



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE DO PARANÁ
CAMPUS LUIZ MENEGHEL

HENRIQUE DE MELLO CARDOSO

**COMPARAÇÃO DE ALGORITMOS DE
LIMIARIZAÇÃO DE IMAGENS APLICADO À
MEDIÇÃO DO DOSSEL DA CULTURA DA SOJA**

Bandeirantes
2015

Henrique de Mello Cardoso

**COMPARAÇÃO DE ALGORITMOS DE
LIMIARIZAÇÃO DE IMAGENS APLICADO À
MEDIÇÃO DO DOSSEL DA CULTURA DA SOJA**

Trabalho de Projeto Final I submetido ao Campus Luiz Meneghel da Universidade Estadual do Norte do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Sistemas de Informação.

Orientador: Prof. Me. Estevan Braz Bandt Costa

Bandeirantes

2015

HENRIQUE DE MELLO CARDOSO

**Comparação de algoritmos de Limiarização de
imagens aplicado à medição do dossel da cultura da
soja**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Universidade Estadual do Norte do Paraná,
como requisito parcial para obtenção do grau
de Bacharel em Sistemas de Informação.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Me. Estevan Braz Bandt Costa
UENP – *Campus* Luiz Meneghel

Profa. Me. Vanessa Faria de Souza
UENP – *Campus* Luiz Meneghel

Prof. Me. Thiago Adriano Coleti
UENP – *Campus* Luiz Meneghel

Bandeirantes, __ de _____ de 2015

RESUMO

O avanço da tecnologia e dos recursos computacionais trouxeram muitas vantagens e facilidades para a área de agronomia, porém algumas sub-áreas, como por exemplo, a medição da área foliar, ainda precisam dessa melhoria e praticidade ocasionada por estes avanços. Por isso esse trabalho tem como objetivo desenvolver um software que procura eliminar a subjetividade da medição da abertura do dossel, feita manualmente na maioria dos casos. O dossel refere-se a um valor que indica a abertura da folhagem da cultura. Para realizar o cálculo da porcentagem do dossel, primeiramente é necessário utilizar algoritmos de limiarização das imagens para que estas se tornem binárias (preta e branca), para que assim o sistema desenvolvido calcule os pixels e retorne o resultado esperado. Para alcançar o objetivo, foi proposto um método onde as imagens foram obtidas por meio da descompactação de vídeos da cultura de soja e salvas em pastas, então estas foram carregadas na aplicação desenvolvida para que a medição fosse realizada e os resultados salvos em uma planilha. Analisando estes dados chegou-se ao resultado que o algoritmo de Otsu é o melhor para o estudo realizado.

Palavras-chave: Dossel; Limiarização; Melhoria; Subjetividade.

ABSTRACT

The advancement of technology and computing resources brought many advantages and facilities for agronomy area, but some sub-areas, such as the measurement of leaf area, still need that improvement and practicality caused by these advances. Therefore this study aims to develop software that tries to eliminate the subjectivity of measuring the opening of the canopy, done manually in most cases. The canopy refers to a value that indicates the opening of the crop foliage. To perform the calculation of the percentage of canopy, you must first use thresholding algorithms of the images so that they become binary (black and white), so that the system developed to calculate the pixels and return the expected result. To achieve the goal, a method has been proposed where the images were obtained through decompression soybean crop of videos and saved to folders, then these were loaded on application developed for the measurement to be carried out and the results saved in a spreadsheet. Analyzing these data came to the result that the Otsu algorithm is best for the study.

Keywords: Canopy; Improvement; Subjectivity, Thresholding.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Diferença de avaliações realizadas com e sem uso da escala diagramática.....	13
Tabela 2 - Resultados obtidos.....	36

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Cálculo para atingir a porcentagem de área clara.....	30
Equação 2 - Cálculo para atingir a porcentagem de área escura	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Metodologia usada para criação do trabalho.....	24
Figura 2 – Arquitetura do Sistema.....	26
Figura 3 - Imagem da plantação de soja sem nenhuma alteração	29
Figura 4 - Tela inicial do sistema	31
Figura 5 - Tela de escolha da pasta de imagens que será analisada	31
Figura 6 - Tela após resultado obtido	32
Figura 7 - Imagem da cultura de soja em Níveis de Cinza.....	32
Figura 8 - Imagem da cultura de soja limiarizada por Johansen	33
Figura 9 - Imagem da cultura de soja limiarizada por Otsu	33
Figura 10 - Imagem da cultura de soja limiarizada por Li-Lee	34
Figura 11 - Imagem Ground Truth da cultura de soja	35
Figura 12 - Porcentagem de imagens mais próximas do valor desejado.....	37
Figura 13 - Porcentagem de imagens mais próximas do valor desejado.....	38
Figura 14 - Desvio Médio dos Algoritmos.....	38
Figura 15 - Gráfico comparativo entre Johansen e Imagens Ground Truth	39
Figura 16 - Gráfico comparativo entre Otsu e Imagens Ground Truth	39
Figura 17 - Gráfico comparativo entre Li-Lee e Imagens Ground Truth.....	40

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	10
1.1.	FORMULAÇÃO E ESCOPO DO PROBLEMA	12
1.2.	JUSTIFICATIVA	13
1.3.	OBJETIVOS	14
1.3.1	Objetivo Geral	14
1.3.2	Objetivos Específicos	14
1.4.	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	15
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1.	PROCESSAMENTO DE IMAGEM	17
2.2.	CONVERSÃO PARA NÍVEIS DE CINZA	18
2.3.	LIMARIZAÇÃO DAS IMAGENS	19
2.3.1	Limiarização por Algoritmo de Johannsen.....	19
2.3.2	Limiarização por Algoritmo de Otsu.....	19
2.3.3	Limiarização por Entropia de Li-Lee	21
2.4.	AVALIAÇÃO	21
2.5.	MODELO MVC.....	22
3.	METODOLOGIA	23
3.1.	ETAPAS METODOLÓGICAS.....	23
3.1.1	Escolha do Tema	24
3.1.2	Revisão Bibliográfica	25
3.1.3	Coleta dos Dados	25
3.1.4	Análise dos Dados	27
4.	ELABORAÇÃO DA ANÁLISE COMPARATIVA DOS ALGORITMOS.....	28
4.1.	AQUISIÇÃO DAS IMAGENS	28
4.2.	DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA.....	29
4.3.	EDIÇÃO DAS IMAGENS GROUND TRUTH	34
4.4.	VALIDAÇÃO	35
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
6.	CONCLUSÃO	41
7.	REFERÊNCIAS.....	43

1. INTRODUÇÃO

A Computação Gráfica é a área da Ciência da Computação que estuda a geração, manipulação e análise de imagens, por meio do computador. (Manssour, 2006).

Segundo a ISO ("International Standards Organization") a Computação Gráfica pode ser definida como o conjunto de métodos e técnicas utilizados para converter dados para um dispositivo gráfico, via computador.

Se tomarmos como base a definição da ISO, duas áreas tem uma estreita relação com a Computação Gráfica, são elas:

a) **Processamento de Imagens:** envolve técnicas de transformação de imagens. As transformações visam, em geral, melhorar características visuais da imagem como por exemplo aumentar o contraste, melhorar o foco ou ainda reduzir o ruído e eventuais distorções.

b) **Reconhecimento de Padrões:** também conhecida como análise de imagens, busca isolar e identificar os componentes de uma imagem a partir de sua representação visual.

No decorrer deste trabalho, de acordo com a definição da ISO, foi utilizado a área de Processamento de Imagens, por meio de algoritmos de limiarização, com o objetivo de medir a abertura do dossel. Como define Pereira (2009), "um algoritmo é uma sequência lógica, finita e definida de instruções que devem ser seguidas para resolver um problema ou executar uma tarefa". Os algoritmos empregados foram: Johansen, Otsu e Li-Lee.

Desta forma, este trabalho interliga três elementos, que são: primeiro aquisição de imagens, segundo limiarização das mesmas, terceiro medir a abertura do dossel a partir das imagens limiarizadas por meio da contagem de pixels pretos e brancos. Com respeito a estes elementos, pode-se definir imagem como, a representação de uma pessoa ou coisa, esta pode ser obtida, por meio de olhar humano, foto ou vídeo.

Quanto ao processo de limiarização consiste em separar as regiões de uma imagem quando ela apresenta duas classes (fundo e o objeto). Devido ao fato da limiarização resultar em uma imagem binária, tal processo é denominado muitas vezes binarização (Filho, 1999).

Por fim, o dossel é toda a estrutura superior (truncos, galhos, folhagem e cipós) de uma planta (Corbara, 2005). O dossel é a área formada pelos galhos e folhagem da cultura da soja, e busca-se medir a abertura deste. O índice de área foliar é a relação funcional existente entre o dossel e a área do terreno ocupada pela cultura (Watson, 1947).

De acordo com Watson (1947), pode-se deduzir que a abertura do dossel e área foliar são medidas inversamente proporcionais, pois quanto maior a abertura da estrutura superior da cultura, menor sua área foliar. A importância da área foliar para uma cultura é conhecida por ser um parâmetro indicativo de produtividade, pois o processo fotossintético depende da interceptação da energia luminosa e a sua conversão em energia química (Favarin, 2002).

Ainda seguindo o pensamento de Favarin (2002), a superfície foliar de uma planta é a base do rendimento potencial da cultura. Além disso, o conhecimento da área foliar da planta permite a estimativa da perda de água, uma vez que as folhas são os principais órgãos que participam no processo transpiratório, responsável pela troca gasosa com o ambiente.

Ao coletar dados a respeito da superfície foliar é possível elaborar planos para obter melhores resultados na produção, além de possibilitar e facilitar futuros estudos com acompanhamento mais simples. Desta forma, se torna imperativos métodos, técnicas e/ou mecanismos que colaborem com este processo.

Diante deste contexto, e ao analisar a importância relativa a medição da abertura do dossel, este trabalho propõe realizar um estudo comparativo entre os algoritmos citados, para verificar qual melhor soluciona a questão abordada, que se caracteriza como, o processo de limiarizar as imagens para realizar tal medição.

1.1. FORMULAÇÃO E ESCOPO DO PROBLEMA

Atualmente a abertura do dossel pode ser medida de duas maneiras: de forma visual, o que faz com que a análise seja subjetiva, ou por meio de análises de cada terço da planta com equipamentos de laboratório, como o LAI, por exemplo, que possui custo alto.

No processo de análise visual, de acordo com Hirano (2010), os avaliadores tendem a superestimar desfolhas altas e subestimar pequenos níveis de desfolha. Para tentar acabar com isso foi criada uma escala diagramática que apresenta imagens com 6 níveis de desfolha para servir de base para os avaliadores, são estes níveis: 5%, 15%, 45%, 65%, 85% e 100%.

O autor deu o nome à esses 6 níveis de desfolha, de escala diagramática, assim caso alguma pessoa olhe para a cultura e estime que ela possua 60% de desfolha, será registrada como o valor mais próximo da escala diagramática, a Tabela 1, mostra resultados de medições de forma visual com e sem o uso da escala diagramática.

Os principais problemas encontrados nas formas de análises realizadas são:

1. Subjetividade - A análise visual permite que cada avaliador forneça um número diferente para uma mesma amostra, além de diferentes formas de avaliar que cada um pode tomar.
2. O grande intervalo de uma amostra para outra – Pois mesmo que siga a escala diagramática, existe um range de 30% da abertura do dossel não citada, como no caso do intervalo entre 15% e 45%.
3. Custo da análise em laboratório – O aparelho para realizar a medição em laboratório possui custo alto.

Tabela 1 – Diferença de avaliações realizadas com e sem uso da escala diagramática

Avaliadores	Sem escala			Com escala		
	A(i)	B(ii)	R ²	A	B	R ²
1	-20,788*	1,242*	0,865	-8,846ns	1,173*	0,764
2	-6,183*	1,161*	0,533	-7,005ns	1,030ns	0,823
3	-20,447*	1,283*	0,816	-17,402*	1,281*	0,848
4	-11,567*	1,264*	0,861	-9,863ns	1,128ns	0,727
5	-9,463*	1,065ns	0,788	13,780*	0,854ns	0,624
6	3,123ns	1,034ns	0,852	7,256ns	0,964ns	0,790
7	-27,900*	1,372*	0,842	-2,543ns	1,150ns	0,778
8	-25,089*	1,350*	0,767	0,078ns	1,092ns	0,662
9	11,660*	0,960ns	0,807	6,572ns	1,001ns	0,791
10	-17,475*	1,304*	0,767	-10,876*	1,159*	0,870
Média	-13,498*	1,226*	0,777	-2,885ns	1,104*	0,746

(i) * indica que o valor do coeficiente linear (a) foi diferente de zero pelo teste t ($p=0,05$), ns indica que não houve diferença estatística significativa entre a e zero pelo teste t ($p=0,05$);

(ii) * indica que o valor do coeficiente angular da reta (b) foi diferente de um pelo teste t ($p=0,05$), ns indica que não houve diferença estatística significativa entre b e um pelo teste t ($p=0,05$);

De acordo com os problemas identificados, pode notar-se a relevância de uma aplicação que amenize tais desafios. Assim a questão norteadora deste trabalho é: Verificar e propor o melhor algoritmo para a limiarização das imagens, que são analisadas pela aplicação desenvolvida. Com o intuito de medir a porcentagem da área coberta pela plantação.

1.2. JUSTIFICATIVA

Devido a importância de se medir o dossel de forma simples, rápida, barata e mais exata possível, busca-se desenvolver um software que utilize algoritmos de limiarização de imagens que possa analisar essas imagens de uma única maneira e forneça resultados em todo o intervalo (0%-100%) e que simplifique o processo de medição, superando assim os principais problemas apresentados.

Alguns fatores como: Formatos diferentes de imagens, luminosidade, trepidação, sombras, podem fazer com que a reprodução de uma imagem não seja 100% fiel à realidade, ou o mais próximo disso.

O aparelho LAI (aparelho utilizado para medição do dossel), também realiza esta tarefa utilizando processamento de imagem, porém ele tira somente uma foto da região analisada, assim é mais suscetível aos fatores que prejudicam as imagens.

Para buscar minimizar o impacto desses fatores nas imagens, a obtenção destas neste trabalho, é realizada por meio de vídeos, que serão descompactados quadro a quadro, assim podendo realizar uma média do resultado de todas, em que algumas podem não ter sofrido impactos, ou então sofrido menores alterações quanto aos fatores apresentados.

Assim este trabalho diferencia-se dos métodos atuais, justificando seu desenvolvimento, pela melhoria proposta em uma aplicação dos algoritmos Johansen, Otsu e Li-Lee, elaborando uma forma eficiente e objetiva de medir a porcentagem do dossel.

1.3. OBJETIVOS

Nesta seção são descritos o objetivo geral e os objetivos específicos do trabalho.

1.3.1 Objetivo Geral

Comparar os algoritmos de Johansen, Otsu e Li-Lee, e verificar qual se aproxima mais do valor desejado quanto a porcentagem de cobertura da cultura analisada.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, é necessário atingir os seguintes objetivos específicos.

- Desenvolver um software que aplique um algoritmo de binarização das imagens (deixar a imagem com somente duas cores), para que estas sejam analisadas e assim se torne possível fornecer o resultado do dossel em forma de porcentagem;
- Selecionar o melhor algoritmo de limiarização de imagens para o caso de estudo e obter um resultado otimizado;
- Estabelecer uma forma de calcular a porcentagem de área clara (céu) e área escura (folhagem), desta forma salvar esses dados para uma posterior consulta do usuário;
- Aplicar um questionário a especialistas e comparar com os resultados obtidos por meio do método proposto com as mesmas imagens.

1.4. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Durante a seção 1 é descrito toda a base e porque está sendo realizado este estudo, esta seção está dividida em 4 subseções: 1.1 escopo e formulação do problema, onde se explica quais os problemas levantados buscou-se solucionar; 1.2 justificativa, se trata da necessidade da realização deste; a subseção 1.3 Traz os objetivos e se divide em outras duas subseções, as quais explicam os objetivos gerais e específicos deste trabalho, respectivamente; e a seção 1.4 organização do trabalho, que explica o que cada seção tem e o que descrevem.

Na seção 2, encontra-se o embasamento teórico desta pesquisa, está subdividida em 5 subseções: Processamento de imagens, comenta sobre área da tecnologia da informação, Conversão em níveis de cinza, explica qual a importância deste passo para alcançar o objetivo; Limiarização das imagens, comenta sobre a teoria dos algoritmos que foram utilizados no trabalho para limiarizar as imagens; Avaliação, explica como foi avaliado os dados obtidos com a aplicação gerada para apoio à este estudo; Modelo MVC, descreve sobre o objetivo dessa arquitetura e o porque de sua utilização, respectivamente.

A seção 3 explica como surgiu e como foi realizado o trabalho de conclusão de curso. Questões referentes aos procedimentos realizados para se atingir o objetivo estão descritas na seção 4.

Os resultados e discussões obtidos nesse estudo, estão dispostos na seção 5, e a conclusão desse trabalho, esta presente na seção 6.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. PROCESSAMENTO DE IMAGEM

Um processo onde sua entrada e saída sejam imagens cujo objetivo é melhorar o aspecto visual destas para serem analisadas, seja por analistas humanos ou computacionalmente, assim se define Processamento Digital de Imagens (PDI). (Filho, 1999)

Segundo CEPSRM (2014):

"A função primordial do processamento digital de imagens de sensoriamento remoto é a de fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração da informação contidas nas imagens, para posterior interpretação. Nesse sentido, sistemas dedicados de computação são utilizados para atividades interativas de análise e manipulação das imagens brutas. O resultado desse processo é a produção de outras imagens, estas já contendo informações específicas, extraídas e realçadas a partir das imagens brutas."

Para se extrair informações de interesse de uma imagem é necessário reconhecer os padrões desta, o que pode ser difícil de ser realizado pelo sistema visual humano, devido ao enorme volume de informação presente na ilustração (CEPSRM, 2014).

Desta forma, o processamento digital deve ser visto como um estágio preparatório de imagens para serem posteriormente analisadas (CEPSRM, 2014), seja por analistas humanos, ou computacionalmente, onde os procedimentos normalmente são expressos por meio de algoritmos. (Filho, 1999). De um modo geral, podem ser categorizadas em um ou mais procedimentos que incluem quatro tipos abrangentes de operações computacionais de acordo com CEPSRM (2014):

1. Retificação e Restauração de Imagens: operações realizadas para minimizar as distorções e degradações dos dados de uma imagem, com a finalidade de criar uma representação mais fiel da cena.
2. Realçamento de Imagens: procedimentos aplicados aos dados de uma imagem com o objetivo de melhorar efetivamente a visualização da cena, para subsequente interpretação visual.
3. Classificação de Imagens: estas operações têm a finalidade de substituir a análise visual dos dados por técnicas quantitativas de análise automática, visando a identificação das regiões presentes na cena.
4. Combinação de Dados: procedimentos utilizados para combinar os dados de uma imagem, referente a uma certa área geográfica, com outros conjuntos de dados referenciados geograficamente, para a mesma área.

2.2. CONVERSÃO PARA NÍVEIS DE CINZA

A imagem é convertida para níveis de cinza para melhor identificar a diferença da área descoberta (fundo) e área coberta (objeto) (Perrotti, 2014), e para calcular o limiar utilizado pelos algoritmos de limiarização de imagens (Monteiro, 2004).

Segundo Perrotti (2014),

"Uma imagem digital em nível de cinza é uma imagem na qual o valor de cada pixel é uma única amostra de um espaço de cores. Imagens desse tipo são tipicamente compostas com tons de cinza, variando entre o preto como a menor intensidade e o branco como maior intensidade."

Apesar de possuir menos informações que as coloridas, as imagens em níveis de cinza preservam a informação do contraste entre as regiões da imagem (Perrotti, 2014).

O que difere uma imagem em nível de cinza de uma imagem binária, é que a imagem binária possui somente duas cores, como o próprio nome indica, enquanto a reprodução em níveis de cinza possuem 256 tons em sua constituição (Perrotti, 2014).

2.3. LIMIAZIZAÇÃO DAS IMAGENS

Limiarização consiste em separar uma imagem, em regiões, como por exemplo, interesse e não interesse, por meio da escolha de um ponto de corte (limiar). Essas regiões são representadas por pixels pretos e brancos (Monteiro, 2004).

Os métodos mais simples de limiarização utilizam um único ponto de corte. Em alguns casos, no entanto, não se consegue apenas um limiar que resulte em uma boa segmentação para a imagem analisada (Monteiro, 2004).

Portanto, é por meio do processo de limiarização que se torna possível a contagem de pixels pretos e brancos para chegar ao resultado, pois é este que transforma a imagem normal em uma binária.

2.3.1 Limiarização por Algoritmo de Johannsen

O algoritmo de Johannsen é fundamentado na Entropia, que é a medida de desordem das partículas em um sistema físico e baseia-se na divisão dos níveis de cinza de uma imagem em duas partes, com a finalidade de minimizar a interdependência entre elas (Johannsen, 1982).

O valor ótimo do limiar desse algoritmo é a medida que minimiza o valor de soma dos valores de corte do processo de entropia com pixels pretos e com pixels brancos (Johannsen, 1982).

2.3.2 Limiarização por Algoritmo de Otsu

Este algoritmo é baseado em análise de discriminante, que tem como objetivo limiarizar uma imagem particionando seus pixels de uma imagem com n escalas de cinzas em duas classes, objeto e fundo, onde desta forma será representada por $C_0 = \{0, 1, \dots, t\}$ e $C_1 = \{t + 1, t + 2, \dots, n\}$ (Otsu, 1979).

Em imagens digitais, a semelhança dos objetos é importante para separação destes com o fundo. De fato, a utilização do algoritmo para limiarização de imagens

em nível de cinza é eficiente baseado na uniformidade medida entre as duas classes C0 e C1 a serem segmentadas. (Otsu, 1979)

O método de Otsu propõe disponibilizar meios para se analisar outros aspectos além da seleção de um limiar ótimo para uma imagem. Com isso ele apresenta algumas desejáveis vantagens que foram definidas por Facon (2004), estes itens correspondem na íntegra como no trabalho deste:

1. O processo como um todo é muito simples; são utilizados somente os momentos cumulativos zero e de primeira ordem do histograma de níveis de cinza;
2. Uma extensão direta para problemas que exijam vários limiares é viabilizada face ao critério no qual o método está baseado, qual seja, a análise de discriminantes;
3. Um limiar ótimo (ou conjunto de limiares) é selecionado de forma automática e estável, não baseado na diferenciação (uma propriedade local como um vale) mas sim na integração (propriedade global) do histograma;
4. Viabiliza a análise de outros aspectos importantes, tais como estimativa dos níveis médios das classes, avaliação da separabilidade das classes, etc;
5. O método é extremamente genérico; cobre um largo escopo de processos de decisão não supervisionados; o conjunto de suas aplicações não se limita a binarização de imagens em níveis de cinza tal como descrito anteriormente, mas também pode ser utilizado em outros casos de classificação não supervisionada no qual um histograma de alguma característica discriminativa que classifique objetos esteja disponibilizado.

O conjunto de suas aplicações não se limita a binarização de imagens, mas também pode ser utilizado em outros casos de classificação não supervisionada no qual um histograma de alguma característica discriminativa que classifique objetos esteja disponibilizado (Facon, 2004).

2.3.3 Limiarização por Entropia de Li-Lee

Também conhecida como limiarização por entropia mínima cruzada, na qual a seleção do limiar é feita por meio da minimização da entropia cruzada entre a imagem original e limiarizada (Li, 1993).

A entropia cruzada mede a distância teórica da informação entre duas distribuições $P=\{p_1,p_2,\dots,p_n\}$ e $Q=\{q_1,q_2,\dots,q_n\}$ (Li, 1993).

Conforme opinião de Li (1993), trabalhos aplicando o método de entropia máxima em segmentação de imagem não realizam a distinção acima e consideram o processo de geração de pixels como tentativas independentes, e não dependentes de uma imagem real por exemplo. Eles utilizam o histograma normalizado de níveis de cinza como as distribuições de probabilidade de níveis de cinza baseados em tentativas aleatórias de pixels individuais e medem a entropia da distribuição dos pixels.

2.4. AVALIAÇÃO

São utilizadas métricas de avaliação para medir a eficiência e avaliar o desempenho do método proposto. Todos os pixels podem ser avaliados de três maneiras (BAIRD, 2007).

1. Precisão por pixel: é a fração de todos os pixels da imagem, que são classificados como pretos e brancos. É uma medida objetiva e quantitativa.
2. Análise de precisão por área: Consiste na análise de áreas especificados das imagens.
3. Qualidade de análise subjetiva: Este método consiste em classificar, de forma expressa, a análise como boa, justa ou ruim.

Este trabalho adotou a estratégia precisão por pixel, já que este buscou um dado estatístico e exato, que é a porcentagem de pixels pretos (área folheada) e pixels brancos (área descoberta).

2.5. MODELO MVC

O modelo MVC foi utilizado neste trabalho, pois pretende-se realizar trabalhos futuros com a aplicação desenvolvida, e como vai ser explicado nesta subseção, este modelo facilita a manutenibilidade do sistema e entendimento de outras pessoas que podem vir a trabalhar com o código (Balthazar, 2007).

MVC é um padrão de arquitetura de software que separa as regras de negócio (Model) das interfaces que o usuário interage (View), essa separação é intermediada por uma camada controladora (Controller) (Dooley, 2011).

A divisão das funcionalidades de um sistema em camadas surgiu para tentar solucionar problemas encontrados nas aplicações desenvolvidas de modo estruturado, nas quais todas as funcionalidades são definidas em somente um módulo contendo uma grande quantidade de linhas de código e de difícil manutenção (Balthazar, 2007).

Segundo Balthazar (2007),

"Este modelo consiste em uma tríade de classes usadas em sistemas interativos para construção de interfaces que interagem com o usuário. A utilização deste modelo na implementação do software mantém o núcleo funcional do sistema independente da interface. Assim, a estrutura interna permanece estável, mesmo quando a interface necessita ser alterada para se adaptar à novas plataformas e dispositivos de integração, fazendo assim com que se torne mais fácil posteriores manutenções".

3. METODOLOGIA

A metodologia é uma disciplina que consiste em estudar, compreender e avaliar os métodos disponíveis para a realização de uma pesquisa acadêmica. Essa disciplina, em um nível aplicado, examina, descreve e avalia métodos e técnicas que possibilitam a coleta e o processamento de informações, visando a resolução de problemas e/ou questões de investigação (Prodanov,2013).

Ainda seguindo o pensamento de Prodanov (2013),"A metodologia é a aplicação de procedimento e técnicas que devem ser observados para construção do conhecimento, com o propósito de comprovar sua validade e utilidade nos diversos âmbitos da sociedade"

Esta pesquisa se caracteriza como uma pesquisa exploratória de caráter quantitativo: é considerada exploratória pela pouca rigidez no seu desenvolvimento, ou seja, não foi necessário seguir obrigatoriamente um passo a passo, e como possui o aspecto da análise numérica se caracteriza quantitativa.

3.1. ETAPAS METODOLÓGICAS

Para o desenvolvimento deste trabalho foram necessários os passos na figura 1, que apresenta as etapas realizadas para elaboração deste: Escolha do tema, Revisão Bibliográfica e Arquitetura do Sistema.

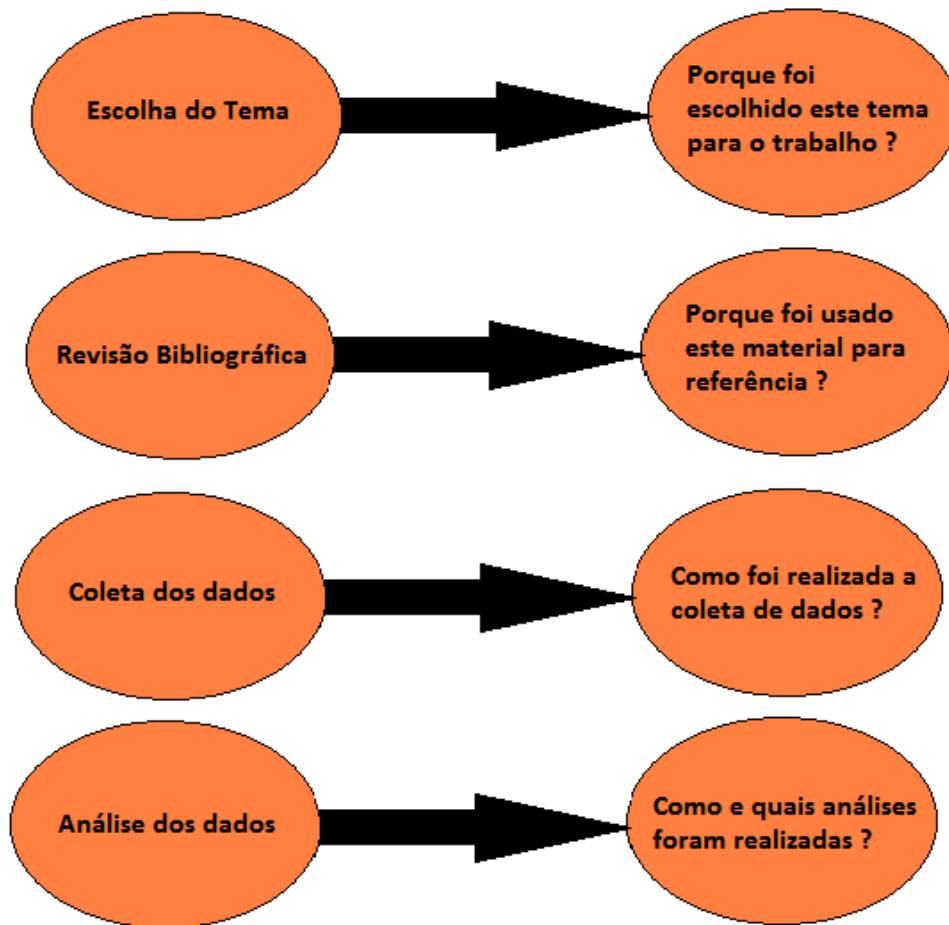


Figura 1 – Metodologia usada para criação do trabalho

3.1.1 Escolha do Tema

A escolha do tema foi realizada devido à importância da área agrônômica, e por essa área possuir um problema onde as pessoas que trabalham exclusivamente nela poderiam encontrar mais dificuldades em executar a solução que foi desenvolvida.

Isto ocorre porque boa parte dos avanços ocorridos em várias áreas, só estão acontecendo devido às facilidades advindas da tecnologia, esta que é usada geralmente por meio de softwares e aplicações.

Segundo Birrell (1985), “o desenvolvimento de software é o ato de elaborar e implementar um sistema computacional, isto é, transformar a necessidade de um utilizador ou de um mercado em um produto de software”.

3.1.2 Revisão Bibliográfica

Para realização deste trabalho, foi necessário a busca por bibliografias que explicassem alguns conceitos, por isso, essa seção busca explicar a ordem das pesquisas realizadas neste trabalho.

Primeiro foram levantados e pesquisados os termos relacionados à área agrônômica que se aplica neste trabalho, também para melhor entender o porquê do problema, assim podendo buscar uma melhor solução.

Após esse passo, foram feitas pesquisas de maneira que pudesse solucionar os problemas encontrados, chegando então na hipótese de se usar algoritmos de limiarização de imagens obtidas por meio de vídeos e contagem dos pixels pretos e brancos para se mensurar as áreas correspondente a cada cor.

Com a hipótese definida, foram pesquisados algoritmos de limiarização de imagens, que foram estudados e testados para que seja possível a seleção do melhor algoritmo para o proposto.

No fim do trabalho, para validar o sistema, e todo o trabalho de pesquisa envolvendo ele, será aplicado um questionário com pessoas que trabalham com a cultura de soja. Com esses dados é possível confirmar a subjetividade do processo atual.

3.1.3 Coleta dos Dados

Esta subseção busca mostrar como foi realizado a coleta de dados para este trabalho, apresentados da seguinte forma: imagens, os resultados das análises por meio do método proposto, os resultados das análises pessoais e o resultado desejado.

Para coletar as imagens foi necessário realizar a gravação de vídeos da cultura de soja e descompactar estes quadro a quadro.

Em relação a coleta dos resultados das análises por meio do método proposto, foi desenvolvido um sistema para apoio, que aplica o algoritmo de limiarização de Johansen, e realiza a contagem de dados de imagens binárias (preta

e branca), assim possibilitando a contagem dos pixels das imagens limiarizadas por Otsu e Li-Lee, obtidas com a utilização do sistema FePI¹.

A funcionalidade de contagem de pixels, também permite a obtenção dos resultados desejados, já que as imagens ground truth, que determinam esses valores, já são binárias e necessitam somente desta função.

Após a contagem dos pixels pretos e brancos, é realizado o cálculo da média de cada cor, para fornecer o resultado da área coberta (pixels pretos) e descoberta (pixels brancos).

O sistema desenvolvido para apoio utiliza a arquitetura MVC, a qual está apresentada na figura 2.

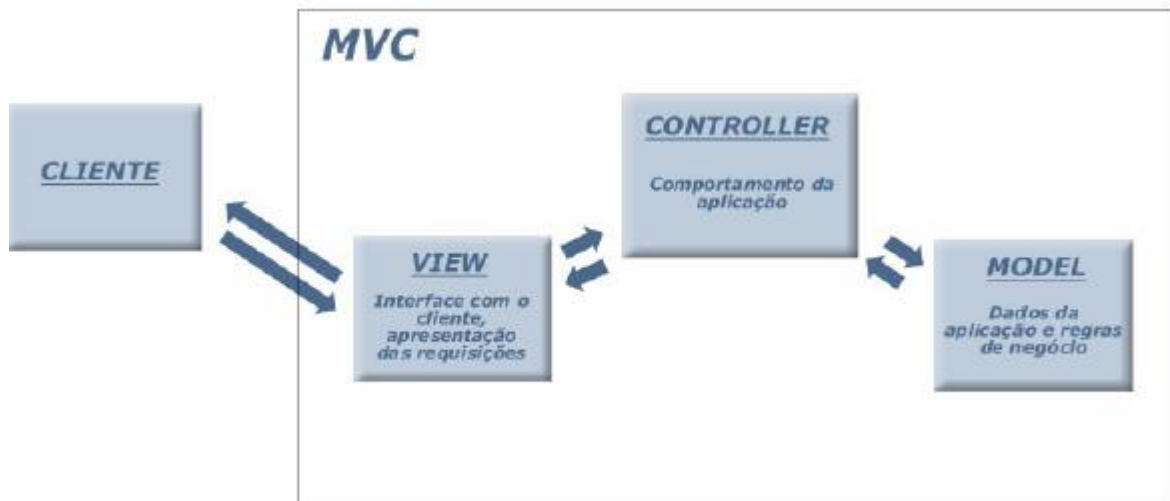


Figura 2 – Arquitetura do Sistema

A figura 2 exemplifica que o usuário terá contato somente com a(s) interface(s) do sistema, não possuindo nenhum relacionamento ou conhecimento da estrutura interna, como por exemplo, as classes do pacote controller, onde se realiza os comandos de operações e chamados de métodos que definem o comportamento do sistema.

Por fim, a coleta dos resultados das análises visuais, foi realizada por meio de um questionário, enviado por email com as imagens à serem analisadas, e proposto para cada avaliador informar sua opinião sobre a área coberta de cada imagem.

¹ Programa desenvolvido por Jacques Facon, Gerson Bochnia e David Menoti que realiza o tratamento e limiarização de imagens por meio de vários algoritmos.

3.1.4 Análise dos Dados

As análises são realizadas para comprovar ou não a hipótese do trabalho, é preciso utilizar meios científicos para chegar a uma conclusão, seja ela favorável ou não, nesse caso também descobrir o motivo da falha.

Como citado na subseção anterior, foram coletados os resultados pelo método proposto e modo visual, então esses dados foram tabulados e analisados para se concluir qual o algoritmo mais eficiente para o método proposto e qual procedimento é mais eficiente. Com esses dados, também buscou-se comprovar o problema da subjetividade da análise na forma visual.

Foram realizadas três análises com os dados coletados:

1. Qual a porcentagem de imagem que cada algoritmo chegou mais próximo do valor desejado;
2. Qual o desvio médio de cada algoritmo em relação ao valor desejado;
3. Qual a eficiência média de cada algoritmo, levando em conta o grau de co-relação, entre os 49 resultados obtidos, por meio dos algoritmos e das imagens ground truth.

Após as análises e definição de qual foi o melhor algoritmo, foram realizadas análises entre este e os resultados pessoais para verificar qual método se saiu melhor neste trabalho.

4. ELABORAÇÃO DA ANÁLISE COMPARATIVA DOS ALGORITMOS

4.1. AQUISIÇÃO DAS IMAGENS

A aquisição das imagens foi realizada por meio da descompactação de vídeos quadro a quadro, esses vídeos foram obtidos de uma plantação de soja do sítio São Luis – Santa Cruz do Rio Pardo – São Paulo, com uma câmera Sony Cybershot de 14.3 Megapixels. Foram gravados vídeos de 5 linhas da plantação da cultura de soja, por um espaço marcado de 10 metros, para cada linha foram gravados três repetições por dia, em um total de seis dias de gravação.

Os vídeos foram gravados com a câmera posicionada embaixo da plantação direcionada para o céu, para que assim houvesse um maior contraste entre a folhagem da cultura e este, para que assim facilitasse a binarização das imagens. Durante a gravação, não houve pausa entre as repetições e nem nas trocas de linha, por isso foi necessário sua edição manualmente, para a obtenção somente do tempo necessário.

Os vídeos obtidos foram descompactados, gerando as imagens resultantes posteriormente gravadas em pastas isoladamente para o desenvolvimento do trabalho, todos os vídeos resultaram em 23.492 imagens. A Figura 3 é um exemplo de uma das imagens que foram obtidas, e será utilizada como exemplo no decorrer deste trabalho.



Figura 3 - Imagem da plantação de soja sem nenhuma alteração

A partir de imagens como a apresentada na figura 3 que se inicia todo o método proposto neste trabalho.

4.2. DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

O sistema foi desenvolvido em linguagem Java, sobre plataforma Windows, e utilizou-se a IDE Netbeans para apoio, a arquitetura de sistema foi a MVC (Model-View-Controller).

A aplicação não implementa os algoritmos de limiarização diretamente, ela possui uma chamada para um método de uma biblioteca (vini.godoy) já pronta, que possui o algoritmo de Johansen implementado.

Para os outros dois algoritmos foi utilizado o programa FePI(2013), o qual só lê imagens com o formato .bmp, por isso foi necessário a transformação das imagens estudadas para tal formato. Com estas já preparadas, foi realizada a limiarização uma a uma para os algoritmos de Otsu e Li-Lee.

Com todas as imagens limiarizadas, elas então passaram pela contagem dos pixels, para que assim se tornasse possível indicar a porcentagem de área escura

(coberta) e clara (descoberta) em cada imagem, por meio dos cálculos apresentados nas equações 1 e 2:

$$AC = (NPB/TP) * 100;$$

Equação 1 - Cálculo para atingir a porcentagem de área clara

$$AE = (NPP/TP) * 100;$$

Equação 2 - Cálculo para atingir a porcentagem de área escura

Em que:

- AC = área clara;
- AE = área escura;
- NPB = número de pixels brancos;
- NPP = número de pixels pretos;
- TP = total de pixels;

O sistema possui a opção no menu, que funcionará somente para contagem de pixels, ou então para também realizar a limiarização, que nesse caso, possui somente a chamada pra o algoritmo de Johansen. Outra opção fornecida na interface do sistema é como serão salvos os dados em uma planilha Excel, se de forma geral (somente com o resultado final da pasta analisada) ou detalhado (imagem por imagem)

Após os testes serem realizados, o software apresenta o resultado da pasta na tela, na qual apresenta o total de imagens analisadas, as porcentagens de área coberta e descoberta.

A figura 4 mostra a tela inicial do sistema desenvolvido.

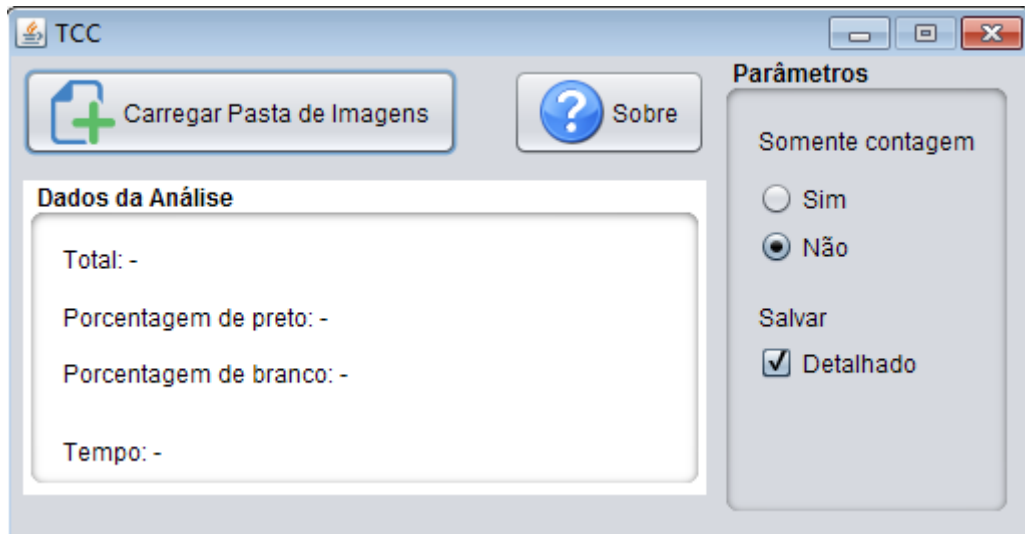


Figura 4 - Tela inicial do sistema

A figura 5 mostra a forma que o usuário escolhe a pasta de imagens que será analisada.

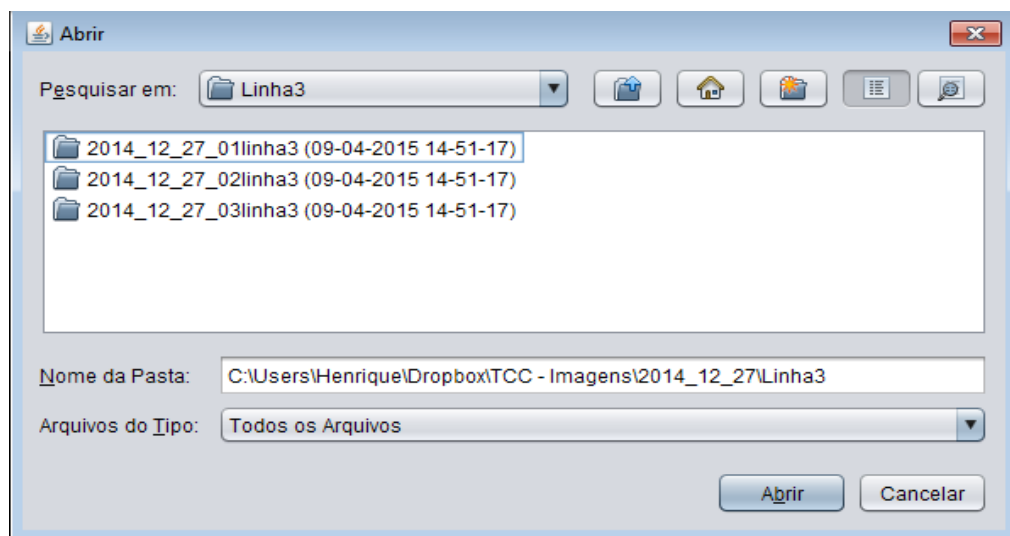


Figura 5 - Tela de escolha da pasta de imagens que será analisada

A utilização do sistema é simples, o usuário escolhe a pasta de imagens que deseja analisar e aguarda enquanto o sistema realiza o processo de limiarização e contagem dos pixels, para então retornar o resultado na tela, a qual é apresentada na Figura 6.



Figura 6 - Tela após resultado obtido

As figuras 7, 8, 9, 10, mostram a imagem de exemplo transformada em níveis de cinza, limiarizada por Johansen, Otsu e Li-Lee, respectivamente.



Figura 7 - Imagem da cultura de soja em Níveis de Cinza



Figura 8 - Imagem da cultura de soja limiarizada por Johansen



Figura 9 - Imagem da cultura de soja limiarizada por Otsu



Figura 10 - Imagem da cultura de soja limiarizada por Li-Lee

Após a realização dos passos descritos nessa seção, foi possível a obtenção da porcentagem do dossel de cada imagem, para os algoritmos estudados.

4.3. EDIÇÃO DAS IMAGENS GROUND TRUTH

Segundo Sgarbi (2013), uma imagem ground truth é uma imagem de referência que apresenta o resultado ideal/desejado de uma segmentação, e permite avaliá-la de forma quantitativa. Tais imagens podem ser geradas de forma manual, semi-automática ou automática.

No presente trabalho, a edição das imagens ground truth foi realizada de forma manual, foram escolhidas 15 imagens de cada linha por dia de gravação, o que totalizou 450 imagens, que foram editadas na ferramenta Photoshop, no qual estas eram separadas por camadas, que foram coloridas em preto ou branco e depois realizou-se a junção de todas as camadas.

A Figura 11 mostra a imagem ground truth da imagem exemplo.



Figura 11 - Imagem Ground Truth da cultura de soja

A partir da contagem dos pixels da imagem ground truth é obtido o valor da área coberto desejado para as imagens desse trabalho.

4.4. VALIDAÇÃO

Para a realização dos testes, foram selecionadas 49 imagens aleatórias, contendo imagens de todos os dias de gravação e enviadas para cinco avaliadores, um doutor em agronomia, dois mestres e um mestrando na mesma área e um produtor da cultura.

Foi proposto para os avaliadores que eles verificassem as imagens e indicassem qual a porcentagem da área que acreditavam estar coberta, tais resultados foram tabulados para comparação com as imagens ground truth e com os resultados das limiarizações, por Johansen, Otsu e Li-Lee.

Desta forma busca-se comprovar o problema de subjetividade levantado neste trabalho, assim como possuir dados para comparação entre o método proposto e o método atual.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a avaliação dos algoritmos e dos testes realizados, foi possível tabular os dados coletados. A tabela 2 mostra os resultados obtidos neste trabalho.

Tabela 2 - Resultados obtidos

N°	Johansen	Otsu	Li-Lee	Ground-Truth	Av1	Av2	Av3	Av4	Av5	Media
1	2,9801	4,1423	3,2744	5,5143	5	5	5	3	5	4,6000
2	22,4049	22,3109	19,5680	27,1204	25	20	25	12	13	19,0000
3	58,4896	17,6794	14,1930	19,4889	20	20	15	20	15	18,0000
4	21,2145	10,8844	9,7480	13,7640	15	15	10	19	10	13,8000
5	16,9056	35,2038	27,3509	50,5270	40	55	60	17	25	39,4000
6	24,7939	26,8662	24,7116	23,9535	20	25	45	25	15	26,0000
7	67,3105	67,7292	66,0973	68,5407	40	55	80	60	40	55,0000
8	56,1738	54,4082	52,5687	53,6865	35	45	75	50	30	47,0000
9	77,4206	76,9580	75,1426	78,0618	50	65	85	68	30	59,6000
10	47,6595	48,9886	47,6143	42,2660	40	40	55	40	20	39,0000
11	78,1999	73,4333	69,7493	74,1230	55	65	85	70	30	61,0000
12	48,0055	45,9596	44,2633	45,4704	35	30	70	43	25	40,6000
13	84,4906	83,9818	80,8483	84,4990	60	70	90	78	35	66,6000
14	77,4954	76,0599	71,3857	68,0700	60	65	85	5	35	50,0000
15	5,1481	21,2689	7,6794	6,4727	10	5	5	13	5	7,6000
16	21,8044	22,8239	21,5785	21,9736	15	20	20	72	10	27,4000
17	75,1566	74,3271	71,8861	74,4486	45	60	80	69	35	57,8000
18	78,1283	78,6204	76,8717	81,0693	55	70	80	60	35	60,0000
19	68,5010	66,7448	65,0492	68,6566	40	55	70	48	30	48,6000
20	80,8656	79,1022	73,6221	69,5449	55	65	85	65	35	61,0000
21	48,1774	47,8639	47,0130	45,1637	30	40	40	30	25	33,0000
22	35,9814	36,1540	35,4948	29,4834	30	35	40	33	25	32,6000
23	75,3408	75,1624	71,6126	54,5186	55	65	95	45	50	62,0000
24	61,9072	61,9160	60,4785	51,8910	55	60	75	50	45	57,0000
25	91,8581	80,4600	70,3698	88,2477	70	80	98	88	75	82,2000
26	90,3213	88,5283	78,9460	88,8770	75	85	98	90	75	84,6000
27	92,1566	90,8600	85,8613	88,9505	75	85	98	93	70	84,2000
28	92,1566	90,8600	85,8613	88,2757	75	85	98	88	70	83,2000
29	57,9147	47,2669	44,4124	42,5576	35	45	55	25	40	40,0000
30	95,5967	87,7471	73,7887	94,1296	80	90	99	85	80	86,8000
31	91,1986	81,9043	61,9596	86,0114	70	85	98	80	75	81,6000
32	86,1559	84,5482	80,1696	83,2500	65	80	90	72	70	75,4000
33	91,1986	81,9043	61,9596	86,1201	60	85	95	85	80	81,0000
34	94,3896	89,8760	81,7962	88,4915	70	80	95	88	80	82,6000
35	73,5625	73,7660	68,8926	70,9163	55	65	80	60	75	67,0000
36	90,8079	82,0781	74,0498	88,9720	70	90	99	90	90	87,8000
37	88,1533	82,0013	73,6263	88,4076	65	85	98	88	85	84,2000
38	62,6156	58,1104	55,0791	56,2025	50	55	65	50	70	58,0000
39	95,2246	94,3138	89,5257	94,2542	80	90	98	95	95	91,6000
40	91,1904	90,5697	86,5531	90,0960	75	90	95	93	90	88,6000
41	84,3249	82,1263	75,0472	81,9886	65	80	95	85	80	81,0000
42	92,3942	89,3991	81,4137	89,7620	70	85	98	88	80	84,2000
43	96,9922	96,4603	92,4238	96,6455	85	90	99	95	99	93,6000
44	98,1605	95,1468	87,6061	97,7448	90	95	99	97	98	95,8000
45	87,4023	81,8727	74,8288	84,8161	70	75	95	80	85	81,0000
46	90,5785	87,0859	80,4805	88,0251	70	80	95	82	80	81,4000
47	96,8717	95,5335	92,7386	95,1888	80	90	99	86	98	90,6000
48	94,1546	85,4694	74,7734	91,8610	65	80	99	90	90	84,8000
49	90,8490	84,6807	79,0417	87,9115	65	75	95	84	85	80,8000

Os dados apresentados na tabela 2, se referem a porcentagem de área coberta pelo dossel nas imagens, apresentam-se também os resultados obtidos com os algoritmos de limiarização estudados, os dados de cada avaliador, uma média entre eles e o valor desejado. Nota-se nos resultados o quanto se torna subjetiva a análise visual, pois em nenhuma imagem houve um consenso geral dos avaliadores.

Desta forma foi realizado o cálculo da média das cinco avaliações para efeito de comparação com os demais resultados obtidos. Considerando todos os métodos utilizados, juntamente com a média dos avaliadores, foi verificado qual a porcentagem de imagens que cada método aproximou-se mais do valor desejado: 24,49% para o algoritmo de Johansen, 38,78% Otsu, 16,33% Li-Lee e 20,40% para a média dos avaliadores, como pode ser visto no gráfico apresentado na figura 12.

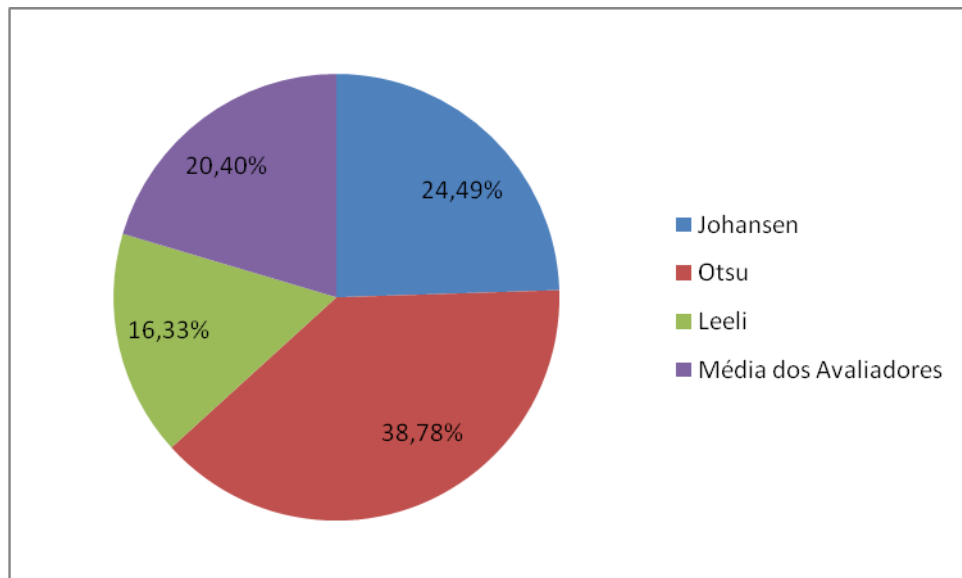


Figura 12 - Porcentagem de imagens mais próximas do valor desejado

Ao reduzir o escopo da análise somente para os algoritmos utilizados, o resultado obtido foi: 26,53% para Johansen, 46,94% Otsu e 26,53% Li-Lee, números que estão à mostra na figura 13.

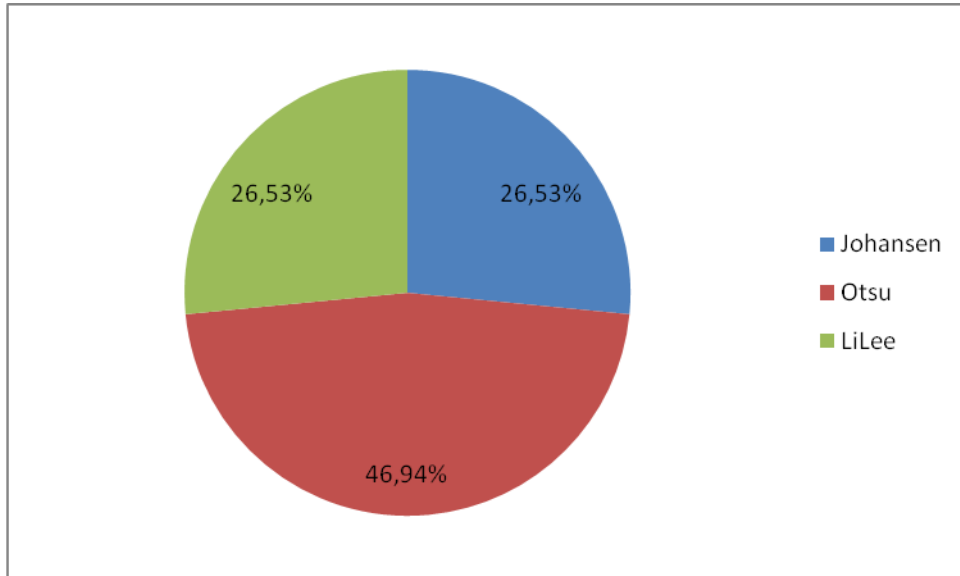


Figura 13 - Porcentagem de imagens mais próximas do valor desejado

Outra análise realizada foi o desvio médio de cada algoritmo, onde os resultados são apresentados na figura 14.

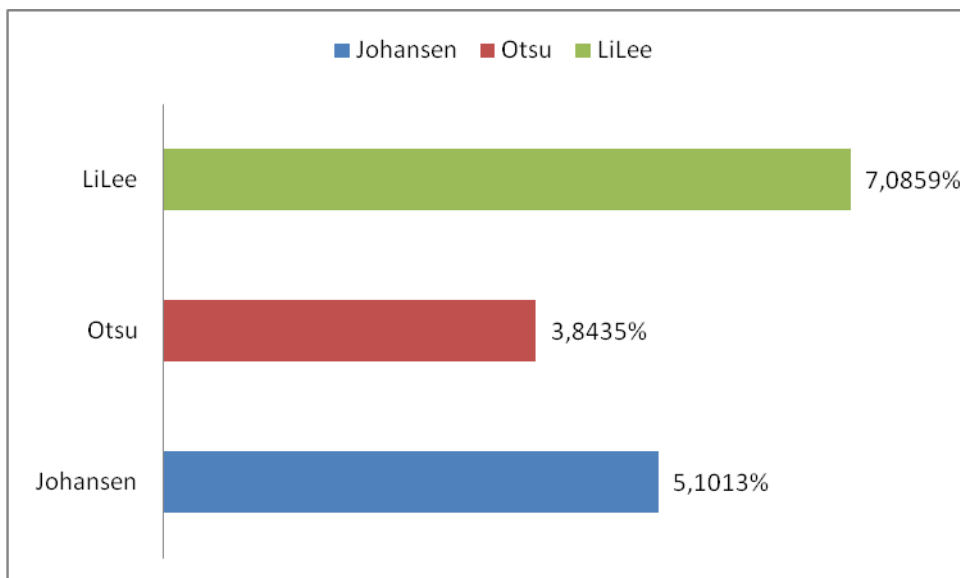


Figura 14 - Desvio Médio dos Algoritmos

A figura 15 apresenta o gráfico comparativo entre as imagens limiarizadas pelo algoritmo de Johansen e as imagens ground truth, onde o algoritmo de Johansen obteve eficiência média de 89,9%.

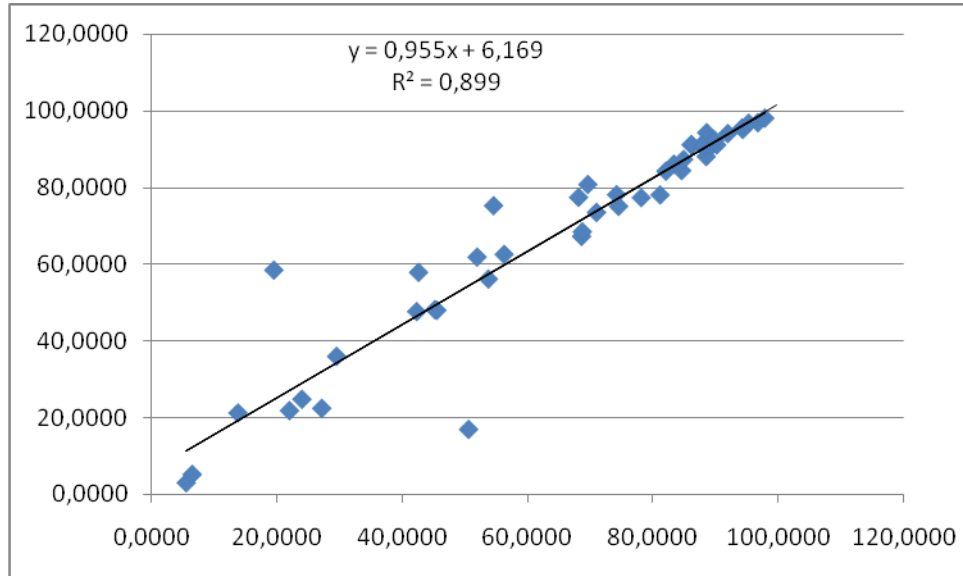


Figura 15 - Gráfico comparativo entre Johansen e Imagens Ground Truth

A figura 16 apresenta o gráfico comparativo entre as imagens limiarizadas pelo algoritmo de Otsu e as imagens ground truth, onde o algoritmo de Otsu obteve eficiência média de 95,3%.

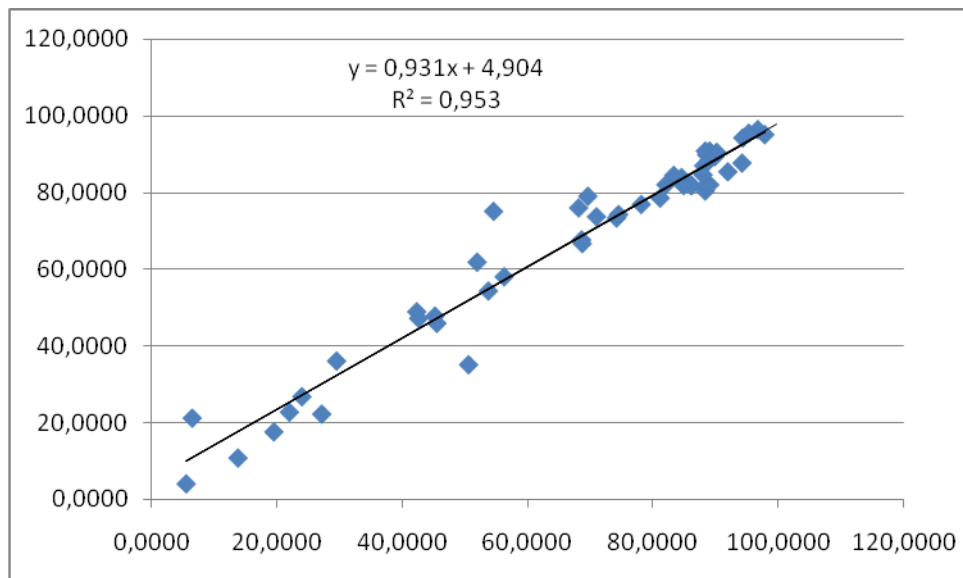


Figura 16 - Gráfico comparativo entre Otsu e Imagens Ground Truth

A figura 17 apresenta o gráfico comparativo entre as imagens limiarizadas pelo algoritmo de Li-Lee e as imagens ground truth, onde o algoritmo de Li-Lee obteve eficiência média de 90,7%.

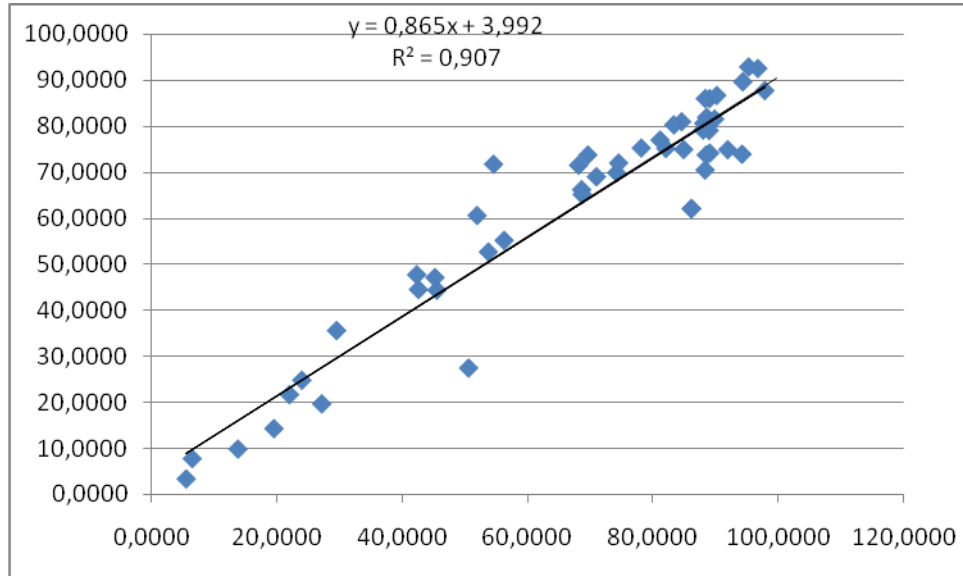


Figura 17 - Gráfico comparativo entre Li-Lee e Imagens Ground Truth

Após a definição do algoritmo de Otsu como o melhor, foram realizadas comparações deste com os valores de cada avaliador, onde 72,65% das imagens, o valor obtido pelo método proposto foi melhor. Se comparado com a média dos avaliadores, o algoritmo ainda assim chegou mais próximo do valor desejado em 65,31% dos casos.

6. CONCLUSÃO

Este trabalho propôs um método de análise computacional para medir a abertura do dossel da cultura da soja, para isso foi necessário realizar a comparação dos algoritmos de limiarização de imagens, e analisar qual seria o melhor para esta aplicação.

Portanto, no trabalho foi necessário a coleta das imagens, que foi realizada por meio da descompactação de vídeos gravados em campo, a partir destas foram realizados os procedimentos para obtenção das imagens ground truth e limiarizadas pelos algoritmos de Johannsen, Otsu e Li-Lee.

Em seguida, foi desenvolvido o sistema de apoio, que realiza a contagem dos pixels para obtenção do valor da área coberta de cada imagem, onde o valor retornado das imagens ground truth foram definidos como desejados, para comparação com os valores retornados pela contagem dos pixels das imagens limiarizadas.

Após obter os resultados, e analisá-los, chegou-se a conclusão de que o algoritmo de Otsu é o melhor algoritmo de limiarização para as imagens analisadas, pois este obteve melhor resultado nas três análises realizadas.

Em relação aos outros dois algoritmos, cada um obteve melhor resultado em um quesito, e empataram em outro: Li-Lee obteve um melhor aproveitamento referente a eficiência média nas imagens, já Johansen obteve um menor desvio médio. No quesito número de imagens mais próximas do valor desejado, os resultados foram iguais.

Com o objetivo de escolher o melhor algoritmo alcançado, outra conclusão que se pode tirar deste trabalho é que os problemas referentes à subjetividade, e grande intervalo de resultados, foram solucionados. Já que no método proposto, se utilizado um algoritmo, sempre resulta no mesmo valor para uma mesma imagem, diferentemente dos avaliadores. E ao contrário da escala diagramática, o sistema trabalhou com o intervalo completo entre 0% e 100%.

A principal dificuldade encontrada no decorrer deste trabalho foi encontrar um sistema ou biblioteca que possuísse os algoritmos estudados implementados, além da adversidade de estudar alguns conceitos relacionados à área agrônômica para o melhor entendimento do problema abordado.

O trabalho alcançou seu objetivo e conseguiu solucionar os problemas levantados. Contudo, ainda existem algumas melhorias que podem ser realizadas em trabalhos futuros, como: Implementar os dois algoritmos não presentes no sistema; trabalhar com todos os formatos de imagens; descompactar o vídeo por meio da própria aplicação; definir um meio de gravação que possua o mínimo de risco de ocorrer alguma interferência nas imagens resultantes.

7. REFERÊNCIAS

- Baird, H. S.; MOLL, M. A. **Segmentation-based retrieval of document images from diverse collections. Proc. IST/SPIE Document Recognition and Retrieval - XV Conf. (DRR XV)**, San Jose, CA, January 28 - February 1, 2008.
- Balthazar, Glauber da Rocha; Filho, Elio Lovisi; et al.- **Uma Abordagem Prática sobre a Aplicação do padrão MVC com o Framework Struts** - Faculdade Metodista Granbery (FMG) - Juiz de Fora - Minas Gerais - 2007
- Birrell, N.D.; **A Practical Handbook for Software Development. [S.I.]**: Cambridge University Press, 1985.
- Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM) – UFRGS – Disponível em <http://www.ufrgs.br/engcart/PDASR/pdi.html> – Acesso em 18/11/2014
- Corbara, Bruno; Ribeiro, Sérgio P. – **Dossel florestal: a fronteira desconhecida** – CIÊNCIA HOJE – vol.37 – nº.217 – 15/07/2005
- Dooley, John - **Software Development and Professional Practice** - APRESS, 2011
- Fabris, Anna Teresa – **Redefinindo o conceito de imagem** - Rev. bras. Hist. vol. 18 n. 35 São Paulo -1998
- Facon, Jacques - **Limiarização Bimodal de Otsu** - PUCPR - Programa de Pós-Graduação em Informática Aplicada (PPGIA) - 2004
- Favarin, José Laércio; Neto, Durval Dourado; et al. – **Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro** – Pesq. Agropec. Brasil. Vol.37 no.6 Brasília – 2002
- Filho, Ogê Marques; Neto, Hugo Vieira - **Processamento Digital de Imagens** - Rio de Janeiro: Brasport, 1999.
- Hirano, Mário; Hikishima, Marceli; et al. - **Validação de escala diagramática para estimativa de desfolha provocada pela ferrugem asiática em soja** – 2010.
- Johannsen, G.; Bille, J. **A threshold selection method using information measures. Proceedings** - 6th Int. Conf. Pattern Recognition, Munich, Germany, v. 1, n. 1, p.140-143, 1982.
- Li C.H. and Lee C.K., **“Minimum Cross Entropy Thresholding”**, **Pattern Recognition** - v.26, no 4, pp 616 -626, 1993.
- Manssour, Isabel Harb; Cohen, Marcelo - **Introdução à Computação Gráfica** - PUCRS - 2006
- Monteiro, Leonardo Hiss – **Binarização por Otsu e Outras técnicas usadas na Detecção de Placas** - Instituto de Computação – Universidade Federal Fluminense – 2004
- Otsu N., **“A Threshold Selection Method from Gray-level Histograms”**, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, v. SMC 9, no 1, pp.62-66, 1979.

- Pereira, Ana Paula – **O que é Algoritmo?** – 2009 – Disponível em <<http://www.tecmundo.com.br/programacao/2082-o-que-e-algoritmo-.htm>> – Acesso em 17 de novembro de 2014.
- Perrotti, Franscesco Artur – FATEC – 2014 – Disponível em <<https://fperrotti.wikispaces.com/Imagens+em+n%C3%ADveis+de+cinza>> – Acesso em 18 de novembro de 2014.
- Prodanov, Cleber Cristiano; Freitas, Ernani Cesar de - **Metodologia do trabalho científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e Trabalho Acadêmico, 2ª Edição** - Universidade Feevale - Novo Hamburgo - Rio Grande do Sul - Brasil - 2013.
- Sgarbi, Ederson Marcos - **Segmentação do conteúdo e estimativa do fundo por morfologia matemática em cor da primeira bíblia de Gutenberg** - PUCPR - Curitiba - 2013
- Watson, D. J. - **Comparative physiological studies in the growth of field crops. I: Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years** - 1947