

# Uso de imagens digitais obtidas com câmeras para analisar plantas

## Use of digital images taken with camera for plant analysis

Julierme Z. Barbosa\*, Rangel Consalter, Volnei Pauletti e Antonio C. V. Motta

Universidade Federal do Paraná (UFPR), Setor de Ciências Agrárias (SCA), Departamento de Solos e Engenharia Agrícola (DSEA). Rua dos Funcionários 1540, 80035-050, Curitiba/PR, Brasil.  
(\*E-mail: barbosajz@yahoo.com.br)  
<http://dx.doi.org/10.19084/RCA15006>

Recebido/received: 2015.01.20

Recebido em versão revista/received in revised form: 2015.05.12

Aceite/accepted: 2015.06.02

### Resumo

Análises visuais de plantas são realizadas pelo homem de forma empírica desde os primórdios da agricultura. Atualmente, com o advento de câmeras digitais (RGB, multiespectro, hiperespectro e térmicas) o uso de imagens ganha impulso como instrumento de avaliação de plantas. A utilização de câmeras digitais para análise de plantas é um método não destrutivo, rápido e reproduzível, com a possibilidade de armazenamento das imagens em bancos de dados para avaliações futuras. Diagnoses visuais de imagens podem apresentar reduzidas possibilidades de extração de informações, assim, torna-se importante a utilização de programas para analisar questões de interesse em uma imagem. Quando não há um programa específico para a análise de determinada imagem é necessária maior manipulação, geralmente envolvendo transformação de formato, edição, análise em programas comuns e digitação de dados, assim, a utilização de programas específicos se faz necessária para facilitar o processo de aquisição e análise dos dados. A análise de plantas através de imagens tem sido realizada em todos os órgãos vegetais, em escalas que variam de micro até macroscópica e em ambientes diversificados. Desse modo, esta revisão de literatura visa buscar o estado da ciência da análise de plantas por imagens digitais.

**Palavras chave:** estresse abiótico, estresse biótico, método não-destrutivo, produção vegetal.

### Abstract

Plant visual analysis is performed empirically by man since the dawn of agriculture. Currently, the advent of digital cameras (RGB, multispectral, hyperspectral and thermal) using images gains momentum as an evaluation tool. The use of digital cameras for plant analysis is a non-destructive, rapid and reproducible method, with the possibility of stock images in a database for future evaluations. Visual diagnoses of images may have limited scope for extraction of information so it becomes important to use software to discuss issues of interest in an image. When there is no specific software for the analysis of certain larger image, manipulation is required, usually involving format transformation, editing, analysis on common software and data entry, thus the specific software is necessary to facilitate the acquisition and data analysis. The analysis of plants through images has been held in all plant organs, on scales ranging from micro to macroscopic and in diverse environments. Thus, this literature review aims to get the science state of plant analysis by digital images.

**Keywords:** abiotic stress, biotic stress, non-destructive method, plant yield.

## INTRODUÇÃO

A análise das plantas pelo homem não tem uma origem exata, mas provavelmente passou a ser mais importante a partir do cultivo das plantas, com a observação do comportamento e da produção vegetal

em função da variação de fatores bióticos e abióticos. Apesar de simples, essa análise inicial serviu de esteio e tem impulsionado o desenvolvimento da técnica até a situação contemporânea. Em relação à aquisição de informações acerca de plantas são comumente utilizados métodos destrutivos, como

a determinação dos teores de nutrientes em folhas (Martins e Reissmann, 2007) e não destrutivos, como a estimativa do estado nutricional de nitrogênio através de clorofilômetro (Barbieri Junior *et al.*, 2012). Os métodos não destrutivos apresentam a possibilidade de se avaliar comportamentos vegetais ao longo do tempo em um mesmo indivíduo ou em um grupo de indivíduos. Dessa forma, pode-se reduzir a influência das variações genéticas e ambientais existentes entre diferentes unidades experimentais, que seria fator obrigatório no caso de métodos destrutivos para avaliações temporais.

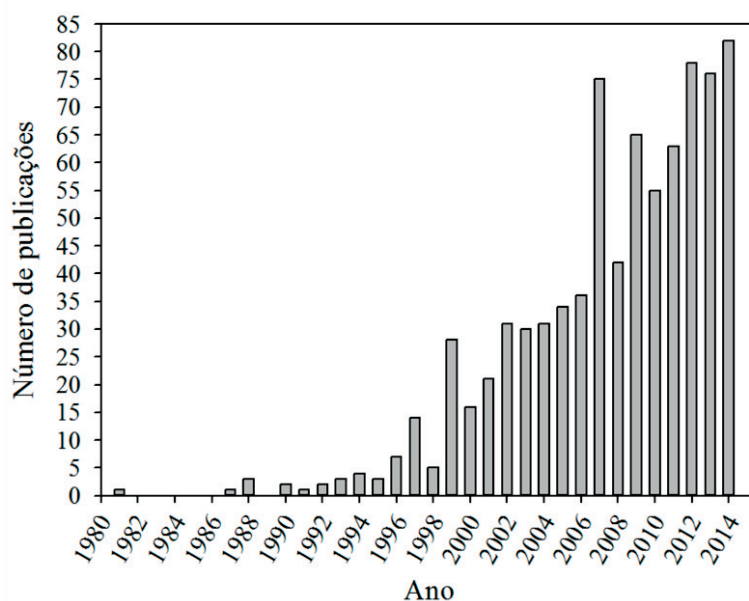
Um dos métodos de características não destrutivas refere-se ao uso de imagens obtidas com câmera. Imagens foram utilizadas pela primeira vez para avaliar o efeito da aplicação do fitohormônio etileno sobre a altura de plântulas de aveia e ervilha (Van Der Laan, 1934). Atualmente, com o advento dos computadores e das câmeras digitais, o uso de imagens digitais tornou-se mais difundido em função da praticidade e acessibilidade. Uma pesquisa na base de dados *Web of Science* com o conjunto de palavras-chave '*digital image camera plant*' (Figura 1) revelou que os primeiros trabalhos datam do ano de 1980 e que as publicações aumentaram significativamente nos últimos anos, evidenciando o interesse da aplicação desta tecnologia à ciência das plantas. As câmeras digitais permitem a aquisição de imagens com elevada eficiência, uma vez que captam imagens de forma rápida, exata e reproduzível. Tais imagens podem compor um banco de dados possibilitando o monitoramento do evento

estudado e avaliações futuras sob novas perspectivas ou simplesmente disponibilização de imagens para comparação visual (Eliceiri *et al.*, 2012). Todavia, é importante frisar que apesar das imagens digitais conterem informações importantes *per se*, estas ficam a julgamento do observador, o que pode conduzir a perda de informações valiosas e a conclusões equivocadas. Portanto, para o uso de imagens digitais é imprescindível o auxílio de programas computacionais, uma vez que ampliam as possibilidades de extração de informações (French *et al.*, 2009; ElMasry *et al.*, 2009). Em tempo, as imagens digitais também podem ser obtidas através de escâner e na forma de vídeo.

Esta revisão de literatura visa buscar o estado da ciência da análise de plantas por imagens digitais obtidas com câmeras.

## AQUISIÇÃO DE IMAGENS DIGITAIS COM CÂMERAS

Para melhor compreensão da aquisição de imagens é necessário primeiramente abordar os conceitos de refletância e fluorescência e o sistema de cores para imagens digitais. A refletância é a razão entre o fluxo de radiação que incide na superfície de um corpo e o fluxo de radiação que é refletido. É através deste fenômeno que o olho capta a radiação com comprimento de onda entre 400 e 700 nm (luz visível) que é refletida. Por outro lado, a fluorescência é um fenômeno onde a radiação é absorvida



**Figura 1** - Número de publicações encontradas na base de dados Web of Science® utilizando a combinação de palavras-chave '*digital image camera plant*'.

em um comprimento de onda e imediatamente reemitida num comprimento de onda maior (menos energético). Por exemplo, exposição a raios ultravioleta (UV) e emissão de raios infravermelhos (IV) (Jones e Vaughan, 2010).

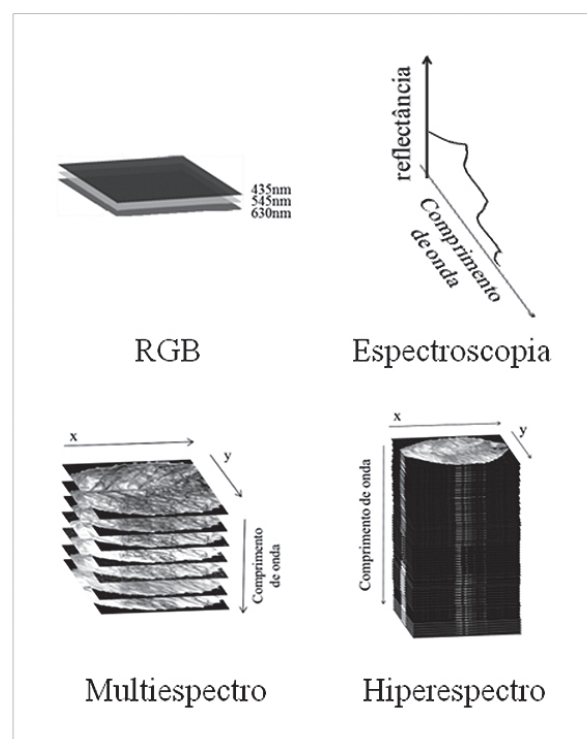
A unidade básica das imagens digitais é chamada de pixel, que é o menor ponto que compõe uma imagem digital que contém cor, sendo que o conjunto de milhares de pixels forma a imagem inteira. Na prática, o número de pixels de uma imagem depende do número de unidades fotossensíveis no sensor da câmera. A resolução pode ser apresentada fazendo-se inferência à proporção de pixels na largura e altura de uma imagem digital (ex. 1280 x 720), onde o primeiro número e o segundo representam o número de pixels em cada coluna e linha respectivamente. No entanto, a resolução também pode ser representada pelo produto dos dois valores (número total de pixels na imagem) – ex. imagem de 1 megapixel (um milhão de pixels).

Para a apresentação de cores em sistemas digitais o principal sistema utilizado é o RGB, que é a abreviação das cores primárias: vermelho (*Red*), verde (*Green*) e azul (*Blue*) (Ricker, 2004). Nesse sistema cada pixel se caracteriza por um espaço espectro tridimensional, contendo cada uma das três cores primárias (RGB), onde a interpolação dessas três cores resulta em uma cor por pixel. As imagens digitais comumente possuem pixels onde cada uma das três cores (RGB) apresenta 256 tonalidades, assim, é possível a obtenção de mais de 16,7 milhões de cores (256 x 256 x 256). Todavia, para impressão de imagens digitais o sistema utilizado é o CMYK, onde, na prática, a tinta cor preto (K) é utilizada ao invés de se obter a mistura perfeita das três cores primárias desse sistema (CMY) de modo a resultar na cor preta (Ricker, 2004).

Existe uma gama diversificada de câmeras digitais disponível no mercado. As câmeras comuns (câmeras RGB) captam luz no espectro do visível para os humanos (400-700 nm), com dimensões espaciais X e Y. Vale frisar dois pontos sobre as câmeras comuns: celulares e *webcams* se enquadram no grupo das câmeras comuns (Guerrero *et al.*, 2012) e; estas possuem a capacidade de captar comprimentos de onda fora da luz visível, contudo, geralmente vêm de fábrica com filtros que evitam comprimentos fora do espectro visível (Sakamoto *et al.*, 2010). Isso ocorre por que esse tipo de câmera é aplicado para registrar imagens dos objetos que os humanos

visualizam, assim, outros comprimentos fora do espectro visível reduzem a qualidade das imagens. Todavia, com câmeras especiais é possível a obtenção de imagens geradas através de comprimentos de onda fora do espectro visível, do ultravioleta (200-400 nm) até o IV termal (4000-50000 nm; maioria das emissões ocorrendo entre 8000-14000 nm) (Jones e Vaughan, 2010). As câmeras multiespectrais ou hiperespectrais têm sido utilizadas para analisar plantas, sendo que as imagens além da informação espacial (X e Y) contém informação na dimensão espectral (Z), simultaneamente (Figura 2). Esses equipamentos surgem com a associação da ciência da espectroscopia com a de aquisição de imagens digitais com câmeras digitais (Bock *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2013). Em relação ao número de bandas captadas, as câmeras comuns, multiespectrais e hiperespectrais são sensíveis a três, entre três e dez e, de dezenas a centenas de bandas, respectivamente. De modo geral, as câmeras comuns são relativamente mais baratas que as câmeras térmicas, multiespectrais e hiperespectrais.

A aquisição de imagens em condições de campo no período diurno é realizada sem iluminação complementar à luz solar. Porém, a intensidade de luz e o reflexo ou sombreamento no objeto de interesse afetam a qualidade da imagem, assim, são



**Figura 2** - Representação gráfica do sistema de cores RGB, princípio da espectroscopia, imagens multiespectrais e hiperespectrais.

necessários cuidados, como ajuste do posicionamento da câmera e do objeto, uso de filtros e uso de materiais com cores de referência. Todavia, quando a aquisição da imagem é realizada no período noturno, ou as imagens são obtidas em laboratório o *flash* embutido na própria câmera pode ser útil (Sakamoto *et al.*, 2010). Para análises mais refinadas são escolhidos dispositivos extras de iluminação, destacadamente lâmpadas, diodos emissores de luz ou LEDs (do inglês *Light Emitting Diode*) e *lasers* (Lenk *et al.*, 2007).

Na aquisição de imagens podem ser utilizados filtros, que tem como funcionalidade atenuar determinados comprimentos de onda e transmitir outros. Estes são alocados para filtrar a radiação da fonte emissora ou da fonte de refletância ou fluorescência, assim, variam com o tipo de avaliação em questão (Fuentes *et al.*, 2010; Stephan *et al.*, 2011). Em avaliações por fluorescência os filtros são indispensáveis para evitar o que se chama de pseudo-fluorescência, que pode ocorrer quando a fonte emissora de energia não tem comprimento de onda definido (Chaerle *et al.*, 2007). Já o uso de filtros polarizadores, que são acoplados na frente da lente, é uma ferramenta interessante para reduzir o reflexo, que interfere na qualidade da imagem, sobretudo em condições de campo. Atualmente esses filtros são comumente utilizados por fotógrafos profissionais. Por outro lado, nas câmeras multiespectrais e hiperespectrais o uso de filtros adicionais depende da técnica de aquisição da imagem (Li *et al.*, 2013).

O modo mais corriqueiro para a aquisição de imagens digitais ocorre por meio do acionamento manual das câmeras, tanto no equipamento isolado como quando está interligado num computador (Monte *et al.*, 2007; ElMasry *et al.*, 2009). Entretanto, a aquisição de imagens por mecanismos automáticos é uma realidade. Neste sentido, Hartmann *et al.* (2011) apresentaram um sistema automatizado com capacidade de aquisição de imagens com vista lateral e superior em 312 vasos (um vaso por vez). Por outro lado, o acionamento automático também é utilizado quando câmeras são acopladas em veículos aéreos não tripulados (VANT), possibilitando a avaliação de culturas em condição de campo (Berni *et al.*, 2009; Ballesteros *et al.*, 2014).

## PROGRAMAS PARA ANÁLISES DE IMAGENS DIGITAIS

Os programas computacionais são importantes para a análise de plantas após a fase de aquisição de imagens, de maneira que as rotinas de processamento são variáveis (Ricker, 2004; Eliceiri *et al.*, 2012). Em geral, pode-se dizer que análises num estágio inicial de desenvolvimento técnico requerem maior manipulação até a obtenção de informações numéricas, principalmente quando ainda não existe um programa computacional específico para aquele tipo de análise. A maior manipulação envolve, por exemplo, transformação de formato (JPEG, GIF, TIFF, RAW), edição (correções, recortes, mudança de coloração), análise em programas comuns (Corel Photo Paint, Photoshop) e digitação de dados (Bock *et al.*, 2010; Lima *et al.*, 2012). Por outro lado, quando programas específicos estão disponíveis a manipulação é reduzida e a capacidade de extração de dados é ampliada (Lenk *et al.*, 2007).

O interesse ascendente pelo uso de imagens digitais tem impulsionado o desenvolvimento de programas computacionais específicos para análise de plantas, neste sentido, são comercializados ou disponibilizados gratuitamente diversos programas (Bock *et al.*, 2010; Eliceiri *et al.*, 2012). Recentemente, foi criado um banco internacional de programas para análise de imagens digitais, no qual atualmente constam informações de mais de 131 programas (comercializáveis ou livres) para análise de imagens obtidas com câmeras comuns. Nesse banco estão listados programas para análise de todos os órgãos vegetais, sendo que através de ferramentas de busca o usuário pode encontrar o programa mais apropriado para o seu tipo de análise. Em adição, a navegação pela página (<http://www.plant-image-analysis.org/>) desse banco de programas contribui para conhecer as aplicações mais utilizadas das imagens digitais para analisar plantas (Lobet *et al.*, 2013; Lobet, 2015).

O software ImageJ (anteriormente chamado NIH Image) é um programa de processamento de imagens digitais (obtidas com câmera ou escâner) de domínio público, escrito em Java e desenvolvido no *National Institutes of Health*. Possui arquitetura aberta, o que possibilita o desenvolvimento de *plug-ins* e macros (Schneider *et al.*, 2012). Já foram desenvolvidos milhares de *plug-ins* e macros para o ImageJ, com aplicação em áreas variadas. Na análise de plantas, o ImageJ, por si só, é capaz de determinar comprimento, formato, cor e superfície foliar, com nível de automação dependente da variável a ser obtida.

Para a interpretação das imagens obtidas com câmeras multi e hiperespectral existem programas específicos, gratuitos e comercializados. O principal programa para interpretação de imagens com ampla dimensão espectral (câmeras multi e hiperespectrais) possivelmente seja o MATLAB®. É um programa voltado para cálculo numérico que foi construído em linguagem própria e possui arquitetura formada por caixas de ferramentas, que podem ser desenvolvidas por terceiros (assim como *plug-ins* para ImageJ) (Grahm e Geladi, 2007).

## APLICAÇÃO DE IMAGENS DIGITAIS PARA ANÁLISE DE PLANTA

A análise de plantas através de imagens digitais tem sido praticada em todos os órgãos vegetais (Adamsen *et al.*, 2000; ElMasry *et al.*, 2009; French *et al.*, 2009; Fuentes *et al.*, 2010; Sakamoto *et al.*, 2010), em escalas que variam de micro até macroscópica (centímetros até vários metros) (Compant *et al.*, 2010; Rorie *et al.*, 2011) e em diferentes ambientes como laboratório (ElMasry *et al.* (2009), câmaras de crescimento (Navarro *et al.*, 2012), casa de vegetação (Landi *et al.*, 2013) e campo (Monte *et al.*, 2007).

**Quadro 1** - Análise de plantas através de imagens digitais obtidas com câmeras e fatores energéticos e de iluminação envolvidos

Fonte de radiação	Banda <sup>1</sup>	Processo físico	Atributo analisado	Fonte
Câmeras comuns				
Solar	Visível	Refletância visível	Dossel arbóreo	Monte <i>et al.</i> (2007)
Solar	Visível	Refletância visível	Número de flores	Adamsen <i>et al.</i> (2000)
Solar	Visível	Refletância visível	Coloração foliar	Rorie <i>et al.</i> (2011)
Laser	Visível (473 nm)	Fluorescência visível	Infecção bacteriana	Pereira <i>et al.</i> (2011)
Lâmpada fluorescente	Visível	Refletância visível	Fenótipo de raízes	Iyer-Pascuzzi <i>et al.</i> (2010)
Flash (campo à noite)	Visível	Refletância visível	Crescimento	Sakamoto <i>et al.</i> (2010)
Câmeras de amplo espectro				
Solar	Visível	Refletância 400-1000 nm	Estresse hídrico	Römer <i>et al.</i> (2012)
LED	Visível	Fluorescência 750-1400 nm	Fotossíntese	Landi <i>et al.</i> (2013)
Lâmpada halogênio	Visível	Refletância 450-930 nm	Danos patógenos/insetos	Qin <i>et al.</i> (2009)
LED	UV	Fluorescência 680-780 nm	Contaminantes em frutas	Yang <i>et al.</i> (2012)
Câmeras térmicas				
- <sup>2</sup>	-	Radiação IV 8-14 µm	Infecção virótica	Chaerle <i>et al.</i> (1999)
-	-	Radiação IV 8-14 µm	Estresse hídrico	Jones (1999)

<sup>1</sup> Considera-se luz visível como principal, contudo outros comprimentos de onda estão envolvidos; <sup>2</sup> Na análise através de radiação infravermelha a energia de entrada e a iluminação não são intrínsecas.



O Quadro 1 apresenta alguns atributos analisados em plantas, bem como as principais características envolvidas nos estudos.

## ANÁLISE DE FATORES BIÓTICOS

Com relação a fatores bióticos que afetam a produção vegetal as imagens digitais vêm sendo amplamente aplicadas para a análise de interações com patógenos e com microrganismos benéficos. Em contraste, avaliações relacionadas com insetos são menos usuais.

Devido o aparecimento de sintomas decorrentes da infecção por patógenos ou ataque por insetos, é possível utilizar imagens obtidas com câmeras comuns para mensurar a área dos sintomas em relação à área total de determinado órgão vegetal. Analisando a taxa de expansão (área com sintomas em função do tempo) da mancha marrom (*Bipolaris sorokiniana*) em folhas de oito cultivares de trigo (*Triticum aestivum*) através de imagens digitais, Prates & Fernandes (2001) destacam a capacidade da técnica em identificar cultivares com resistência. Já Vicent *et al.* (2007) aplicaram o mesmo tipo de análise (área infectada x área total) para avaliar a ação fungicida de produtos no controle de *Alternaria alternata* em folhas de tangerina (*Citrus reticulata*), verificando boa precisão da análise por imagens digitais para selecionar os fungicidas mais eficientes.

Outra possibilidade de aplicação de imagens digitais obtidas com câmeras comuns foi demonstrada por Pereira *et al.* (2011), analisando uma das principais doenças da citricultura, o *greening*. Os autores aplicaram luz UV em folhas *in natura* de laranja (*Citrus sinensis*) e tomaram imagens a partir de câmera acoplada em um estereomicroscópio, constatando que a coloração da fluorescência emitida em resposta à luz UV diferiu entre as folhas saudáveis (verde escuro) e aquelas infectadas (verde claro). A técnica demonstrou ser uma alternativa viável em relação às técnicas tradicionalmente utilizadas, sendo mais precisa que a inspeção visual e mais rápida e barata que a análise por DNA. Em adição, foi possível identificar folhas infectadas após um mês da inoculação com a bactéria *Candidatus Liberibacter asiaticus* (um dos agentes causais do *greening*), ou seja, dois meses antes da detecção através da inspeção visual.

Para o estudo dos microrganismos benéficos às

plantas são empregados, em conjunto, microscópios com câmeras acopladas e lâmpadas ou *laser*. Nesse sentido, se destaca a obtenção de imagens de microrganismos no meio endofítico, especialmente analisando locais e formas de colonização dos tecidos vegetais. Ainda, esse tipo de avaliação também é aplicado ao estudo de microrganismos patogênicos (Compant *et al.*, 2010). Contudo, estruturas macroscópicas, como os nódulos radiculares (decorrente da associação com bactérias fixadoras de N) em leguminosas, também podem ser quantificados de forma rápida com a análise de imagens, como demonstrado por Barbedo (2012).

Por outro lado, Chaerle *et al.* (1999) revelam a capacidade de imagens obtidas na região do infravermelho termal de indicar zonas quentes em folhas de tabaco (*Nicotiana tabacum*) apenas 34 h após o contato com o vírus do mosaico (TMV). No mesmo sentido, imagens termais demonstram grande utilidade prática na identificação de árvores com podridões internas, uma vez que a avaliação da sanidade de troncos de árvores é realizada através da retirada de amostras destrutivas, o que é desgastante quando se tem a necessidade amostrar um grande número de árvores. Testes em diversas espécies revelam a eficiência de detecção de podridões, desde que a superfície da árvore não esteja úmida ou sob a incidência direta da luz solar (Catena e Catena, 2008). Ainda, a partir de imagens hiperespectrais Qin *et al.* (2009) foram capazes de diferenciar uma gama de sintomas em frutos de laranja, incluindo danos causados por patógenos e por insetos.

## ANÁLISE DE FATORES ABIÓTICOS

A redução da cor verde das folhas em resposta à carência de N favorece o emprego de imagens no espectro visível (400-700 nm) para análise do estado nutricional. Pesquisas indicam similaridade entre índices obtidos a partir dessas imagens e os teores de N e de clorofilas (Rorie *et al.*, 2011; Gupta *et al.*, 2013). Essas análises já são aplicadas em condições de campo para inferir sobre a necessidade de adubação nitrogenada, dado que recentemente foi desenvolvido um programa específico para aparelhos celulares e *Ipads* chamado FieldScout GreenIndex®, que apresenta um algoritmo baseado nas equações e formas de correção do fator luminosidade conforme Rorie *et al.* (2011). Já para diagnosticar a carência de Mg em feijoeiro (*Phaseolus*

*vulgaris*) de forma pré-simbiótica, Chaerle *et al.* (2007) utilizaram imagens obtidas com câmera térmica. Apesar desse tipo de análise ser útil em diagnosticar com antecedência o efeito da carência, não permite diagnosticar qual nutriente está alterando o metabolismo da planta.

Além de análises do estado nutricional, destacam-se também avaliações relacionadas à disponibilidade de água para as plantas. A distribuição do sistema radicular de cajueiro no perfil (3,2 m x 1,4 m) de solo com e sem irrigação foi determinada por Boni *et al.* (2008), a partir de imagens digitais. Jones (1999) reporta rápida determinação do estresse hídrico em feijoeiro a partir de câmeras térmicas, uma vez que a redução na transpiração causou aumento na temperatura foliar. Não obstante, a diagnose precoce de estresse hídrico também pode ser realizada com uma câmera hiperespectral (Römer *et al.*, 2012). Os autores reportam que através de índices obtidos com diferentes comprimentos de onda (400-1000 nm) foi possível detectar o estresse hídrico em cevada (*Hordeum vulgare*) e milho (*Zea mays*) e, diferenciar a resposta do milho ao estresse hídrico quando ocorre concomitantemente estresse nutricional.

## ANÁLISE BIOMÉTRICA

Para avaliações biométricas as imagens obtidas com câmeras comuns são as mais utilizadas, sendo que em relação às aplicações, destacam-se aquelas onde o acesso à planta é difícil ou a aquisição de dados por outras vias requer muito trabalho.

Frente ao elevado custo de aparelhos capazes de determinar o dossel de árvores, Monte *et al.* (2007) encontraram na análise por imagens uma técnica alternativa, economicamente mais viável. Para tanto, os autores se valeram do contraste entre a tonalidade escura, representada pelos elementos do dossel com a tonalidade mais clara da porção de céu visível entre o dossel e da seleção de comprimentos de onda (banda azul; tirar interferência do excesso de luz e de nuvens) para obter um índice de cobertura de dossel. Enquanto Guerrero *et al.* (2012) determinaram a área foliar utilizando imagens tomadas com câmeras comuns (semi-profissional, celular e *webcam*). Já em análises radiculares, Iyer-Pascuzzi *et al.* (2010) diferenciaram fenotipicamente genótipos de arroz (*Oryza sativa*) a partir de um índice de arquitetura radicular

(considera 16 características biométricas) obtido de 2.297 imagens digitais. Além disso, Adamsen *et al.* (2000) e ElMasry *et al.* (2009) utilizaram imagens para a contagem do número de pequenas flores e para verificar o formato de sementes de amendoim, respectivamente.

O uso de imagens digitais para o monitoramento do desenvolvimento fenológico das culturas em condição de campo vem despertando interesse. Sakamoto *et al.* (2010) tomaram imagens (dia e noite) ao longo do ciclo biológico do arroz e da cevada e, criaram índices vegetativos que permitem estimar o efeito de variações sazonais no crescimento das culturas. Monitoramento de lavouras também tem sido realizado em análises de imagens digitais aéreas, obtidas com câmeras acopladas em VANTs. Ballesteros *et al.* (2014) verificou que para VANT tipo *drone* câmeras comuns foram mais adequadas que câmera multiespectral (equipamento mais pesado reduzindo o tempo de voo) para obter imagens digitais de lavouras de milho e cebola (*Allium cepa*). Em contraste, utilizando VANT tipo avião, instrumento mais robusto, em sobrevoo de pomares, Berni *et al.* (2009) não relataram os mesmos problemas com o uso de câmera multiespectral e câmera térmica.

## CONCLUSÕES

A utilização de imagens digitais obtidas com câmeras para analisar plantas é uma ferramenta poderosa. Há inúmeras possibilidades de avaliação de plantas através de imagens digitais, nesse sentido, a aquisição-obtenção de dados numéricos varia com a câmera utilizada e com o aperfeiçoamento da técnica de análise da imagem digital. Os programas específicos para a análise de plantas via imagens abrem muitas possibilidades de avaliação, com eles também é possível processar um grande número de amostras à fim de responder questionamentos que assim exigem. Vale ressaltar a importância da geração de metodologias de avaliação de plantas por imagens digitais com possibilidade de utilização na agricultura. Nesse sentido, aplicativos para análise de plantas em celulares e *Ipads* e, câmeras acopladas em *drones*, pela praticidade e facilidade de difusão, apresentam para os próximos anos forte tendência de incremento de utilização.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adamsen, F J.; Coffelt, T A.; Nelson, J.M.; Barnes, E.M. e Rice, R.C. (2000) - Method for using images from a color digital camera to estimate flower number. *Crop Science*, vol. 40, n. 3, p. 704-709. <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2000.403704x>
- Ballesteros, R.; Ortega, J.F.; Hernández, D. e Moreno, M.A. (2014) - Applications of georeferenced high-resolution images obtained with unmanned aerial vehicles. Part I: Description of image acquisition and processing. *Precision Agriculture*, vol. 15, n. 6, p. 579-592. <http://dx.doi.org/10.1007/s11119-014-9355-8>
- Barbedo, J.G.A. (2012) - Method for automatic counting root nodules using digital images. In: *Proceedings of 2012 12th International Conference on Computational Science and Its Applications*. IEEE Computer Society, Washington, USA. p. 159-160. <http://dx.doi.org/10.1109/ICCSA.2012.39>
- Barbieri Junior, E.B.; Valéria, R.O.P.R.; Silva, R.V.M.M.; Ribeiro, R.C. e Morenz, M.J.F. (2012) - Um novo clorofilômetro para estimar os teores clorofila em folhas do capim Tifton 85. *Ciência Rural*, vol. 42, n. 12, p. 2242-2245. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782012005000109>
- Berni, J.; Zarco-Tejada, P.J.; Suárez, L. e Fereres, E. (2009) - Thermal and narrowband multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 47, n. 3, p. 722-738. <http://dx.doi.org/10.1109/TGRS.2008.2010457>
- Bock, C.H.; Poole, G.H.; Parker, P.E. e Gottwald, T.R. (2010) - Plant disease severity estimated visually, by digital photography and image analysis, and by hyperspectral imaging. *Critical Reviews in Plant Science*, vol. 29, n. 2, p. 59-107. <http://dx.doi.org/10.1080/07352681003617285>
- Boni, G.; Costa, C.A.G.; Gondim, R.S.; Montenegro, A.A.T. e de Oliveira, V.H. (2008) - Distribuição do sistema radicular do cajueiro-anão precoce (clone CCP-09) em cultivo irrigado e sequeiro, Ceará, Brasil. *Revista Ciência Agronômica*, vol. 39, n. 1, p. 1-16.
- Catena, A. e Catena, G. (2008) - Overview of thermal imaging for tree assessment. *Arboricultural Journal: The International Journal of Urban Forestry*, vol. 30, n. 4, p. 259-270. <http://dx.doi.org/10.1080/03071375.2008.9747505>
- Chaerle, L.; Lenk, S.; Hagenbeek, D.; Buschmann, C. e Van Der Straeten, D. (2007) - Multicolor fluorescence imaging for early detection of the hypersensitive reaction to tobacco mosaic virus. *Journal of Plant Physiology*, vol. 164, n. 3, p. 253-262. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jplph.2006.01.011>
- Chaerle, L.; Van Caeneghem, W.; Messens, E.; Lambers, H.; Van Montagu, M. e Van Der Straeten, D. (1999) - Presymptomatic visualization of plant-virus interactions by thermography. *Nature Biotechnology*, vol. 17, n. 8, p. 813-816. <http://dx.doi.org/10.1038/11765>
- Compant, S.; Clément, C. e Sessitsch, A. (2010) - Plant growth-promoting bacteria in the rhizo- and endosphere of plants: Their role, colonization, mechanisms involved and prospects for utilization. *Soil Biology & Biochemistry*, vol. 42, n. 5, p. 669-678. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.11.024>
- Eliceiri, K.W.; Berthold, M.R.; Goldberg, I.G.; Ibáñez, L.; Manjunath, B.S.; Martone, M.E.; Murphy, R.F.; Peng, H.; Plant, A.L.; Roysam, B.; Stuurman, N.; Swedlow, J.R.; Tomancak, P. e Carpenter, A.E. (2012) - Biological imaging software tools. *Nature Methods*, vol. 9, n. 7, p. 697-710. <http://dx.doi.org/10.1038/nmeth.2084>
- ElMasry, G.; Radwan, S.; ElAmir, M. e ElGamal, R. (2009) - Investing the effect of moisture content on some properties of peanut by aid of digital image analysis. *Food and Bioproducts Processing*, vol. 87, n. 4, p. 273-281.
- French, A.; Ubeda-Tomás, S.; Holman, T.J.; Bennett, M.J. e Pridmore, T. (2009) - High-throughput quantification of root growth using a novel image-analysis tool. *Plant Physiology*, vol. 150, n. 4, p. 1784-1795. <http://dx.doi.org/10.1104/pp.109.140558>
- Fuentes, S.; Sullivan, W.; Tilbrook, J. e Tyerman, S. (2010) - A novel analysis of grapevine berry tissue demonstrates a variety-dependent correlation between tissue vitality and berry shrivel. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, vol. 16, n. 2, p. 327-336. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1755-0238.2010.00095.x>
- Grahn, H. e Geladi, P. (2007) - *Techniques and applications of hyperspectral image analysis*. John Wiley & Sons.
- Guerrero, N.R.; Quintero, M.A.O. e Naranjo, J.C.P. (2012) - Determinación del área foliar en fotografías tomadas con una cámara web, un teléfono celular o una cámara semiprofesional. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, vol. 65, n. 1, p. 6399-6405.
- Gupta, S.D.; Ibaraki, Y. e Pattanayak, A.K. (2013) - Development of a digital image analysis method for real-time estimation of chlorophyll content in micropropagated potato plants. *Plant Biotechnology Reports*, vol. 7, n. 1, p. 91-97.



- <http://dx.doi.org/10.1007/s11816-012-0240-5>  
Hartmann, A.; Czauderna, T.; Hoffmann, R.; Stein, N. e Schreiber, F. (2011) - HTPPheno: An image analysis pipeline for high-throughput plant phenotyping. *BMC Bioinformatics*, vol. 12, p. 148. <http://dx.doi.org/10.1186/1471-2105-12-148>
- Iyer-Pascuzzi, A.S.; Symonova, O.; Mileyko, Y.; Hao, Y.; Belcher, H.; Harer, J.; Weitz, J.S. e Benfey, P.N. (2010) - Imaging and analysis platform for automatic phenotyping and trait ranking of plant root systems. *Plant Physiology*, vol. 152, n. 3, p. 1148-1157. <http://dx.doi.org/10.1104/pp.109.150748>
- Jones, H.G. (1999) - Use of thermography for quantitative studies of spatial and temporal variation of stomatal conductance over leaf surfaces. *Plant, Cell & Environment*, vol. 22, n. 9, p. 1043-1055. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-3040.1999.00468>
- Jones, H.G. e Vaughan, R.A. (2010) - *Remote sensing of vegetation: Principles, techniques, and applications*. Oxford University Press, 384 p. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.08.008>
- Landi, M.; Pardossi, A.; Remorini, D. e Guidi, L. (2013) - Antioxidant and photosynthetic response of a purple-leaved and green-leaved cultivar of sweet basil (*Ocimum basilicum*) to boron excess. *Environmental and Experimental Botany*, vol. 85, p. 64-75. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jxb/erl207>
- Lenk, S.; Chaerle, L.; Pfündel, E.E.; Langsdorf, G.; Hagenbeek, D.; Lichtenthaler, H.K.; Van Der Straeten, D. e Buschmann, C. (2007) - Multispectral fluorescence and reflectance imaging at the leaf level and its possible applications. *Journal of Experimental Botany*, vol. 58, n. 4, p. 807-814. <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/erl207>
- Li, Q.; He, X.; Wang, Y.; Liu, H.; Xu, D. e Guo, F. (2013) - Review of spectral imaging technology in biomedical engineering: achievements and challenges. *Journal of Biomedical Optics*, vol. 18, n. 10, p. 100901. <http://dx.doi.org/10.1117/1.JBO.18.10.100901>
- Lima, C.P.; Backes, C.; Fernandes, D.M.; Santos, A.J.M.; Godoy, L.J.G.; Bôas, R.L.V. (2012) - Uso de índices de reflectância das folhas para avaliar o nível de nitrogênio em grama-bermuda. *Ciência Rural*, vol. 42, n. 9, p. 1568-1574. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782012005000062>
- Lobet, G.; Draye, X. e Périlleux, C. (2013) - An online database for plant image analysis software tools. *Plant Methods*, vol. 9, p. 38. <http://dx.doi.org/10.1186/1746-4811-9-38>
- Lobet, G. (2015) - *Plant-Image-Analysis. 2015*. Online. [cit. 4-5-2015]. <http://www.plant-image-analysis.org/>
- Martins, A.P.L. e Reissmann, C.B. (2007) - Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico-analíticos. *Scientia Agraria*, vol. 8, n. 1, p. 1-17. <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v8i1.8336>
- Monte, M.A.; Reis, M.G.G., dos Reis, G.G.; Leite, H.G. e Stocks, J.J. (2007) - Métodos indiretos de estimação da cobertura de dossel em povoamentos de clone de eucalipto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 42, n. 6, p. 769-775. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007000600002>
- Navarro, P.J.; Fernández, C.; Weiss, J. e Egea-Cortines, M. (2012) - Development of a configurable growth chamber with a computer vision system to study circadian rhythm in plants. *Sensors*, vol. 12, n. 11, p. 15356-15375. <http://dx.doi.org/10.3390/s121115356>
- Pereira, F.M.; Milori, D.M.B.P.; Pereira-Filho, E.R.; Venâncio, A.L.; Russo, M.D.S.T.; Martins, P.K. e Freitas-Astúa, J. (2011) - Fluorescence images combined to statistic test for fingerprinting of citrus plants after bacterial infection. *Analytical Methods*, vol. 3, p. 552-556. <http://dx.doi.org/10.1039/c0ay00538j>
- Prates, L.G. e Fernandes, J.M.C. (2001) - Avaliando a taxa de expansão de lesões de *Bipolaris sorokiniana* em trigo. *Fitopatologia Brasileira*, vol. 26, n. 2, p. 185-191. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-41582001000200012>
- Qin, J.; Burks, T.F.; Ritenour, M.A. e Bonn, W.G. (2009) - Detection of citrus canker using hyperspectral reflectance imaging with spectral information divergence. *Journal of Food Engineering*, vol. 93, n. 2, p. 183-191. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.01.014>
- Ricker, M.D. (2004) - Pixels, Bits, and GUIs: the fundamentals of digital imagery and their application by plant pathologists. *Plant Disease*, vol. 88, n. 3, p. 228-241. <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS.2004.88.3.228>
- Römer, C.; Wahabzada, M.; Ballvora, A.; Pinto, F.; Rossini, M.; Panigada, C.; Behmann, J.; Léon, J.; Thureau, C.; Bauckhage, C.; Kersting, K.; Rascher, U. e Plümer, L. (2012) - Early drought stress detection in cereals: simplex volume maximization for hyperspectral image analysis. *Functional Plant Biology*, vol. 39, n. 11, p. 878-890. <http://dx.doi.org/10.1071/FP12060>
- Rorie, R.L.; Purcell, L.C.; Mozaffari, M.; Karcher, D.E.; King, C.A.; Marsh, M.C.; Longer, D.E. (2011) - Association of "greenness" in corn with yield and leaf nitrogen concentration. *Agronomy Journal*, vol. 103, n. 2, p. 529-535.

- <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2010.0296>  
Sakamoto, T.; Shibayama, M.; Takada, E.; Inoue, A.; Morita, K.; Takahashi, W.; Miura, S. e Kimura, A. (2010) - Detecting seasonal changes in crop community structure using day and night digital images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 76, n. 6, p. 713-726.  
<http://dx.doi.org/10.14358/PERS.76.6.713>
- Schneider, C.A.; Rasband, W.S. e Eliceiri, K.W. (2012) - NIH image to imageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*, vol. 9, n.7, p. 671-675.  
<http://dx.doi.org/10.1038/nmeth.2089>
- Stephan, D.; Slabber, C.; George, G.; Ninov, V.; Francis, K.P. e Burger, J.T. (2011) - Visualization of plant viral suppressor silencing activity in intact leaf lamina by quantitative fluorescent imaging. *Plant Methods*, vol. 7, p. 25.  
<http://dx.doi.org/10.1186/1746-4811-7-25>
- Van Der Laan, P. (1934) Influence of ethylene on growth-substance formation in avena and vicia. *Recueil des Travaux Botaniques Neerlandais*, vol. 31, p. 691-742.
- Vicent, A.; Armengol, J. e Garcia-Jimenez, J. (2007) - Rain fastness and persistence of fungicides for control of Alternaria brown spot of citrus. *Plant Disease*, vol. 91, n. 4, p. 393-399.  
<http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-91-4-0393>
- Yang, C.C.; Kim, M.S.; Kang, S.; Cho, B.K.; Chao, K.; Lefcourt, A.M. e Chan, D.E. (2012) - Red to far-red multispectral fluorescence image fusion for detection of fecal contamination on apples. *Journal of Food Engineering*, vol. 108, n. 2, p. 312-319.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.08.008>