

Quantificação automática da área foliar na cultura da soja usando segmentação de imagens coloridas¹

Automatic quantification of soybean leaf area using color-based image segmentation

Diogo Sant'Ana Sarath², Gercina Gonçalves da Silva³, Ricardo Dias Peruca⁴, Bruno Brandoli Machado⁵, Antonia Railda Roel⁶, Hemerson Pistori⁷.

²Departamento de Engenharia da Computação, Universidade Católica Dom Bosco - UCDB, Campo Grande - MS, Brasil, diogo_sarath@hotmail.com;

^{3,4,6,7}Mestrado e Doutorado em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária, Universidade Católica Dom Bosco - UCDB, Campo Grande - MS, Brasil,

³gercina.goncalves@gmail.com; ⁴ricardoperuca@yahoo.com.br; ⁶arroel@ucdb.br
⁷hpistori@gmail.com.

⁵Departamento de Computação, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS, Ponta Porã - MS, Brasil, brunobrandoli@gmail.com.

RESUMO

Este artigo propõe uma nova metodologia para a quantificação automática de danos causados por herbivoria em folhas de soja. Nos experimentos foram usadas as lagartas da espécie *Spodoptera frugiperda*. Uma vez feita a predação nas folhas de soja, foram capturadas imagens digitais antes e depois do ataque. A segmentação das regiões nas imagens foi feita pela técnica de limiarização sobre o modelo de cor HSV. Os resultados mostram que o desempenho do sistema tem uma forte correlação quando comparado ao desempenho em relação ao método manual, indicando que a nossa abordagem tem um grande potencial para ser empregada em experimentos reais.

PALAVRAS-CHAVE: Quantificação da área foliar, herbivoria, índice de área foliar

ABSTRACT

This paper proposes a new methodology for the automatic quantification of leaf area. Experiments were conducted on soybean leaves attacked by the fall armyworm *Spodoptera*

¹ Este trabalho recebeu apoio financeiro da Universidade Católica Dom Bosco - UCDB, da Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul – FUNDECT, do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPQ e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES.

frugiperda. We captured images before and post herbivory in order to compare the leaf area index. Our methodology adopts the color-based image segmentation using the HSV color model. Experimental results show that the performance of our approach is strongly correlated with the performance of the manual methodology, and it shows the great potential to be used in real-world experiments.

KEYWORDS: Leaf area quantification, herbivory, leaf area index.

1- INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a economia brasileira tem apresentado um cenário de redução no crescimento econômico e uma elevada taxa de inflação. Em contrapartida, o agronegócio do país tem sido um dos destaques positivos no desempenho econômico, uma vez que representa 23% do PIB nacional (CEPEA, 2014). Este indicador se reflete pela modernização do agronegócio no Brasil e tem propiciado um aumento na produção do setor. Para ir além, o setor agrícola também tem buscado a expansão científica no campo que visa desenvolver novas técnicas para o controle de pragas e doenças agrícolas. Em países desenvolvidos, estima-se que o ataque de insetos, ou herbivoria, provoca perdas anuais na produção de grãos na ordem de 14%, enquanto que países em desenvolvimento o número sobe para 38% (ZARBIN, 2009).

Geralmente, o controle de pragas em lavouras é realizado por meio de inseticidas químicos, que nem sempre são eficazes e tendem a encarecer os custos de produção (GODOY, 2007). Além disso, os resíduos químicos deixados no ambiente têm provocado uma perda grande de biodiversidade, além da possível contaminação de alimentos (TOMKIN, 2013). Dessa maneira, desenvolver novas metodologias que possam auxiliar no controle de pragas tem atraído a atenção de pesquisadores de diferentes áreas.

Existem diferentes metodologias empregadas para o de controle de insetos nas lavouras. Uma delas é criação de cultivares resistentes a uma determinada família de insetos. Entretanto, tais insetos também se adaptam as novas variedades produzidas de forma sintética ou natural (BORTOLI *et al*, 2012). Bortoli *et al* afirmam que existe uma relação entre as propriedades químicas das folhas e a herbivoria, reconhecendo a atividade metabólica como uma mecanismo de defesa importante para minimização dos danos causados pela herbivoria. Uma forma de avaliar isso é medindo o índice de área foliar. Tais medições são feitas de duas formas: quantificação manual e uso de dispositivos integradores de área.

A quantificação manual é feita pelo método dos quadrados. Basicamente, um especialista faz um esboço manual do contorno da folha em um papel milimetrado. Em seguida, ele conta os quadrados para obter o tamanho total da área foliar (BENINCASA, 2003). A quantificação manual é considerada um método preciso, todavia ela exige um trabalho muito grande por parte do especialista, além da grande demanda de tempo que pode levar a fadiga na contagem dos quadrados para um número grande de amostras (PEREIRA, VILLA NOVA, SEDIYAMA; 1997). A outra maneira de estimar a área foliar é por meio dos integradores de áreas. Embora eles também sejam precisos para folhas com limbo inteiro, eles falham em estimar a área de folhas em que houve a predação por insetos (LUCENA et al, 2011). Outra desvantagem por parte destes equipamentos é que eles possuem um alto custo de aquisição devido a sua importação. Um exemplo destes equipamentos é o LI-COR.

Neste artigo, nós propomos um sistema computacional para quantificar os danos causados pela herbivoria por meio da medição da área foliar na cultura da soja. Isso pode propiciar a comparação de diferentes variedades de soja em termos dos mecanismos de defesa das plantas contra os ataques. Neste trabalho, estimou-se a área foliar, antes e depois do ataque, com o objetivo de identificar o tipo de tratamento que induz a planta a produzir mais compostos de defesa e, com isso, avaliar se houve um menor percentual de área atacada. Para a segmentação automática de imagens, nós empregamos a limiarização usando o modelo de cor HSV. Nos experimentos, a herbivoria foi feita pela lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (BENINCASA, 2003), que tem ocasionado perdas significativas em várias culturas devido sua reprodução de ordem exponencial (GODOY, 2007). Para validar a nossa proposta, nós comparamos a quantificação manual em relação ao resultado automático usando a correlação linear de Pearson e Teste T-student.

Este artigo está organizado em 5 seções. A Seção 2 apresenta uma revisão da literatura e a fundamentação teórica da técnica de segmentação de imagens coloridas. A Seção 3 descreve como as folhas foram preparadas e como os experimentos foram conduzidos. Os resultados e a validação da nossa proposta são descritos na Seção 4. Por fim, a conclusão e os trabalhos futuros são apresentados na Seção 5.

2- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 - Segmentação e segmentação por limiarização de imagens coloridas

A segmentação é uma etapa bastante importante em sistemas de análise de imagens e visão computacional (NEVES e PELAES, 2001). Basicamente, a segmentação de imagens divide as

regiões em objetos de interesse e em partes irrelevantes caracterizadas como fundo (PADILHA, 2005). Existem diversos algoritmos de segmentação de imagens que se baseiam em diferentes características, tais como cor, textura e forma. Um grupo de algoritmos de segmentação de imagens é baseado em limiarização. Este grupo leva em consideração um critério de particionamento de imagens que determinará um ou mais valores, chamados de limiares, que dividem a imagem em objetos de interesse e fundo (HONDA & CASTRO JORGE, 2013).

A limiarização usa um histograma para estabelecer o critério de particionamento e, para imagens coloridas, são utilizados os histogramas de cores conforme o espaço de cores das imagens. Em casos em que lida-se com mais informações por pixel que nas imagens em tons de cinza, deve-se escolher qual sistema de cores (ou combinação de sistema de cores) será utilizado. A definição de limiar pode ser mais complexa, dado que, na maioria dos casos, o espaço de representação de cores utilizado é tridimensional (BONVENTI JUNIOR, 2008), o que implica na definição de 3 limiares. O processamento pode ser comprometido dependendo da quantidade de cores que será utilizada para representar o objeto ou região. A escolha correta do sistema e a simplificação da imagem colorida possibilitam uma melhor identificação de análise de objetos (SOUZA E GUIMARÃES, 2012).

Os espaços de cores mais comuns são o RGB (*red*, *green* e *blue*), que representam as cores através da mistura em várias possibilidades de intensidade dessas três cores primárias; e o HSB (também chamado de HSV), composto pela matiz – *hue* –, a saturação – *saturation* – e o brilho – *brightness* –, em que as cores são representadas basicamente pela tonalidade (matiz), pureza da cor e brilho. Logo, para uma limiarização, caso o espaço de cor escolhido seja o HSB, haverá 3 limiares, um para cada componente, possibilitando a filtragem de pixels que estejam dentro das faixas de limiares estabelecidos (PORTELA, 2014).

2.2 - Trabalhos correlatos

Slaughter e Harrell (1989) realizaram a segmentação de imagens de frutas utilizando cores como critério de homogeneidade em imagens coloridas. As imagens segmentadas foram processadas a fim de encontrar os centróides dos objetos para que um braço mecânico pudesse coletar os frutos. Philipp e Rath (2002) transformaram os pixels representados no espaço de cores RGB de modo a binarizar uma imagem, destacando assim as folhas das plantas. Foram utilizadas imagens de treino, manualmente segmentadas, para estimar os valores médios e as matrizes de co-variâncias. Essa classificação gera uma imagem binarizada.

Adami et al (2007) realizaram um estudo estimativo de área da folha de soja utilizando imagens digitais e dimensões foliares. No estudo, os pesquisadores compararam os métodos de dimensões foliares (CxL) e, o método utilizando aparelho para medição (LI-COR). O método de dimensões foliares é menos preciso na estimativa de área foliar para folhas danificadas. Já os métodos de imagem digital apresentam boas estimativas de área foliar, tanto para folhas normais quanto para danificadas, apresentando precisão similar ao aparelho integrador de área foliar LI-COR, mas sendo vantajoso devido a seu menor custo e sua portabilidade. Apesar de o processamento ser realizado com imagens digitais, o projeto não contou com um software específico para essa análise e geração de relatórios.

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

A finalidade do experimento biológico é mensurar a quantidade de folha que cada grupo de lagartas consumiria por dia, como resposta a origem da folha, ou tratamento. Cada tratamento contou assim de folhas oriundas de soja variedade transgênica e não transgênica Bt. As plantas que forneceram as folhas a serem testadas foram cultivadas em vasos em casa-de-vegetação das cultivares DM 6563 RSF IPRO e BRS 284 e por ocasião da retirada das folhas, as plantas estavam com 40 dias da germinação. Ressalta-se que cada folha de soja é composta por três folíolos que foram utilizados no experimento. As lagartas utilizadas com 10 dias de idade foram obtidas da criação estoque e deixadas em jejum 24 horas antes do início do experimento. Os tratamentos foram plantas pós-herbivoria de *S. frugiperda*, com injúria mecânica e controle (sem herbivoria ou injúria mecânica). A injúria refere-se ao ataque em si, enquanto que dano ocorre quando o ataque representa uma perda mensurável.

Por ser a espécie canibal, cada repetição (lagarta em um folíolo) foi individualizada em placas de Petri. Cada unidade experimental assim constou de uma placa de Petri forrada com papel de filtro, um folíolo de soja e uma lagarta, devidamente identificada por legenda.

Foram utilizadas 150 amostras de folíolos de soja, unidades experimentais, separadas em 25 unidades para cada tipo de tratamento (seis tratamentos). Os folíolos das repetições de todos os tratamentos foram digitalizados antes da herbivoria. Vinte e quatro horas após a colocação das lagartas efetuou-se novamente a digitalização, em fase pós-herbivoria. Na captura das imagens foi utilizada a câmera Sony Alpha DSLR-A350, utilizou-se resolução máxima, de 14.2 MP, sem flash, que estava apoiada com um tripé comum e posicionada para baixo de forma que o foco ficou em 90° para baixo a uma distância média de 30 centímetros da mesa. Na mesa, foi fixada uma folha de papel A4 branco que continha uma moldura impressa pontilhada para onde o foco da câmera estava ajustado, onde folíolos de soja eram

posicionados. Acima da moldura, foi impresso um retângulo com 3 centímetros de largura e 0,5 centímetro de altura, que foi utilizado no processamento para estabelecer uma escala de conversão entre pixel e centímetros.

As imagens, após a coleta, foram processadas pelo sistema aqui apresentado, que foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação Java, com auxílio da biblioteca de processamento e análise de imagens ImageJ. Com base nas variações de colorações dos folíolos das amostras, foi definido um limiar para processamento de todas as imagens e, adicionalmente, foi ajustada a escala de conversão média entre pixels e centímetros com base nos retângulos de calibração de algumas amostras, alcançando a conversão de 216,9 pixels por um centímetro. O sistema inicialmente duplica cada imagem contida na pasta indicada pelo usuário. Na cópia da imagem, é feito um redimensionamento para eliminar os ruídos, retirando a moldura e o retângulo de calibração, restando somente o folíolo no centro da imagem. Posteriormente, é realizada a segmentação baseada no limiar estabelecido do padrão HSV e, em seguida, é realizada a binarização da imagem, destacando os pixels restantes da segmentação. A imagem é convertida para níveis de cinza (8 bits) para que seja realizada a análise dos pixels através da escala que foi estabelecida inicialmente para a obtenção da área.

As medições que foram utilizadas de referência para avaliação do desempenho da aplicação foram feitas utilizando o método dos quadrados (BENINCASA, 2003), pois seu desempenho nos casos em que as folhas estão com irregularidades mantém-se alto, ao contrário da maioria dos métodos, que, geralmente, são mais rápidos, pois utilizam medidas dos folíolos aplicados em equações específicas para realizar a integração, desconsiderando as irregularidades no interior dos folíolos. Foram selecionadas três imagens de cada subgrupo, totalizando 18 amostras. Os resultados do aplicativo foram comparados com os valores de referência utilizando teste de correlação e Teste T, trabalhando com nível de confiança de 95%.

4- RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos com o aplicativo e com a medição de referência estão apresentados nas Tabelas 1 e 2, correspondendo à análise entre as medidas de área antes e pós herbivoria, respectivamente. Os nomes das amostras seguem o padrão de identificação das folhas: a primeira letra representa o tipo de tratamento (S – plantas que tinham sofrido herbivoria, M – plantas que sofreram danos mecânicos e C – plantas saudáveis); a segunda letra indica se a amostra é comum (N) ou transgênica (T); seguidas pelo número da amostra no experimento. Assim, ao se observar as Tabelas 1 e 2, pode-se verificar que os valores obtidos pelo

aplicativo e pela contagem manual nos folíolos antes da herbivoria são próximos, geralmente variando em no máximo 1 cm² para mais ou para menos.

Tabela 1. Área foliar antes da herbivoria (cm²)

Amostra	Quantificação automática (cm ²)	Quantificação manual (cm ²)
ST01	18,394	18,1
ST15	24,864	24,83
ST19	18,113	17,75
SN18	21,972	21,9
SN03	26,736	26,51
SN22	23,333	22,96
MT16	24,465	25,16
MT07	26,267	26,55
MT06	28,708	28,51
MN20	47,264	47,58
MN15	31,781	32,45
MN10	30,138	29,45
CT18	21,169	21,57
CT15	34,668	33,94
CT06	31,985	31,95
CN06	27,365	26,45
CN19	22,735	22,64
CN23	30,117	29,97

Tabela 2. Área foliar depois da herbivoria (cm²)

Amostra	Quantificação automática (cm ²)	Quantificação manual (cm ²)
ST01	17,095	17,26
ST15	21,443	21,54
ST19	15,280	14,89
SN18	16,190	16,23
SN03	25,374	25,80
SN22	22,377	22,54
MT16	17,288	17,38
MT07	25,060	25,83
MT06	26,664	27,06
MN20	42,569	43,24
MN15	26,500	25,71
MN10	21,415	21,03
CT18	14,587	13,59
CT15	32,019	31,45
CT06	29,482	30,20
CN06	19,543	18,93
CN19	21,767	20,85
CN23	22,541	22,83

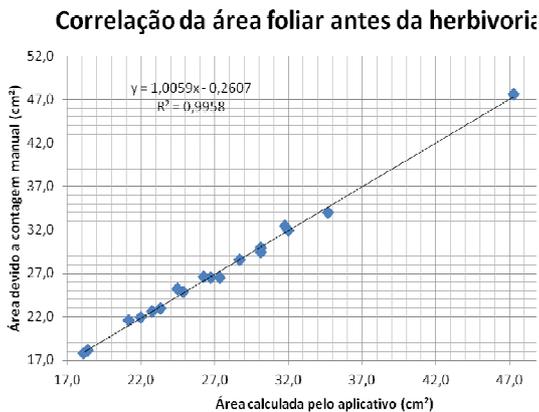
Foi realizado um teste de correlação e um teste T entre os valores de resposta. Os gráficos de correlação correspondentes entre os valores antes e após a herbivoria podem ser verificados nas Figuras 1 e 2. Para o teste T, antes de realizados os cálculos foram estabelecidas duas hipóteses:

H_0 : as médias são iguais;

H_1 : as médias são diferentes.

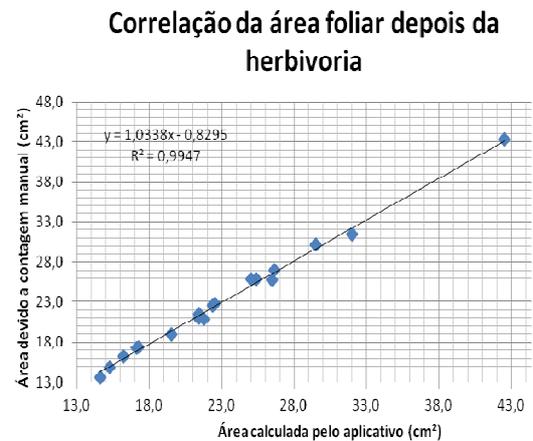
Considerando que o nível de confiança foi estabelecido em 95%, a proximidade dos valores obtidos pelo aplicativo e pela contagem manual das folhas antes da herbivoria pode ser constatada no gráfico de dispersão da Figura 1, onde pode-se observar uma correlação positiva muito forte entre os valores dos dois tipos de medição, dado que o valor do coeficiente de correlação para as imagens iniciais é de $r = 0,9958$.

Figura 1. Correlação da área foliar obtida pelo aplicativo e pela contagem manual



Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 2. Correlação da área foliar obtida pelo aplicativo e pela contagem manual



Fonte: Elaborada pelos autores

Situação semelhante se verifica através de Figura 2, onde o valor do coeficiente de correlação para as imagens pós herbivoria encontrado é de $r = 0,9947$, também indicando uma correlação positiva muito forte entre os valores dos dois tipos de medição. No teste T os resultados foram de 0,3561 e 0,5633 para as amostras de antes e pós herbivoria respectivamente, indicando que não há diferença significativa entre os cálculos manuais e da aplicação.

5- CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste trabalho foi proposto um método computacional para realização de medição de área tanto de folhas sadias como de folhas danificadas. Foram utilizadas técnicas de segmentação por limiarização de imagens coloridas para o processamento das imagens e os resultados foram comparados através dos testes estatísticos de correlação e teste T com os resultados de referência. Através dos testes pode-se verificar que não existe diferença significativa entre os métodos e os resultados também apresentam uma forte correlação com os de referência. O método facilitou a coleta dos dados experimentais, conferindo maior credibilidade dos dados e agilidade na metodologia.

Como proposta para trabalhos futuros, pode-se aperfeiçoar o processamento das imagens utilizando outra forma mais aprimorada de segmentação, a qual consiga ajustar os limiares automaticamente para cada imagem e remover possíveis ruídos. Também poderá ser realizada a criação de uma interface gráfica para mais fácil interação entre aplicativo e usuário. Acredita-se que com essas extensões o método será mais preciso e terá utilização mais simplificada.

REFERÊNCIAS

- ADAMI, Marcos et al Estimativa de área foliar de soja usando imagens digitais e dimensões foliares. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis: INPE, 2007.
- BENINCASA, M. M. P. Análise de crescimento de plantas, noções básicas. 2. ed. Jaboticabal: UNESP, 2003. 41 p.
- BONVENTI JR., W.. Agrupamentos Nebulosos em Segmentação de Imagens Coloridas: Quantificação Histológica. In: IV WVC 2008, 2008, Bauru. Anais do IV Workshop de Visão Computacional. Bauru: Canal 6 Projetos Editoriais, 2008.
- BORTOLI, Sergio et al Herbivoria em Soja: Efeito na Composicao Quimica das Folhas e na Biologia da Lagarta da Soja e do Percevejo Verde Pequeno. *Comunicata Scientiae*, 2012. v.3,n.3.
- CAVANI, F. A. Análise de cenas de pomares de laranjeiras através de segmentação de imagens e reconhecimento de padrões. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- CEPEA - CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. Relatório PIBAgroBrasil. Dezembro 2014. Disponível em: <http://www.cepea.esalq.usp.br/comunicacao/Cepea_PIB_BR_dez14.pdf>. Acesso em: 08/04/2015.
- FIESP. Safra Mundial de Soja 2014/15 - 12º Levantamento do USDA. Informativo DEAGRO. Abril de 2015. Departamento do Agronegócio - DEAGRO/FIESP. Disponível em http://az545403.vo.msecnd.net/uploads/2015/04/boletim_safra-mundial-soja_abril2015.pdf Acesso em 14 de abril d 2015.
- GODOY, L. J. G. et al. Análise da imagem digital para estimativa da área foliar em plantas de laranja "Pêra". *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, 2007. v. 29, n .3.
- GONÇALVES, A.B; RODRIGUES, C.N.M.; CEREDA, M.P.; PISTORI, H. Identificação computadorizada de tipos polínicos através de Bag of Words. *Cadernos de Agroecologia*, v. 8: p.14634, 2013.
- HONDA, B.; CASTRO JORGE, L. A.. Computação Aplicada À Agricultura De Precisão. *Rev. Científica Eletrônica UNISEB*, Ribeirão Preto, v.1, n.1, p.111-132, jan./jun.2013
- IGC - INTERNATIONAL GRAINS COUNCIL. Grain Market Report: GMR, n.442,3,2014.
- LUCENA, R. R. M. et al. Medição de área Foliar de aceroleira . *Rev. Caatinga*, 2011. v.24, n.2.
- MILANO, D. D.; HONORATO, L. B. Visão computacional. – Universidade Estadual de Campinas– Faculdade de Tecnologia. 2010.

NEVES, S. C. M.; PELAES, E. G. Estudo e implementação de técnicas de segmentação de imagens. Revista Virtual de Iniciação Acadêmica da UFPA. Vol 1, No 2, Julho 2001.

PADILHA, A. J. M. N.. Processamento e Análise de Imagem. Ficheiro de aula – Capítulo 4. DEEC - Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto – Portugal. 2005. Disponível em <http://paginas.fe.up.pt/~padilha/PAI/ficheiros/> Acesso em janeiro/2014.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, R. Evapotranspiração. Piracicaba: FEALQ/ ESALQ/USP, 1997. 70 p

PHILIPP, I.; RATH, T.. Improving plant discrimination in image processing by use of different colour space transformations. Computers and Electronics in Agriculture 35 (2002) 1–15

PORTELA, T. da C.. Arquitetura de hardware dedicada para segmentação por cores usando visão estéreo aplicada em robótica móvel. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília - UnB Faculdade UnB Gama – FGA. Brasília, DF, 2014- 79 p.

SILVA, F. C. Um estudo sobre algoritmos genéticos, lógica fuzzy e técnicas para segmentação e classificação em imagens médicas. Pós-Graduação em Informática, UCP. Pelotas, 2008.

SLAUGHTER, D.C; HARRELL, R.C. Discriminating fruit robotic harvest using color in natural outdoor scenes.1989.

SOUZA, K. J. F.; GUIMARÃES, S. J. F.. Uma Abordagem de Simplificação de Imagem Colorida Baseada na Árvore Geradora Mínima. ICEI. PUC MG, Brasil. Disponível em <www.decom.ufop.br/sibgrapi2012/e proceedings/wtd/102539_2.pdf> Acesso em janeiro/2014.

SZELISKI, R.. Computer Vision: Algorithms and Applications. Springer, 2010.

TOMKIN, J.. Agriculture and Water - Agricultural Limits. Produzido por OCE, Atlas Digital Media em da Universidade de Illinois. 2013.

ZARBIN, P. H. G.; RODRIGUES, M. A. C. M.; LIMA, E. R.. Feromônios de insetos: tecnologia e desafios para uma agricultura competitiva no Brasil. Quím. Nova [online]. 2009, vol.32, n.3.