

## PROCESSAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS USANDO SENSORES ÓPTICOS

WILLERS, Scheila Cristiane Angnes <sup>1\*</sup>; HAHN, Cristiane<sup>2</sup>; KREMER, Darciane Inês<sup>3</sup>;  
BONETTI, Valéria<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Faculdade Horizontina, Campus Arnaldo Schneider, Avenida dos Ipês, 565, Horizontina, RS, Brasil.

\*Autor Correspondente: willersscheilac@fahor.com.br

### RESUMO

Sensores de visão têm larga aplicação na agricultura de precisão. A viabilidade de sua aplicação e a eficácia de seu emprego, dependem de três artefatos tecnológicos e científicos: o elemento sensor que detecta, reconhece e mede a intensidade de ondas eletromagnéticas; a digitalização do sinal analógico; e os algoritmos matemáticos, que depuram e transformam a imagem digital numa informação útil. Uma revisão dos principais sensores e áreas da matemática que embasam os algoritmos são apresentados.

**Palavras chave:** Agricultura de precisão. Sensores. Sensores de visão. Matemática.

## PROCESSING OF DIGITAL IMAGES USING OPTICAL SENSORS

### ABSTRACT

Vision sensors have a large range of application in precision agriculture. The viability and effectiveness of its application depend on three technological and scientific artifacts: the sensing element that detects, recognize and mensures the intensity of electromegnig waves; the device that transforms the analogic signal into a digital image; and the mathematical algorithms that sort and select the right digital sign and transform them in useful information. A review of the main vision sensor types and tha mathematical foundations of the algorithms are presented.

**Key words:** Precision agriculture. Sensors. Vision sensors. Mathematics.

### INTRODUÇÃO

O processamento de imagens digitais pode ser utilizado em várias áreas de aplicação, resolvendo uma gama de problemas que requerem métodos capazes de melhorar a informação visual. Na área médica, com imagens de raio-X, de tomografia e de ultrassonografia; na geologia pelo estudo das imagens de satélites; na restauração de figuras da arqueologia; nas atividades militares, pelo reconhecimento de alvos; na distribuição de energia elétrica e

também da agricultura. Grande parte dessa atividade, exige capacidade de interpretação dos processos envolvidos, que por sua vez são bastante complexos, necessitando de algoritmos computacionais precisos para realizá-lo. O objetivo deste trabalho é diminuir as barreiras, que existem entre o processo Processamento e Análise Digital de Imagens e o pesquisador, aumentando o conhecimento sobre o mesmo, dando ênfase no potencial futuro do processamento de imagens, em diferentes contextos da indústria agrícola.

A agricultura apresentou um crescimento considerável, a partir de meados do século XX, com base na expansão das fronteiras agrícolas, de máquinas maiores, mais potentes e mais pesadas; também, do uso massivo de fertilizantes e defensivos químicos, cujas consequências, a longo prazo despertam preocupação, no que se refere à preservação do meio ambiente e às condições que herdarão a gerações futuras, para melhoria da qualidade de vida.

Nesse contexto, a partir do início do presente século, tem emergido a agricultura de precisão como um caminho viável, que pode manter a expansão da produção de alimentos sem prejuízo da sustentabilidade necessária ao planeta. Trata-se de uma abordagem que faz uso da tecnologia da informação, para assegurar que se faz uso dos insumos certos, no local certo, no tempo certo, na quantidade certa e do modo certo.

Mondal et al (2011), vê a agricultura de precisão como a combinação de um conjunto de diversas tecnologias, todas elas interrelacionadas e que se desenvolvem em seis principais áreas: posicionamento geográfico; sensoriamento remoto; mapeamento de rendimentos; sensoriamento e análise do solo e dos tratamentos culturais; taxas de aplicação de insumos; tratamento e transmissão das informações.

É interessante notar, que a palavra sensoriamento aparece explicitamente duas vezes, mas, um olhar mais acurado, vai perceber que sensores estão presentes em pelo menos cinco, das seis áreas mencionadas.

Na busca de uma taxonomia e fazendo uma analogia com os sentidos humanos, podem ser classificados em sensores de tato, de olfato, de audição, visão e paladar. Não é difícil encontrar, dentro do mundo físico e tecnológico, os duais dos sentidos humanos. Sensores de gases, por exemplo, podem ser inseridos no rol dos olfativos.

Na agricultura de precisão, os sensores de visão e o processamento de imagens, tem despertado interesse como o principal instrumento de coleta de informações, sobre ação de microorganismos, predadores e presença de ervas daninhas nas culturas agrícolas. E este tipo de sensor é o tema do presente trabalho, mais precisamente dos instrumentos fornecidos pela matemática, para tratar e dar sentido às ondas eletromagnéticas captadas por esses sensores.

Tendo por objetivo diminuir as barreiras que existem, entre o Processamento e Análise Digital de Imagens e o pesquisador, aumentando o conhecimento sobre o mesmo, dando ênfase no potencial futuro do processamento de imagens, em diferentes contextos da indústria agrícola.

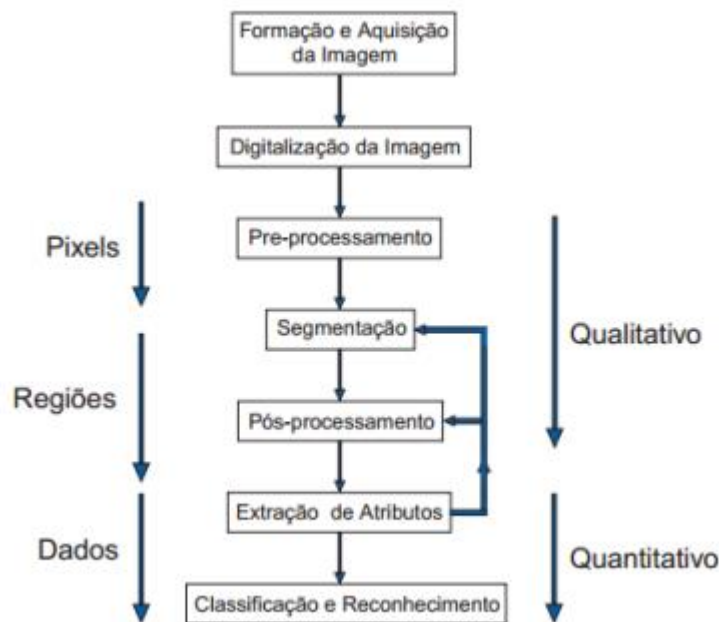
## **2 PROCESSAMENTO DE IMAGENS E SENSORES ÓPTICOS**

O sensor de visão está ficando cada vez mais conhecido na indústria e, com isso, ganhando espaço em diferentes aplicações. Este sensor é capaz de fazer a mesma função do ser humano sendo, inclusive, mais rápido e mais preciso em aplicações repetitivas de inspeção nas linhas de produção, por exemplo. É um elemento necessário para a aquisição digital de imagens. Assim o dispositivo, deve ser sensível ao espectro de energia eletromagnético como, por exemplo, ao espectro de raio-x, luz ultravioleta, visível, ou infravermelha. Este dispositivo transdutor, deve produzir em sua saída um sinal elétrico proporcional ao nível de energia percebido. Como exemplos, têm-se equipamentos de ultrassom, radiografia, microscópios eletrônicos, magnéticos, radares, câmeras digitais. Estes dispositivos devem converter o sinal elétrico analógico produzido na saída do sensor em um sinal digital, sendo assim possuem a função de capturar uma imagem (GONZALES, WOODS 2000).

Conforme Silva (2001), a função primordial, do processamento digital de imagens, é a de fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração das informações contidas nas mesmas, 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.

Nas últimas décadas, vários modelos de sistemas para processamento de imagens, têm sido propostos e comercializados no mundo inteiro. Entre as décadas de 80 e 90, com a redução nos custos das tecnologias de hardware, as tendências de mercado voltaram-se para placas projetadas, segundo padrões industriais, para uso em computadores pessoais e estações de trabalho (QUEIROZ, 2001). Desse modo, surgiram diversas empresas que se especializaram no desenvolvimento de softwares dedicados ao processamento de imagens. Um sistema de processamento de imagens é constituído de diversas etapas, tais como: formação e aquisição da imagem, pré-processamento, segmentação, pós-processamento, extração de atributos, classificação e reconhecimento, como ilustra a figura 1.

Figura 1: Etapas fundamentais de um sistema de Processamento de Imagens Digitais



Cada etapa apresentada tem sua função:

- Formação da Imagem – etapa inicial que está relacionada à capacidade e qualidade do equipamento que captura a imagem (lentes e sensores de frequências, por exemplo);
- Digitalização da Imagem – etapa em que transforma efetivamente a imagem em sua representação numérica inicial (e original). A partir desta etapa, é possível realizar operações em cada pixel da imagem;
  - Pré-Processamento - nesta etapa a preocupação está em adequar a qualidade dos pixels da imagem, para que se possa cumprir com um determinado objetivo;
  - Segmentação – etapa que se refere ao processo em que a imagem digital é separada, dividida, em uma ou mais partes (segmentos) que a constituem e que se diferenciam entre si de forma automática, através da similaridade e diferença dos pixels. É nesta etapa que são escolhidas uma ou mais regiões de interesse para estudo. Esta etapa é considerada a mais crítica do Processamento e Análise Digital de Imagens (PADI), pois quaisquer erros ou distorções presentes nesta etapa, poderão até mesmo, invalidar os resultados do processo;
  - Pós-Processamento – etapa em que as características definidas na etapa anterior podem ser aumentadas, realçadas, suavizadas e corrigidas de distorções. Aqui, toma-se o cuidado de não produzir artefatos, que possam interferir com a análise da imagem;
  - Extração de Atributos – etapa em que se transforma as características da imagem em dados quantitativos, a serem utilizados na pesquisa sendo realizada. Caso os dados extraídos

não sejam ainda satisfatórios, mas estão coerentes com o objetivo do estudo, estes dados poderão realimentar de maneira independente as duas etapas anteriores;

- Reconhecimento de Padrões e Classificação – tem como objetivo realizar de forma automática a identificação e a classificação, dos segmentos já destacados na imagem.

### 3 FUNDAMENTOS MATEMÁTICOS

Wilson e Ritter (2000), com muita propriedade classificam primeiro as aplicações factíveis da matemática, no desenvolvimento de solução de visão computacional antes de abordar detalhes.

Uma imagem digital é uma representação numérica em forma matricial bidimensional finita, cujas células (pixels) recebem valores correspondentes à intensidade luminosa numa determinada região (ALMEIDA, 2006). Assim, Uma imagem monocromática é uma função bidimensional contínua  $f(x,y)$ , na qual  $x$  e  $y$  são coordenadas espaciais que por convenção:  $x=[1, 2, \dots, M]$  e  $y=[1, 2, \dots, N]$ , e o valor de  $f$  em qualquer ponto  $(x,y)$  é proporcional à intensidade luminosa no ponto considerado.

Uma imagem também pode ser representada por uma matriz  $N \times M$ , conforme a equação (1):

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix} \quad (1)$$

A organização de uma imagem, sob a forma de uma matriz de pixels, é feita em uma simetria quadrada, devido à facilidade de implementação eletrônica, seja dos sistemas de aquisição, seja dos sistemas de visualização de imagens. Em uma imagem digital colorida no sistema RGB (Red, Green, Blue), um pixel pode ser visto como um vetor, cujas componentes representam as intensidades de vermelho, verde e azul de sua cor. A imagem colorida pode ser vista como a composição de três imagens monocromáticas:

$$f(x,y) = f_R(x,y) + f_G(x,y) + f_B(x,y) \quad (2)$$

No sistema RGB, o valor  $(0,0,0)$  equivale a cor preta, absorção total, com intensidade zero nas três componentes. O valor  $(255, 255, 255)$  equivale a cor branca, reflexão total, onde

as três componentes estão presentes com a sua intensidade máxima. As diferentes combinações entre RGB serão capazes de gerar qualquer tipo de cor, sendo que se as três componentes tiverem sempre valores exatamente iguais, ter-se a definido uma escala de tons de cinza do preto ao branco, chamada "gray scale" ou dita, imagem monocromática.

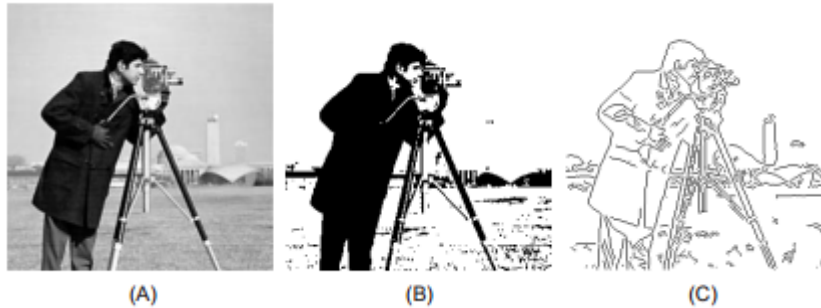
Uma ferramenta importante no processamento de imagens é o histograma, que é obtido pelo gráfico de frequência de pixels versus o nível de cinza, sendo possível visualizar se uma imagem está bem contrastada, ou se está muito escura ou muito clara. Pode-se também, classificar (binarizar) objetos na cena quando estes possuem resposta espectral distinta de outros objetos digital (GONZALES, WOODS 2000). O histograma de um a imagem digital com  $k$  níveis de cinza é definido por uma função discreta:

$$p(k) = \frac{n_k}{n} \quad (3)$$

Onde, o argumento  $k$  representa os níveis de luminância discretos,  $n_k$  representa o número de pixels na imagem com intensidade  $k$  e  $n$  é o número total de pixels da imagem, ou seja,  $n=M \times N$ . Pode-se afirmar que, o histograma de luminância de uma imagem representa a contagem dos níveis de cinza da imagem, podendo informar a distribuição dos pixels dentro dos  $k$  níveis possíveis (ESQUEF et. al. 2003). O histograma pode ser considerado como uma função distribuição de probabilidades, obedecendo aos axiomas e teoremas da teoria de probabilidades, que  $\sum_k p(k) = 1$ . O histograma é utilizado com frequência como sendo uma distribuição estatística dos pixels ("luminância") na imagem, como por exemplo, no caso das técnicas que o utilizam para calcular a entropia da imagem. Além disso, o histograma é bastante utilizado na etapa de segmentação, principalmente em técnicas que se utilizam da similaridade entre os pixels.

Segundo Gonzales e Woods (2000), a segmentação de imagem é o primeiro passo em análise de imagens, cujo objetivo é isolar objetos relevantes para a aplicação desejada. Sendo os algoritmos de segmentação, baseados em uma das seguintes propriedades básicas de valores de cinza: descontinuidade entre os pixels e similaridade entre eles. A primeira categoria baseia-se nas mudanças bruscas nos níveis de cinza da imagem, enquanto que a segunda categoria baseia-se em limiarização, crescimento de regiões e, divisão e fusão de regiões. A técnica baseada em similaridade mais utilizada é a chamada binarização. A técnica de segmentação baseada em descontinuidade mais utilizada é a chamada detecção de bordas. A figura 2 destaca duas abordagens da segmentação de imagens:

Figura 2: (A) Imagem original em níveis de cinza. (B) Imagem segmentada através de uma binarização. (C) Imagem segmentada por detecção de bordas (ESQUEF et. al. 2003).



A etapa de segmentação por limiarização, a qual segundo Gonzales e Woods (2000), é uma das mais importantes abordagens para a segmentação de imagens, pode ser vista como uma função  $T$  da forma:

$$T = T [x, y, p(x,y), f(x,y)] \quad (4)$$

Onde:  $f(x,y)$  é o nível de cinza do ponto  $(x,y)$  e  $p(x,y)$  denota alguma propriedade local desse ponto. Uma imagem limiarizada  $g(x,y)$  é definida como:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{se } f(x, y) > T \\ 0 & \text{se } f(x, y) \leq T \end{cases}$$

A binarização de imagens ou *image thresholding* é uma técnica eficiente e simples. Como resultado tem-se uma imagem binarizada. Quando os pixels forem rotulados de 1, corresponderá ao objeto, enquanto que aqueles rotulados de 0, corresponderão ao fundo ponto de vista computacional, sendo, portanto, largamente utilizada em sistemas de visão computacional. Este tipo de segmentação é utilizado quando as amplitudes dos níveis de cinza são suficientes, para caracterizar os “objetos” presentes na imagem.

A técnica de segmentação baseada em descontinuidade mais utilizada é a detecção de bordas, que se baseia em encontrar limites entre regiões homogêneas de diferentes propriedades, e necessitam de operadores específicos que realcem as bordas antes da segmentação. Uma borda é o limite entre duas regiões com propriedades de níveis de cinza, relativamente distintas, e sua detecção pode ser feita automaticamente, por operadores de derivadas locais denominados de gradientes, os quais são implementados usando janelas (máscaras) de vários tamanhos. Alguns exemplos de operadores de bordas usados em tais imagens são os gradientes de Canny, Prewitt, Sobel, Marr-Hildreth, Log, Roberts, e Zerocross, os quais utilizam máscaras de tamanhos  $2 \times 2$ ,  $3 \times 3$  ou  $5 \times 5$  (GONZALES e WOODS, 2000). O objetivo básico do gradiente em processamento de imagens é detectar

bordas e para uma função  $f(x,y)$  o gradiente de  $f$  nas coordenadas  $(x,y)$  é definido como um vetor:

$$\nabla f = \frac{\partial f}{\partial x} i + \frac{\partial f}{\partial y} j \quad (5)$$

e a magnitude deste valor é dado por:

$$|\nabla f| = \left[ \left( \frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial f}{\partial y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

Sendo que, este valor equivale a maior taxa de aumento de  $f(x,y)$  por unidade de distância na direção de  $\nabla f$ , e baseia-se na obtenção das derivadas parciais na posição de cada pixel  $(x,y)$ .

Para corrigir defeitos ou imperfeições da segmentação, usa-se de técnicas de Morfologia Matemática, com a aplicação em sequência de filtros morfológicos, que realizam uma análise quantitativa dos pixels da imagem. Dois operadores básicos são utilizados na maior parte das técnicas de Morfologia Matemática: a erosão e a dilatação. A operação de erosão permite separar objetos que se tocam. Ao contrário, a operação de dilatação permite preencher furos no interior de um objeto ou mesmo ligá-los (ESQUEF et. al. 2003).

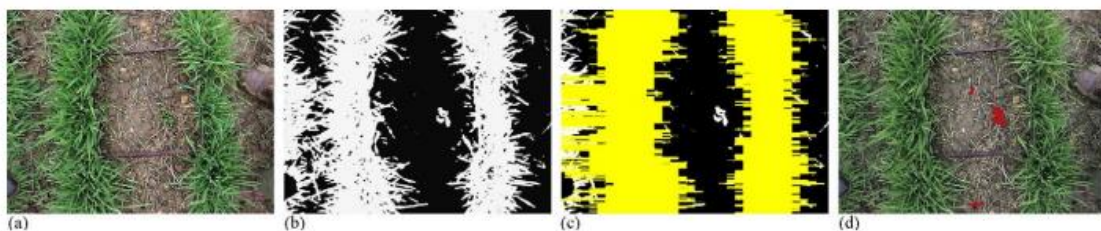
O Processamento digital de imagens, utiliza algoritmos computacionais para auxiliar na identificação de objetos, fornecendo imagens de alta resolução a serem usadas na tomada de decisão. Apesar de uma vasta gama, de procedimentos e recursos, para o reconhecimento de formas, ainda podemos citar os métodos baseados em propriedades estatísticas dos objetos (classificador de Bayes), os métodos baseados em técnicas de distância entre os objetos na imagem e suas formas padrões (como as redes neurais artificiais), ou ainda, a descrição da forma, através de um dicionário ou uma linguagem básica. Neste último caso, é definido uma sequência de elementos básicos, que representem as formas dos objetos. Em seguida, é construída uma linguagem e formada uma gramática (ESQUEF et. al. 2003). O reconhecimento por meio de redes neurais artificiais é um método bastante atraente, pois consegue dar um maior grau de liberdade a função discriminante, realizando de forma automática a identificação e a classificação dos segmentos, já destacados na imagem.

#### **4 APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS NA AGRICULTURA DE PRECISÃO**



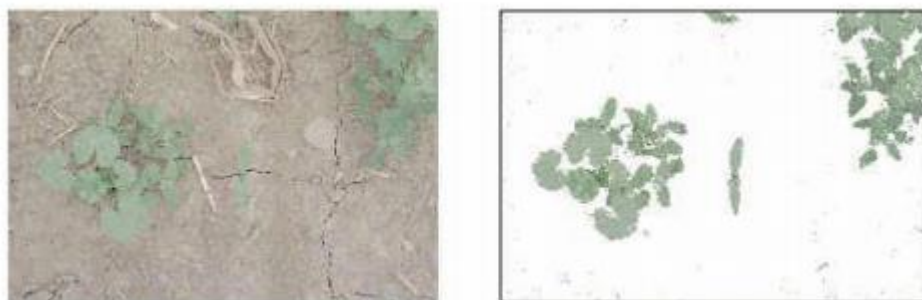
Apesar de existir uma grande diversidade de técnicas de segmentação de imagens, ainda assim, existe atualmente, um grande interesse no estudo e desenvolvimento de novas técnicas. Um estudo de Li et al. (2011), mostra dados de imagem usados para a separação de critérios com base na imagem colorida, usando a segmentação de imagens no monitoramento do crescimento das plantas. Esse acompanhamento tem vantagens como, verificar a taxa de crescimento, prever o tempo e a quantidade da colheita, além disso, a descoberta de doenças, a detecção de ervas daninhas e avaliação geral da qualidade. A figura 3 mostra um estudo de Artizzu et al. (2009), que desenvolveu um sistema baseado em análise de imagens computadorizada, determinando proporções da cultura de certo vegetal, de ervas daninhas e solo da imagem.

Figura 3: Processamento de imagem por Artizzu et al. (2009): (a) imagem de entrada, (b) imagem segmentada, (c) imagem após Eliminação da linha de cultura e (d) imagem final após o passo de filtragem e identificação de ervas daninhas.



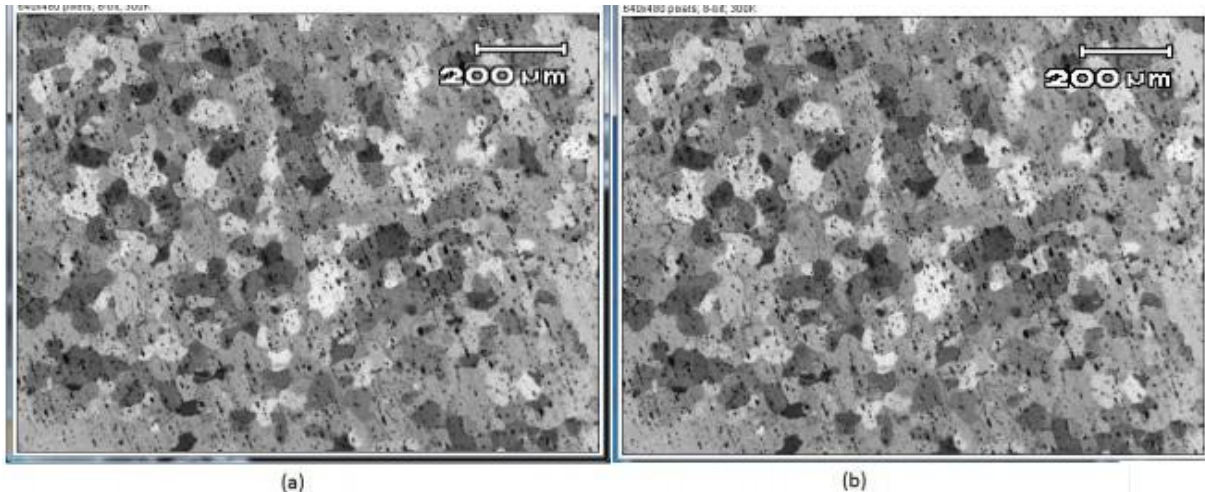
Na figura 4, mostra-se um estudo de Yang et al. (2000), o qual se baseia num sistema, que utilizava uma câmara digital e um computador, na tomada de decisões para utilização de herbicidas em campos agrícolas. O sistema de processamento utilizou imagens coloridas dos campos agrícolas, afetados pelas ervas daninhas e, através da identificação das ervas daninhas, sugeriu locais de aplicação de herbicidas, obtendo redução de uso de herbicidas, para o caso obteve-se uma redução de 15 a 64%.

Figura 4: Proporção de verdura determinada por Yang et al. (2000)



Na figura 5, observa-se o estudo de Juliano da Silva Ignácio (2013), que executa recursos adequados de pré-processamento, possibilitando de forma automática o cálculo do tamanho médio e a contagem de grãos de cada amostra.

Figura 5: (a) imagem inicial com muitas pequenas variações de tons de cinza e precipitados muito aparentes que se confundem com objetos, (d) imagem resultante após padronização dos sinais.



Além das aplicações mostradas acima, sensores ópticos podem, também, ser utilizados em medidas de concentração de gases. O principal tipo de sensor óptico, utilizado na medição de compostos gasosos, é o sensor por absorção de infravermelho, com vasta utilização na medição do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). No interior deste tipo de sensores, a irradiação das moléculas do gás alvo por um feixe de luz infravermelha, faz com que esta seja absorvida em determinados comprimentos de onda, característicos da molécula que absorve a radiação (Pandey; Kim, 2007). Há, também, o sensor de gás por fotoionização. No interior deste tipo de sensores, um feixe de luz ultravioleta de elevada energia incide no gás em análise, fazendo com que as ligações das moléculas sejam quebradas. Os íons resultantes apresentam carga elétrica e, quando expostos a um campo elétrico externo, geram uma corrente que é proporcional à concentração das moléculas no interior do detector (Castel et al., 2013).

## 5 CONCLUSÃO

A visão computacional apresenta uma ampla possibilidade de aplicações e envolve três principais tecnologias. A importância de sensores e circuitos eletrônicos é pareada com os algoritmos matemáticos, que se fundamentam numa extensa gama de fundamentos matemáticos. A complexidade da aplicação de visão computacional, abre oportunidades de

pesquisa, para institutos e mesmo grupos de pesquisa, que carecem de recursos materiais, para o desenvolvimento e a pesquisa de artefatos de hardware.

## 6 REFERÊNCIAS

ARTIZZU, X. P. B., RIBEIRO, A., TELLAECHÉ A., PAJARES, G., QUINTANILLA C. F. **Improving weed pressure assessment using digital images from an experience-based reasoning approach.** In *Computers and Electronics in Agriculture*, 65, pp. 176–185, 2009.

CASTELL, N.; VIANA, M.; MINGUILLÓN, M. C.; GUERREIRO, C.; QUEROL, X. **Real-world application of new sensor technologies for air quality monitoring.** Technical paper. European Topic Centre on Air Pollution and Climate Change Mitigation. Bilthoven: ETC/ACM, 2013.

ESQUEF I. A., ALBUQUERQUE M. P., ALBUQUERQUE M. P., *Processamento Digital de Imagens.* Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas. 2003.

GONZALES, R. C., WOODS, R. E. *Processamento de Imagens Digitais.* Ed. **Edgard Blücher – LTDA**, São Paulo - SP, 2000.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E.; EDDINS, S. L.. *Digital Image Processing Using MATLAB.* **Pearson Education**, 2004.

IGNACIO, J. S. *Processamento e Análise Digital de Imagens em Estudo da Cinética de Recristalização de Ligas Al-Mg-X*, 2013. **Dissertação de mestrado. Instituto de pesquisas energéticas e nucleares.** São Paulo.

LI, P., LEE S. H. AND HSU, H. Y. (2011), Study on citrus fruit image data separability by segmentation Methods, **Procedia Engineering**, 23, pp. 408–416, 2011.

MONDAL, Pinaki; BASU, M.; BHADORIA, P.B.S. **Critical Review of Precision Agriculture Technologies and Its Scope of Adoption in India.** In *American Journal of experimental agriculture*. V. 1, n 3. 2011. ISSN 2231-0606. DOI : 10.9734/AJEA/2011/155.

PANDEY, S. K.; KIM, K. H.. **The Relative Performance of NDIR-based sensors in the near real-time analysis of CO<sub>2</sub> in Air.** In *Sensors*. V. 9, no. 1683–1696, 2007. ISSN 1683-1696. Doi 10.3390/s7091683.

SAXENA, L., ARMSTRONG, L. A survey of image processing techniques for agriculture. **Edith Cowan University. Research Online.** ECU Publications Post 2013.

SILVA, A. M. E. *Curso Processamento digital de imagens de satélite.* Centro de Eventos da PUCRS - de 07 a 12 de outubro de 2001. Porto Alegre - RS. Disponível em [www.cartografia.org.br](http://www.cartografia.org.br). Acesso em: 19 fev. 2007.

WILSON, Joseph; RITTER, Gerhard. *Computer vision algorithms in image algebra.* 2 ed. **Boca Raton: CRC Press, 2000.** ISBN 978-0849300752.

YANG, C. C., PRASHER, S. O., LANDRY, J. A., PERRET, J. AND RAMASWAMY, H. S., Recognition of weeds with image processing and their use with fuzzy logic for precision farming, **Canadian Agricultural Engineering**, 42 (4), pp. 195-200, 2000.