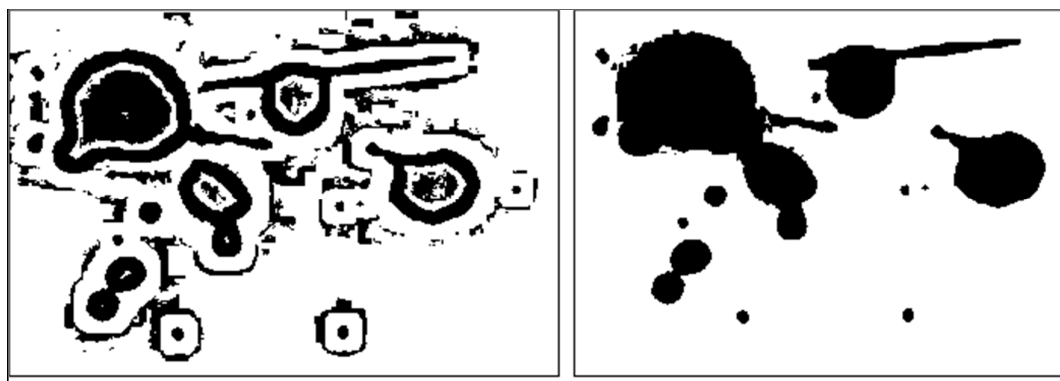
Figura 18 - Comparativo visual do método de Bernsen



(Fonte: O Autor)

No algoritmo de Bernsen é possível definir o contraste da limiarização como parâmetro de execução. Para o contraste da limiarização, é possível definir valores entre um e duzentos e cinquenta e cinco. Em nosso caso, o valor que gerou os melhores resultados foi o número 35. Quando o parâmetro foi menor que 35, as áreas brancas ficaram mais evidentes, e novas áreas foram criadas nos contornos desfocados das gotas. Ao utilizar um valor maior que 35, as áreas vazadas das gotas foram sumindo, mas em contra-partida as áreas escuras que foram criadas foram ficando maiores, perdendo a definição dos contornos das gotas, como pode ser visualizado na Figura 19.

Figura 17 - Teste do algoritmo de Bernsen com valores 10 e 150 como parâmetro



(Fonte: O Autor)

As imagens geradas com o método de Bernsen também não puderam ser analisadas pelo programa Conta Gotas, que não gerou resultados. O programa CIR 1.5 também teve dificuldades em identificar objetos nessas imagens, como pode ser observado na Tabela 9.

Tabela 09 – Resultados obtidos na análise dos cartões gerados pelo método de Bernsen no programa CIR 1.5

	Número gotas	Gotas /cm2	Área pulverizada	AR	DMN	DMV
Cartão19-Bernsen	4	1	0 %	0,32	34,06	34,51
Cartão20-Bernsen	1	0	0%	0	46,60	46,60
Cartão21-Bernsen	-	-	-	-	-	-
Cartão22-Bernsen	83	26	0,1%	0,65	44,83	54,11
Cartão23-Bernsen	116	37	0,3%	0,52	53,02	60,31
Cartão24-Bernsen	6	2	0%	0,38	34,42	42,08

Na aplicação Conta Gotas Online, as imagens geradas pelo método de Bernsen apresentaram os seguintes resultados, conforme mostra a Tabela 10.

Tabela 10 – Resultados obtidos na análise dos cartões gerados pelo método de Bernsen na aplicação Conta Gotas Online

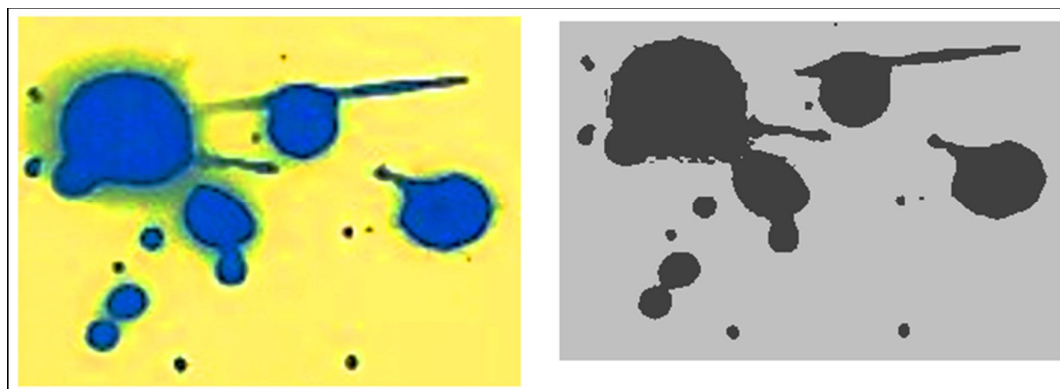
	Número gotas	Gotas /cm2	Área pulverizada	AR	DMN	DMV
Cartão19-Bernsen	682	34,51	20,1%	5,91	654,83	1045
Cartão20-Bernsen	672	34,01	20,05%	6,0	707,98	1140
Cartão21-Bernsen	1232	62,35	29,45%	2,64	749,05	1045
Cartão22-Bernsen	1131	57,24	31,83%	2,92	823,25	1140
Cartão23-Bernsen	2187	110,68	34,11%	3,38	643,89	760
Cartão24-Bernsen	2485	125,76	35,6%	2,75	651,08	760

Analizando os dados obtidos na aplicação Conta Gotas Online, verifica-se que a análise conseguiu manter o padrão da análise dos cartões originais, mas o método apresentou uma grande variação nos valores apresentados, aumentando progressivamente de acordo com o número de gotas.

4.7 Método de Papamarkos

O Método de Papamarkos não teve problemas com áreas vazadas no interior das gotas, mas não conseguiu representar corretamente as gotas com os contornos desfocados, conforme Figura 20. O parâmetro utilizado nesse método, é o número de níveis de cinza desejados na imagem final. Em nosso caso, o método apresentou os melhores resultados trabalhando com dois níveis de cinza.

Figura 20 - Comparativo visual com o método de Papamarkos



(Fonte: O Autor)

Tabela 11 – Resultados obtidos na análise dos cartões gerados pelo método de Papamarkos no programa CIR 1.5

	Número gotas	Gotas /cm2	Área pulverizada	AR	DMN	DMV
Cartão25-Papamarkos	-	-	-	-	-	-
Cartão26-Papamarkos	1	0	0%	0	66,35	66,35
Cartão27-Papamarkos	-	-	-	-	-	-
Cartão28-Papamarkos	-	-	-	-	-	-
Cartão29-Papamarkos	1	0	0%	0	60,81	60,81
Cartão30-Papamarkos	8	3	0%	0,17	42,09	42,20

A Tabela 11 mostra os dados obtidos pela análise do programa CIR 1.5. Na aplicação Conta Gotas Online, as imagens geradas pelo método de Papamarkos apresentaram os resultados conforme mostra a Tabela 12.

Tabela 12 – Resultados obtidos na análise dos cartões gerados pelo método de Papamarkos na aplicação Conta Gotas Online

	Número gotas	Gotas /cm2	Área pulverizada	AR	DMN	DMV
Cartão25-Papamarkos	276	13,97	21,08%	4,59	1079,08	1615
Cartão26-Papamarkos	272	13,77	20,09%	4,06	1024,39	1710
Cartão27-Papamarkos	719	36,39	31,2%	3,47	964,01	1425
Cartão28-Papamarkos	657	33,25	34,01%	4,13	1036,61	1425
Cartão29-Papamarkos	1336	67,61	38,71%	3,36	841,13	1045
Cartão30-Papamarkos	1273	64,42	44,29%	3,5	727,24	950

Analisando os dados obtidos na aplicação Conta Gotas Online, verifica-se que a análise conseguiu manter o padrão da análise dos cartões originais, com uma variação negativa nos valores apresentados. Como o método tende a juntar gotas muito próximas, o número final de gotas apresentado foi menor.

4.9 Análise Comparativa

Para uma análise comparativa os dados do programa CIR 1.5 foram descartados, sendo analisados apenas os dados obtidos pela análise das imagens digitalizadas no programa Conta Gotas Online. A Tabela 13 foi montada utilizando-se o número de gotas como dado a ser comparado.

Tabela 13 – Comparativo entre os métodos mostrando o número de gotas

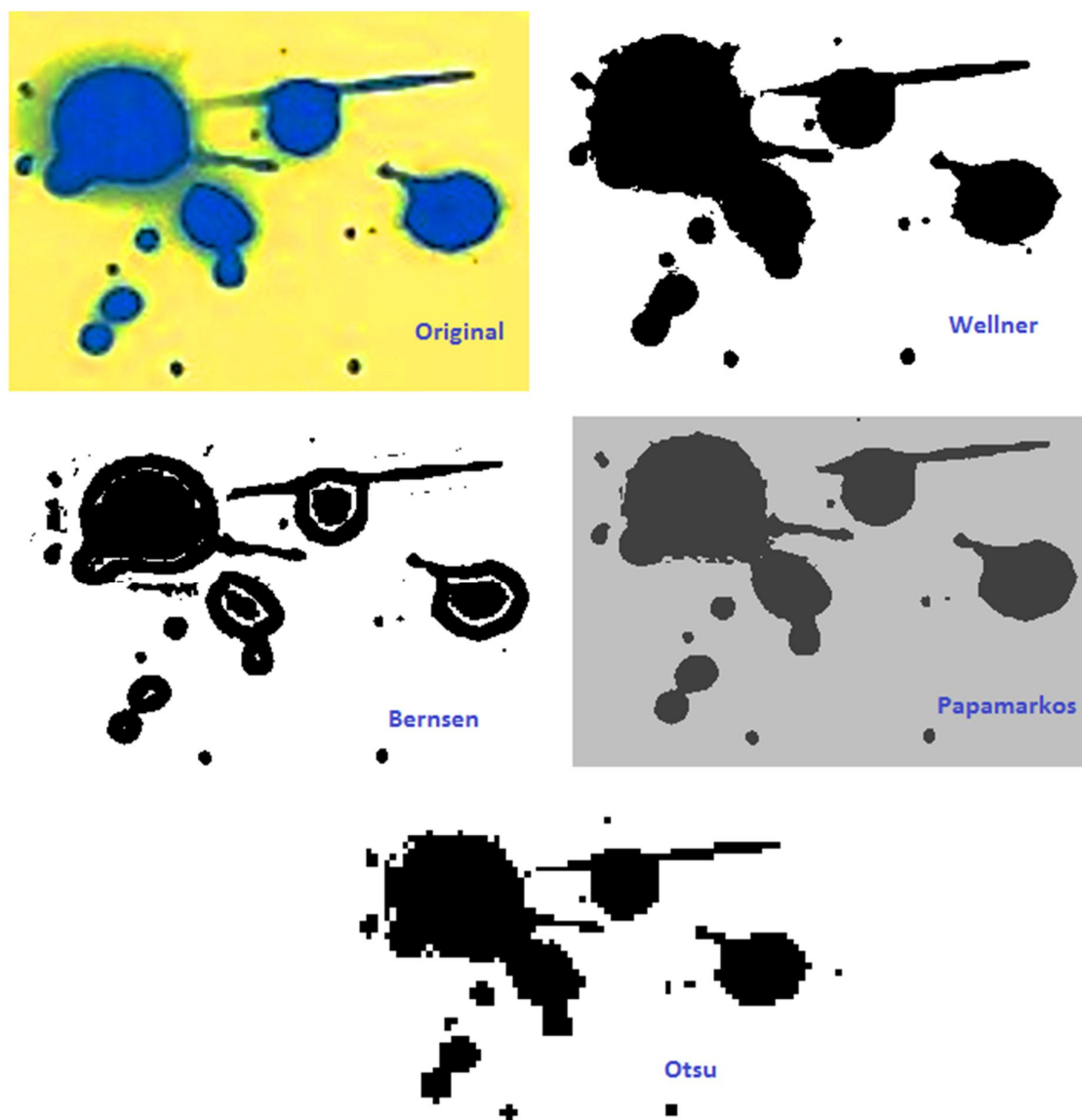
	Otsu	Wellner	Bernsen	Papamarkos
Cartão 01	296	261	682	276
Cartão 02	311	268	672	272
Cartão 03	859	678	1232	719
Cartão 04	778	642	1131	657
Cartão 05	1521	1316	2187	1336
Cartão 06	1422	1299	2485	1273

O método de Bernsen foi o que apresentou os números mais distantes do esperado, pois como o método gera novos objetos ao redor do contorno das gotas, esses objetos são confundidos com gotas, e número final de impactos fica com um valor muito alto.

Os métodos de Wellner e Papamarkos tiveram a mesma dificuldade na formação das imagens binárias, representando um grupo de gotas muito próximas como um objeto único. Com isso, os métodos apresentaram valores abaixo do esperado.

Para uma análise visual, pode-se comparar os resultados obtidos na Figura 21.

Figura 18 - Comparativo visual entre as técnicas estudadas



(Fonte: O Autor)

4.10 Análise do tempo de processamento

Outro fator analisado, foi o tempo que as implementações dos quatro algoritmos levam para realizar as transformações. Para a análise do cartão 03-Original, que apresenta uma dificuldade mediana, o algoritmo de Wellner utilizando como parâmetro para o número de pixels agrupados para a média o número cinco levou apenas dois segundos para apresentar o resultado. O algoritmo de Bernsen levou trinta e quatro segundos, utilizando como parâmetro para o contraste de limiarização o valor trinta e cinco. O algoritmo de Papamarkos, definindo o limite de 2 níveis como parâmetro, levou um segundo de processamento, mesmo tempo que levou o algoritmo que implementa a técnica de Otsu. Com esses resultados, o algoritmo de Bernsen fica praticamente inviável de se implementar em um sistema online de análise de cartões, pois ocuparia o servidor com muita carga computacional por muito tempo.

Como visto anteriormente, o método de Bernsen foi o que reproduziu os contornos das gotas de maneira mais fiel, mas apresentou novos objetos, que numa análise podem ser confundidos com gotas. Poderia ser aplicado algum filtro no resultado final, como técnicas de erosão e dilatação, mas correria o risco de perder algumas gotas pequenas, o que prejudicaria a análise do cartão. Essas técnicas não foram testadas, devido ao alto custo computacional para a execução do algoritmo, pois independentemente dos resultados obtidos, o algoritmo se mostrou inviável para uma implementação em um sistema online de análise de cartões hidrossensíveis. Os métodos de Papamarkos e Wellner se mostraram eficientes no tempo de processamento, mas as gotas não tiveram um contorno fiel ao original, e gotas próximas acabaram sendo representadas como um único objeto.

5 CONCLUSÕES

Dentre os métodos de limiarização testados, o método de limiarização global mostrou-se mais eficiente para ser utilizado em programas de análise de cartões hidrossensíveis. A técnica de limiarização local adaptativa tem grande potencial principalmente nos casos em que os cartões hidrossensíveis apresentam manchas em locais distintos, mas o método testado não apresentou bons resultados, inviabilizando sua utilização. Os métodos de multilimiarização testados também não se mostraram adequados para aplicações de análise de cartões hidrossensíveis.

Para trabalhos futuros, pode-se aplicar outras técnicas de limiarização local adaptativa, pois em casos muito específicos, como em que o fundo do papel hidrossensível apresenta muitas manchas, a técnica de limiarização global não se mostrou muito eficiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTSSON, J., BJORKHOLM, A.M., MICKELAKER, J., SVENSSON, S.A., 2010. **Physically acting pesticides – application technology in berry production.** Aspects of Applied Biology, International Advances in Pesticide Application, 1999, p. 401–407.

ALVES, G. T. M. **Um estudo das técnicas de obtenção de forma a partir de estéreo e luz estruturada para engenharia.** Dissertação (mestrado). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC - Rio. Rio de Janeiro, 2005.

BERNSEN, J., **Dynamic Thresholding of gray-level images**, Proc. Eighth Int'l Conf. on Pattern Recognition, Paris, France, Outubro 1986, p. 1251-1255.

BONILLA, J.A. **Qualidade total na agricultura: fundamentos e aplicações.** 2.ed. Belo Horizonte: Centro de Estudos de Qualidade Total na Agricultura, 1994. p. 344.

CHRISTOFOLETTI, J.C. **Considerações sobre a deriva nas pulverizações agrícolas e seu controle.** São Paulo: Teejet, 1999. p.15.

CHRISTOFOLETTI, J.C. **Manual Shell de Máquinas e Técnicas de Aplicação de Defensivos Agrícolas**, 1992. p.122.

CUNHA, J.P.A.R.; RUAS, R.A.A. **Uniformidade de distribuição volumétrica de pontas de pulverização de jato plano duplo com indução de ar.** Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, 2006, vol. 36, n. 1, p. 61-66.

DEGRÉ, A., MOSTADE, B., HUYGHEBAERT, S., TISSOT, S., DEBOUCHE, C. **Comparison by Image Processing of Target Supports of Spray Droplets**, ASAE 2001, vol. 44, n. 2, p. 217-222.

FAVERO, A.L.F., GARCIA, L.C., JUSTINO, A., CANTERI, M.G., ROCHA, J.C.F. **Software para análise de cartões hidrossensíveis**. Revista Brasileira de Agrocomputação. Ponta Grossa, 2001, vol. 1, n. 1, p. 45 (Resumo).

FOX, R.D, SALYANI, M., COOPER, J.A., BRAZEE, R.D. **Spot Size Comparisons on Oil- and Water-Sensitive Paper**, ASAE 2001, vol. 17, n. 2, p. 131-136.

FRANZ, E., **Spray coverage analysis using a hand-held scanner**. Trans. ASAE 36, 1993, vol. 5, n. 1, p. 1271–1278.

FRITZ, B.K., PARKER, J.D., LÓPEZ JR, J.D., HOFFMAN, W.C., SCHLEIDER, P. **Deposition and Droplet Sizing Characterization of a Laboratory Spray Table**, ASABE, 2009, vol. 25, n. 1, p.175-180.

GRAHAM-BRYCE, I.J. Crop-protection: a consideration of effectiveness and disadvantages of current methods and scops for improvement. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B**, Londres, 1977, vol. 281, n. 1, p.163-179.

HOFFMANN, W.C., HEWITT, A.J., **Comparison of three imaging systems for watersensitive papers**. Appl. Eng. Agric. 21, 2005, vol. 6, n. 1, p. 961–964.

INTA. **T&C CIR: conteo y tipificación de impactos de pulverización**. Versão 1.5. Buenos Aires: INTA, 2002.

LEFEBVRE, A.H. **Atomization and sprays**. New York:Hemisphere Publishing Corporation, 1989. p. 421.

LIMA, J. P. M.; et al. **Reconhecimento de padrões de tempo real usando a biblioteca OpenCV**. Minicurso V WRVA. Bauru, 2008.

MARENGONI, M., STRINGHINI, D., **Introdução a Visão Computacional usando OpenCV**, Dissertação (mestrado), Universidade Prebisteriana Mackenzie, 2009.

MASCARENHAS, N.D.A., VELASCO, F.D.R., **Processamento Digital de Imagens**, 2ª Ed., IV Escola Brasileiro-Argentina de Informática, Termas de Rio Hondo, Argentina, 1989.

MATUO, T. **Técnicas de Aplicação de Defensivos Agrícolas**, Editora Funep, Jaboticabal, 1990, p.139.

MATTHEWS, G.A. **Pesticide application methods**. Malden:Blackwell, 2000, p. 432,

MENEGHETTI, R. C. **Tecnologia de aplicação de fungicidas na cultura do trigo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

MORAND, T., **Repartir: une method pour l'interprétation d'images robotiques in vision 2D**. Université de Technologie de Compeègne, França, 1987.

MURPHY, S.D., MORTIMER, V., LYDON, M. **Droplet Sizing and Imaging of Agricultural Sprays Using Particle/Droplet Image Analysis Poster Article**, Oxford Lasers Ltd. Disponível em http://pep.wsu.edu/drift04/pdf/proceedings/pg324-329_Poster7.pdf. Acesso em 17 de outubro de 2012.

OTSU, N., **A threshold selection method from gray-level histograms**. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, SMC, Abril 1979, vol. 9, n. 1, p. 62-66.

PAPAMARKOS N. and GATOS B., **A New Approach for multilevel Threshold Selection**, CVGIP 94 Graphical Models And Image Processing, Setembro 1994, vol. 56, n. 5, p.357-370.

PEREIRA, D. S. A.; et al. **Identificação de faces em imagens bidimensionais**. Revista TECCEN - Edição Especial, Março 2009, v. 2, n. 1.

PRAAT J.P., MANKTELOW D., SUCKLING D.M., MABER J. **Can application technology help to manage pesticide resistance?** NZPPS paper, Canadian Application Technology, 1996.

RAMOS, H. H. **Tecnologia de aplicação de agrotóxicos.** Fitopatologia brasileira. Fortaleza, 2000, vol. 25 (suplemento), n. 217-474, p. 275.

RAMOS, H. H; ARAÚJO, D., LIMA, J. D.C.V, BETTINI, P., YANAI, K., GADANHA JUNIOR, C., MINATEL, E. **Acurácia de um Programa de Computador na Determinação de Parâmetros de Pulverização sobre Papéis Hidrossensíveis.** In: III Sntag – Simpósio Internacional de Tecnolgia de Aplicação de Agrotóxicos, 2004, Botucatu. Anais CD Rom, 2004.

SALYANI, M., FOX, R.D., **Performance of image analysis for assessment of simulated spray droplet distribution.** Trans. ASAE 37, 1994, vol. 4, n. 1, p. 1083–1089.

SALYANI, M., FOX, R.D., **Evaluation of spray quality by oil and water-sensitive papers.** Trans. ASAE 42, 1999, vol. 1, n. 1, p. 37–43.

SCHICK, R.J. **An engineer's practical guide drop size.** Wheaton: Spraying Systems, 1997, p. 28.

SILBERGELD, E. Environmental concerns of the risk management of application technology. In: HALL, F.R. **Improving agrochemical and fertilizer application technology.** Bethesda: ARI, 1985, p. 63-69.

SYNGENTA. **Water Sensitive Paper Instructions Manual.** 2007.

TURNER, C.R.; HUNTINGTON, K.A. The use of water sensitive dye for the detection and assessment of small spray droplets. **Journal of Agricultural Engineering Research.** 1970, vol. 15, n. 4, p. 385-387.

WELLNER P.D., **Adaptive Thresholding for the DigitalDesk**, Technical Report EPC, 1993, vol. 110, n. 1, p. 17.

WOLF, R. E., **Assessing the ability of DropletScan to analyze spray droplets from a ground operated sprayer**. Appl. Eng. Agric., 2003, vol. 19, n. 5, p. 525–530.

GLOSSÁRIO

Bromofenol	Líquido que se obtém do fenol comum pela substituição de um átomo de hidrogênio por um átomo de bromo.
CMYK	Abreviatura do sistema de cores formado por Ciano (<i>Cyan</i>), Magenta (<i>Magenta</i>), Amarelo (<i>Yellow</i>) e Preto (" <i>K</i> " <i>ey</i> - do inglês=chave, pois é a base).
Digitalização	Converter dados analógicos em informação digital (dados numéricos).
Distribuição de Gauss	É uma das mais importantes distribuições da estatística, conhecida também como Distribuição Normal ou Gaussiana.
Doppler	Sistema de medição do tamanho de gotas que utiliza cruzamento de raios laser de baixa potência.
Gabarito	Modelo que serve para traçar, verificar ou controlar o perfil ou as dimensões que devem ter certos objetos.
Hectare	Um hectare é uma unidade de medida equivalente a 100 metros quadrados.
HSI	Abreviatura para o sistema de cores formadas pelas componentes matiz (<i>hue</i>), saturação (<i>saturation</i>) e intensidade (<i>intensity</i>).
pH	Símbolo para a grandeza físico-química potencial, que indica a acidez, neutralidade ou alcalinidade de uma solução aquosa.
Placas de Petri	Uma placa de Petri, ou caixa de Petri é um recipiente cilíndrico, achatado, de vidro, metal ou plástico que os biólogos utilizam para a cultura de micróbios.
RGB	Abreviatura do sistema de cores aditivas formado por Vermelho (<i>Red</i>), Verde (<i>Green</i>) e Azul (<i>Blue</i>). O propósito principal do sistema RGB é a reprodução de cores em dispositivos eletrônicos como monitores de TV e computador.
Termonebulização	Técnica de aspersão espacial de um composto químico.