

Tecnologias da eletrônica e da computação na recolha e integração de dados em agricultura de precisão

Electronic and computation technologies in data collection and integration in precision agriculture

Tatiana Pinho^{1,2,*}, José Boaventura-Cunha^{1,2} e Raul Morais^{1,2}

¹ Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, UTAD, Escola de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharias, Quinta de Prados, 5000-801 Vila Real, Portugal, E-mail: *al30888@utad.eu, author for correspondence

² INESC TEC, Campus da FEUP, 4200-465 Porto, Portugal.

Recebido/received: 2014.12.16

Aceite/accepted: 2015.05.20

RESUMO

O crescimento da população e consequente necessidade de alimentos, a escassez de água, o rigor das normas de qualidade e da legislação, a maior preocupação com o impacto ambiental, entre outros fatores, têm impulsionado um novo paradigma agrícola alicerçado na sustentabilidade e maior produtividade das culturas. Neste sentido, a agricultura de precisão surge como uma alternativa às técnicas tradicionais de cultivo, onde a utilização de tecnologias de informação em sistemas de apoio à decisão reduz os riscos associados às condições de cultivo, possibilitando uma gestão mais eficiente dos recursos naturais, melhorando a produtividade e minimizando os custos de operação. Este trabalho visa a revisão da utilização de algumas tecnologias de eletrônica e de computadores em sistemas de agricultura de precisão, no que concerne a técnicas de monitorização remota, redes de sensores, inspeção visual e integração de dados.

Palavras-chave: agricultura de precisão, eletrônica, integração de dados, sistemas de informação.

ABSTRACT

The population growth and consequent demand for food, water scarcity, rigid quality standards and legislation, higher concern about environmental impact, among other factors, have powered a new agricultural paradigm grounded in sustainability and higher productivity of crops. In this sense, precision agriculture is an alternative to traditional cultivation techniques, where the use of information technologies in decision support systems reduces the risks associated to cultivation conditions, enabling a more efficient management of natural resources, improving the productivity and minimizing the operation costs. This work aims the revision of some electronic and computers technologies used in precision agriculture systems, regarding remote sensing techniques, sensors networks, visual inspection and data integration.

Keywords: electronics, data integration, information systems, precision agriculture.

Introdução

O setor agrário assume um papel fundamental na sociedade atual, mesmo não representando uma elevada parcela do PIB mundial, com um máximo de aproximadamente 30% para países em desenvolvimento (FAO, 2013). Face à necessidade de suprir as necessidades alimentares de uma população em contínuo crescimento, a produção agrícola enfrenta hoje desafios exigentes. Os mais relevantes prendem-se com o uso excessivo de químicos,

a escassez de água em várias regiões, as pragas e doenças, o crescente rigor das normas de qualidade e da legislação ambiental e o aquecimento global. A preocupação pública com as questões ambientais e a gestão mais eficiente dos processos produtivos impulsionaram o desenvolvimento de um novo conceito de agricultura, designada por agricultura de precisão (AP) ou, em designações alternativas, *precision farming*, *site-specific crop ma-*

nagement ou *site-specific farming* (Cox, 2002; Zhang *et al.*, 2002; Zhang e Kovacs, 2012; Dong *et al.*, 2013). A AP conjuga a utilização de tecnologias de informação no auxílio a processos de tomada de decisão para reduzir os riscos que afetem a produtividade e os custos operacionais mantendo uma elevada eficiência devido à monitorização das variações espaciais e temporais das variáveis de interesse que, acrescida à maior exatidão da aplicação de tratamentos (Aubert *et al.*, 2012), permite reduzir e otimizar a utilização de componentes potencialmente prejudiciais minimizando o seu impacto no meio ambiente (Zhang *et al.*, 2010; Zhang e Kovacs, 2012).

Nesta evolução tecnológica, o desenvolvimento agrícola relaciona-se agora com a disponibilidade de sensores, processadores, *software*, atuadores, máquinas, entre outras tecnologias, disponíveis no mercado (Berger e Hovav, 2013), que ajudem a concretizar os objetivos principais da AP.

Neste trabalho, para além da revisão do conceito de AP apresentado no capítulo 2, são relatados no capítulo 3 alguns dos sistemas atualmente aplicados a este setor, no que se refere a técnicas de monitorização remota, redes de sensores, inspeção visual e integração de dados. Por fim, no capítulo 4, são apresentadas algumas considerações e perspectivas de desenvolvimento nesta área.

Agricultura de precisão

O aumento da utilização de fertilizantes químicos, rega e maquinaria agrícola conduziu a um consequente incremento na poluição do solo e da água, na erosão de solos e no consumo de energia. Além disso as decisões tomadas sobre processos agrícolas revelam um elevado nível de complexidade e incerteza, o que também condiciona os agricultores que raramente possuem a informação e as ferramentas necessárias para aumentar a produtividade das suas explorações agrícolas (Jiber *et al.*, 2011; Aubert *et al.*, 2012).

Paralelamente a estas questões, o conceito de agricultura sustentável envolve a procura de equilíbrio entre o maximizar da produtividade da colheita e manutenção da estabilidade económica e a minimização da utilização de recursos naturais finitos e da deterioração ambiental (Corwin e Plant, 2005).

A AP encaixa numa estratégia de gestão que utiliza tecnologias de informação para fornecer aos agricultores dados de várias fontes (sensores, modelos, previsões, etc.) que sustentem a melhor decisão quanto à gestão do processo agrícola e que possa incrementar a qualidade e quantidade da colheita com a eventual redução de fertilizantes, tratamentos, combustível, etc. (Zhang *et al.*, 2010; Mulla, 2013).

Dentro da AP, a viticultura de precisão (VP) é uma área igualmente muito promissora, tendo a sua aplicação aumentado significativamente na última década (Santesteban *et al.*, 2013). Neste setor, as novas tecnologias podem assegurar a produção de vinhos de maior qualidade, baixos custos de operação e boas colheitas, visando a maximização do potencial enológico das vinhas (Matese *et al.*, 2013). Neste domínio de aplicação, a monitorização dos terrenos e das condições da vinha, as tarefas de controlo de pragas e doenças podem ser agendadas de modo automático, sendo que a sua precisão e eficiência poderão depender da periodicidade da monitorização (Dong *et al.*, 2013).

Na monitorização das grandezas de interesse são utilizadas tecnologias de monitorização como GNSS (*Global Navigation Satellite System*), GIS (*Geographic Information Systems*), sensores para monitorização de culturas, controlo automático, computação móvel, processamento digital de imagem, telecomunicações, robótica, entre outras (Zhang *et al.*, 2002; Seelan *et al.*, 2003; Dong *et al.*, 2013; Emmi *et al.*, 2013). Na área da robótica, por exemplo, têm sido desenvolvidos robôs para o cultivo, para a colheita e a aplicação de tratamentos por pulverização salientando-se os casos da colheita de melão, a utilização de braços robóticos para desempenhar tarefas de corte e de pulverização em estufas (Emmi *et al.*, 2013).

Por outro lado, as tecnologias de aplicação recaem na sua maioria em tecnologias de aplicação variável (VRT, *Variable Rate Technology*) e estão vulgarmente associadas a equipamentos cujas entradas advêm diretamente do terreno, sendo exemplo os sistemas de navegação que orientam máquinas agrícolas ou estruturas robóticas. Neste sentido é notória a necessidade de utilizar previamente tecnologias de monitorização de modo a saber onde e quando agir (Aubert *et al.*, 2012).

A AP exige um elevado volume de dados que podem ser obtidos por técnicas de monitorização re-

mota (imagens de satélite e aéreas), ou diretamente no terreno, usando sensores e equipamentos de aquisição de dados (Camilli *et al.*, 2007). Nestes casos a obtenção e gestão de energia para o funcionamento dos dispositivos/sensores são fatores preponderantes para garantir uma operação virtualmente contínua (Pande *et al.*, 2012; Fernandes *et al.*, 2013). Os sensores sem fios são também recorrentemente utilizados na AP para a recolha de dados espacialmente distribuídos, na irrigação inteligente, nas tecnologias VRT e fornecimento de dados aos agricultores (Wang *et al.*, 2006).

Na Figura 1 é apresentado um esquema dos princípios relacionados com a AP. De um modo geral, podem indicar-se a recolha de dados relativos ao

cos, nomeadamente o custo adicional associado, a carência de educação e capacidades para dominar a tecnologia envolvida, a necessidade de desenvolvimento de mais tecnologias de apoio à AP, a falta de tempo para aprender, a falta de técnicos especializados, entre outras (Robert, 2002; Murakami *et al.*, 2007).

Estado da arte

Referem-se de seguida alguns dos trabalhos mais significativos no domínio da monitorização e que visam dar a necessária abrangência de conhecimento de aplicação destas técnicas na implementação do conceito de AP.

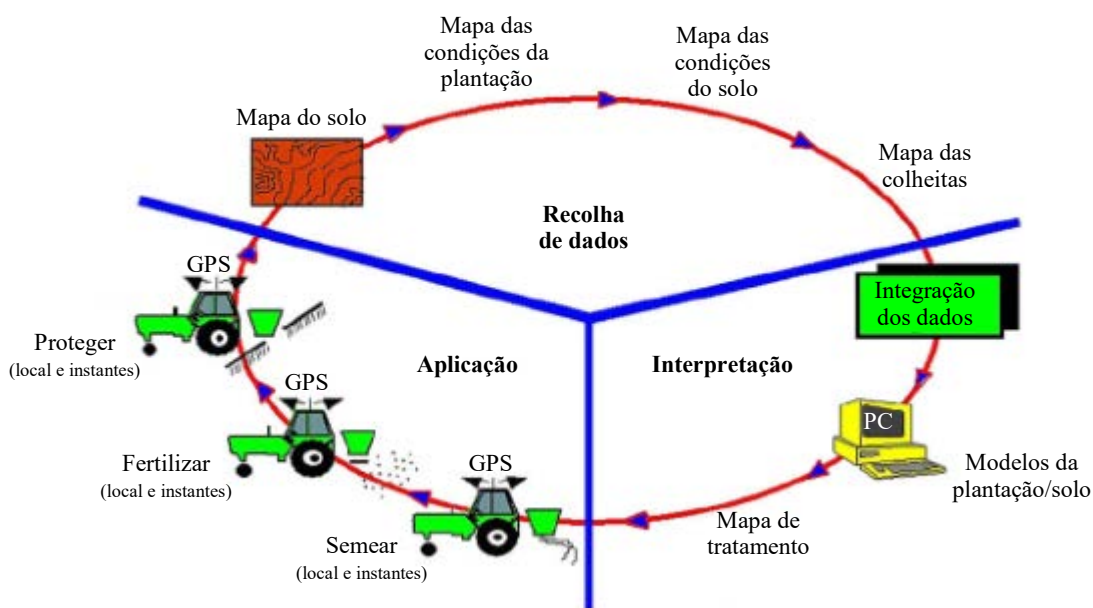


Figura 1 - Princípios subjacentes à AP (adaptado de Wrest Park History Contributors, 2009).

solo, às culturas e meteorologia, o posterior processamento da informação, culminando na identificação dos tratamentos a aplicar e dos locais e tempos indicados para os mesmos.

Apesar da disponibilidade dos componentes necessários à aplicação de técnicas de AP, desde os anos 90 que a sua inclusão e disseminação foram moderadas, não existindo atualmente um número significativo de sistemas de informação agrícola (Berger e Hovav, 2013), sendo variável de país para país e de região para região (Morais *et al.*, 2008). Algumas das razões para a sua não implementação em grande escala prendem-se com fatores sócio-económicos, agronómicos e tecnológi-

Monitorização remota

O conhecimento das variações espaciais e temporais de uma cultura necessita de um elevado volume de dados. A utilização de satélites ou de veículos aéreos não tripulados (UAV, *Unmanned Aerial Vehicle*) para monitorização remota de culturas tem sido aplicada para vastas áreas geográficas (Herwitz *et al.*, 2004) nessa tarefa. As informações obtidas por estes mapas podem ser usadas com diferentes finalidades como por exemplo a inventariação da localização e do crescimento das plantas. O sucesso desta técnica baseia-se no facto de que alterações a nível de vigor, densidade, estado hídrico e produtividade da cultura podem ser inferidas

das imagens recolhidas (Pan *et al.*, 2007; Rembold *et al.*, 2013; Eerens *et al.*, 2014).

Numa tentativa de contrariar os custos excessivos das imagens de elevada resolução espacial obtidas por aeronaves comerciais e/ou por satélites, Hunt Jr. *et al.* (2005) analisaram imagens adquiridas por aeronaves controladas por rádio de utilizadores amadores, tendo obtido resultados na estimação do estado de nutrientes em plantações de milho e da biomassa para plantações de milho, alfafa e soja.

Franke e Menz (2007) exploraram o potencial da monitorização remota multi-espectral na deteção precoce de doenças para aplicar fungicidas apenas na área infetada. A análise foi feita num campo de 6 ha de trigo de inverno, contendo todos os estágios de infeção de oídio (*Blumeria graminis*) e ferrugem da folha (*Puccinia recondita*), através de três imagens de alta resolução. As imagens foram analisadas e discriminadas em zonas com diferentes níveis de severidade da doença pela utilização de MTMF (*Mixture Tuned Mached Filtering*) e NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), sendo comparadas com os dados reais do terreno. Os resultados apresentaram uma exatidão de 56,8%, 65,9% e 88,6%, respetivamente, revelando que este método é geralmente indicado para a deteção de heterogeneidades da plantação, mas apenas moderadamente indicado para a deteção da infeção numa fase precoce.

Swain *et al.* (2007) propuseram o desenvolvimento de um sistema denominado LARS (*Low-Altitude Remote Sensing*), Figura 2, para a obtenção de imagens adaptadas ao utilizador e em tempo quase real. O sistema caracterizava-se por um equipamento de aquisição de imagem agregado a um helicóptero não tripulado, que permite uma avaliação rápida do estado da plantação e do solo.

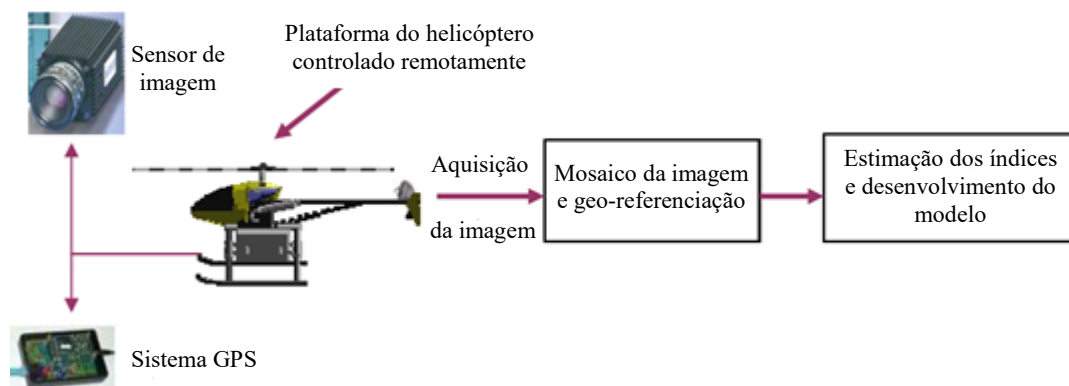


Figura 2 - Sistema LARS (Swain *et al.*, 2007).

Gay *et al.* (2009) propuseram a incorporação de UAV na AP para criação de imagens de monitorização remota de alta resolução. Estes autores desenvolveram um UAV para a elaboração de mapas NDVI em aplicações no Reino Unido. Apesar dos resultados promissores, foi identificada a necessidade de proceder a melhorias técnicas relacionadas com o sincronismo entre as câmaras e a recolha de dados mais precisos relativos à posição e altitude do UAV.

Zhang *et al.* (2010) propuseram um sistema de disseminação de dados de monitorização remota baseado na internet, designado DNGP (*Digital Northern Great Plains*), cuja arquitetura está ilustrada na Figura 3. Este sistema permite o acesso livre e em tempo quase real de imagens e produtos, e derivou da necessidade de diminuir o custo associado à monitorização remota por satélites, em aplicações de apoio à decisão dos agricultores.

Ge *et al.* (2011) realizaram uma revisão da aplicação da deteção remota à AP para a monitorização de propriedades do solo visando fornecer informações aos agricultores para uma gestão mais eficiente das culturas e a redução do impacte ambiental.

Aliado ao campo da robótica, com o objetivo de desenvolver uma ferramenta de auxílio à gestão de zona de uma vinha, Primicerio *et al.* (2012) projetaram um UAV, o VIPtero, com apenas 200 gramas. Este veículo foi equipado com uma câmara espectral de compensação de passagem e gravação para medir a reflexão da copa vegetal, tendo revelado bons resultados mas cuja aplicação está restrita a pequenas plantações.

Gonzalez-Dugo *et al.* (2013) estudaram o potencial da incorporação de um UAV na gestão de irrigação inteligente a partir da avaliação da heterogeneidade do estado da água em pomares. Neste sentido,

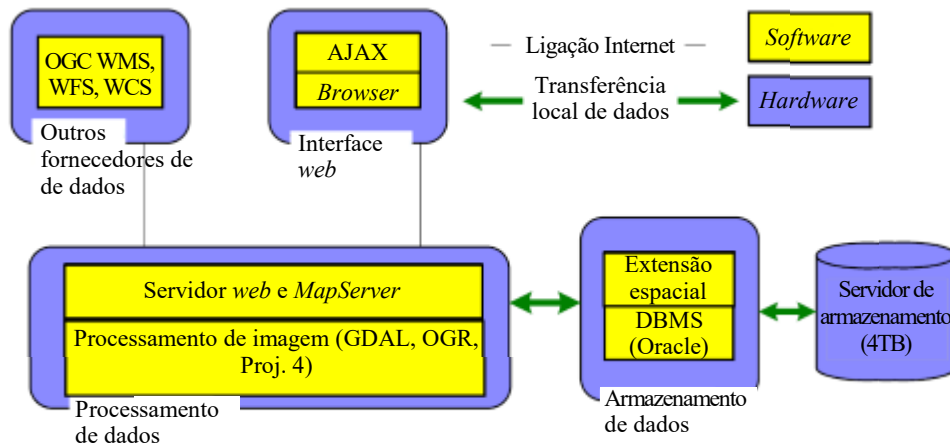


Figura 3 - Representação esquemática da arquitetura do sistema DNGP, proposto por Zhang *et al.* (2010).

um UAV com uma câmara térmica de alta resolução foi testado em julho de 2010, no sudoeste de Espanha, para inferir sobre o potencial hídrico de água dos troncos das árvores. Os ensaios realizados permitiram identificar áreas com escassez de água e definir valores limites do CWSI (*Crop Water Stress Index*), comprovando a eficiência da abordagem.

Honkavaara *et al.* (2013) também desenvolveram trabalhos relevantes no uso de UAV para monitorização remota na AP. Concretamente, integraram numa plataforma UAV de baixo peso, uma câmara espectral FPI (*Fabry-Perot interferometer-based*), para a recolha de blocos de imagens espectrométricas com sobreposições espectroscópicas. O processamento das imagens obtidas integrou abordagens fotogramétricas e monitorização remota quantitativa. Das experiências realizadas no Verão de 2012 obtiveram-se bons resultados no que concerne à estimativa da biomassa aquando da utilização de dados espectrais e aplicação de correção radiométrica.

Redes de sensores

A utilização de equipamentos automatizados na irrigação, fertilização ou controlo de pestes e doenças, requer a monitorização intensiva de condições físicas e ambientais do terreno (Sudduth *et al.*, 2001; Adamchuk *et al.*, 2004) e a comunicação desses dados para um repositório central onde são processados para originar uma resposta no tempo adequado. Neste domínio as redes sensoriais assumem um papel relevante sendo que na última década a sua utilização se expandiu de um modo apreciável à AP devido ao desenvolvimento da tecnologia e à redução dos custos associados (Roy e

Bandyopadhyay, 2008; Xiaonan e Shan, 2013; Aqeel-ur-Rehman *et al.*, 2014). Por exemplo, as redes de sensores sem fios (RSSF) têm sido utilizadas na monitorização remota e em tempo real de parâmetros relevantes em sistemas de apoio à decisão na agricultura (Matese *et al.*, 2009). De seguida serão apresentados alguns trabalhos importantes da aplicação das redes de sensores em AP.

Roy e Bandyopadhyay (2008) propuseram uma RSSF, baseada na norma IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) 802.15.4. A rede sensorial recolhe dados em tempo real de propriedades climáticas e ambientais enviando-os para um repositório central. Esta rede é composta por nós sensores, cuja localização foi escolhida com base nas propriedades a monitorizar, e por componentes de atuação sem fios para controlo da rega e da fertilização.

Morais *et al.* (2008) desenvolveram uma plataforma de apoio à viticultura de precisão designada MPWiNodeZ, sendo esta um elemento de uma RSSF IEEE 802.15.4/ZigBee. A arquitetura da rede de monitorização remota é apresentada na Figura 4. A principal característica desta plataforma prende-se com o subsistema energético que lhe confere a capacidade de armazenamento de energia a partir de fontes renováveis, dotando assim o sistema de auto-sustentabilidade energética facilitando a sua instalação. Ao ser suportado em ZigBee, a rede pode ser facilmente expandida para cobrir áreas de grande dimensão.

Matese *et al.* (2009) desenvolveram um sistema baseado em RSSF para a monitorização em tempo real de parâmetros micro-meteorológicos numa vinha, designado NAV (*Network Avanzato per il Vigneto*). O sistema é composto por duas componentes:

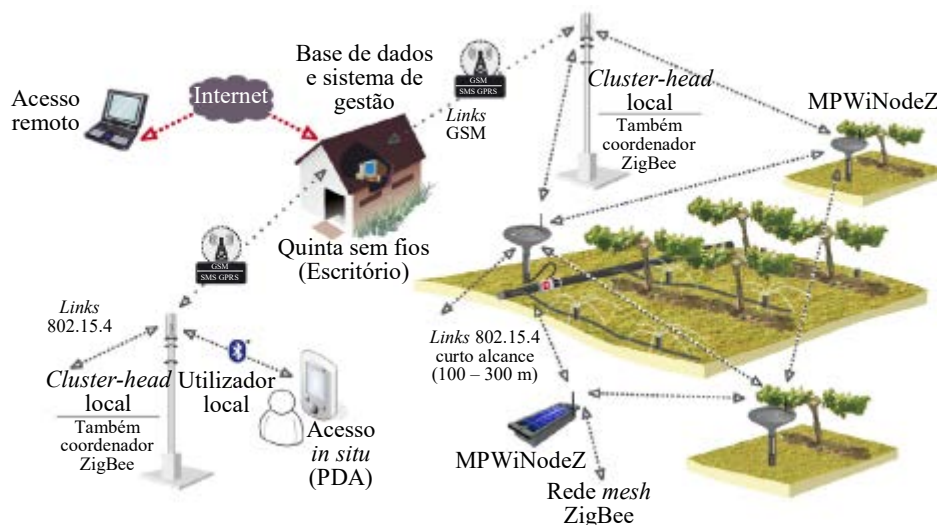


Figura 4 - Arquitetura da rede de monitorização remota proposta por Morais *et al.* (2008).

um *gateway*, localizado no exterior da vinha e responsável pela recolha dos dados agro-meteorológicos, utilizando uma tecnologia sem fios proprietária nos 433 MHz para a comunicação com os nós na vinha e com o servidor remoto central; e pelos nós, situados na própria vinha e responsáveis pela aquisição de dados agro-meteorológicos.

Com o objetivo de criar sistemas de apoio à decisão na AP e de recolha de informação de baixo custo e de fácil instalação, Jiber *et al.* (2011) desenvolveram um sistema de monitorização, o iFarm (Figura 5), também baseado em RSSF. Este sistema visou melhorar a produtividade das culturas, pela melhor gestão da água permitindo uma melhor previsão e gestão das colheitas. Com o seu trabalho, Jiber *et al.* (2011) realçam o potencial das RSSF nos sistemas de apoio à decisão, podendo aumentar a produtividade e otimizar o uso de recursos na AP.

Mittal *et al.* (2012) desenvolveram a plataforma mKRISHI, destinada à AP baseada em RSSF de baixo custo sobre um suporte de comunicação IEEE 802.15.4 e um *gateway* para a comunicação da RSSF com uma rede exterior à plantação. A robustez da plataforma desenvolvida foi comprovada pela sua aplicação em campo por um período de dois meses, tendo registado dados relativos a temperaturas e humidades do ar e do solo.

Dong *et al.* (2013) desenvolveram um sistema denominado *Wireless Underground Sensor-Aided Center Pivot* (WUSA-CP) para a monitorização das propriedades do solo, tais como o teor de água. Este sistema usa sensores subterrâneos sem fios, com vista à prática de uma gestão de rega com maior

autonomia. A realização de ensaios num sistema de irrigação de acionamento hidráulico e com um pivô central de movimento contínuo comprovou a fiabilidade do conceito do sistema. Importa salientar que estes ensaios se realizaram com o intuito de testar os modelos de canais empíricos de comunicação solo-ar, constatando-se que estes canais de comunicação são afetados por fatores como a localização e a profundidade a que se encontram os sensores, a textura do solo e as suas propriedades físicas, entre outros.

Fernandes *et al.* (2013), num seguimento do trabalho de Morais *et al.* (2008), propuseram um sistema que visa facilitar a integração de uma tecnologia *plug-and-play* em redes de sensores para aplicação à agricultura e viticultura de precisão. Esta rede sensorial é baseada na família das normas de sensores inteligentes IEEE 1451 através da proposta de uma plataforma inteligente para a aquisição de dados. Com esta plataforma visa-se lidar com os problemas da elevada quantidade e heterogeneidade de dados presente na AP e VP, provenientes comumente de redes de sensores de larga escala, e com a respetiva dificuldade de integração de tecnologias sensoriais distintas, quer pela incompatibilidade de especificações da rede e das plataformas.

Matese *et al.* (2013) propuseram uma nova RSSF para aplicações de VP. Esta rede, CrossVit, visa recolher dados de temperatura, de humidade do ar e de radiação solar destinada a apoiar a gestão dos vinhos produzidos. A rede de sensores é organizada em três níveis: o nível do *gateway*, do servidor e dos nós. A comunicação entre os *gateways* e os nós de sensores é feita sobre ZigBee e entre os *gateways*

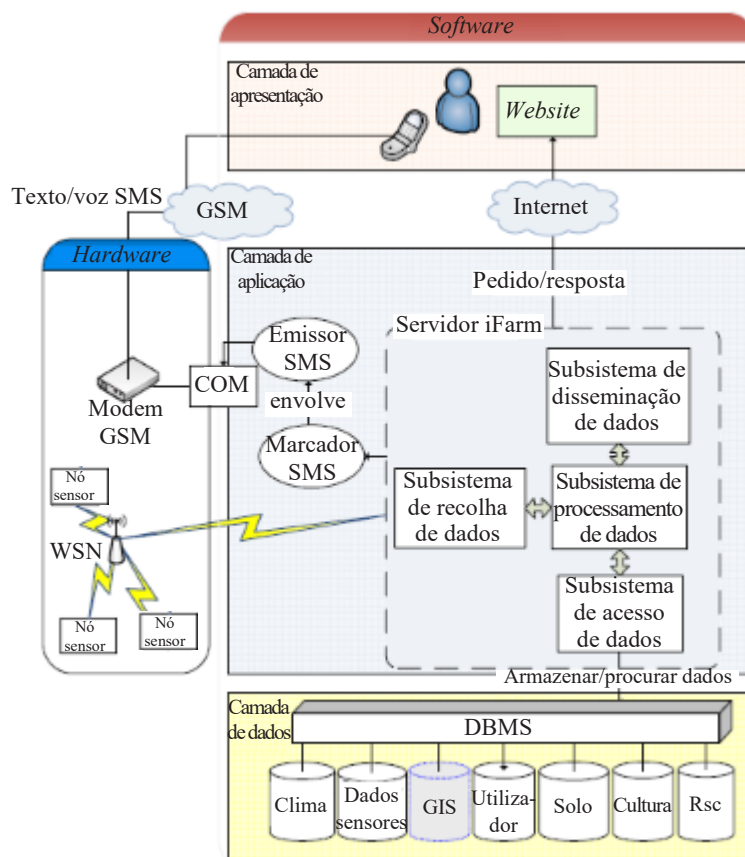


Figura 5 - Arquitetura global do iFarm (Jiber et al., 2011).

e o nível dos servidores da parcela sobre GSM/GPRS (Global System for Mobile Communications/General Packet Radio System). Esta rede foi aplicada em Itália, na monitorização de duas vinhas com diferentes tratamentos de poda, durante duas épocas de crescimento. Da avaliação do desempenho de monitorização da rede de sensores desenvolvida e recolha dos dados supracitados, comprovou-se a fiabilidade do sistema, tendo em consideração a maneabilidade, o custo, a dimensão e o consumo.

No sentido de incorporar aplicações *web*, bases de

dados, sistemas móveis e sistemas *open-source* para apoio à gestão do processo agrícola, Montoya et al. (2013) propuseram uma aplicação para Android de suporte a uma base de dados MySQL. Conforme apresentado na Figura 6, a arquitetura deste sistema é constituída, de um modo geral, por uma RSSF para recolha de dados do ambiente e, pelo servidor que recebe, armazena e disponibiliza os dados. É ainda de salientar que este sistema utiliza já o protocolo IPv6 sobre IEEE 802.15.4 (norma 6LoWPAN) de modo a assegurar conectividade IP entre todos os elementos da RSSF.

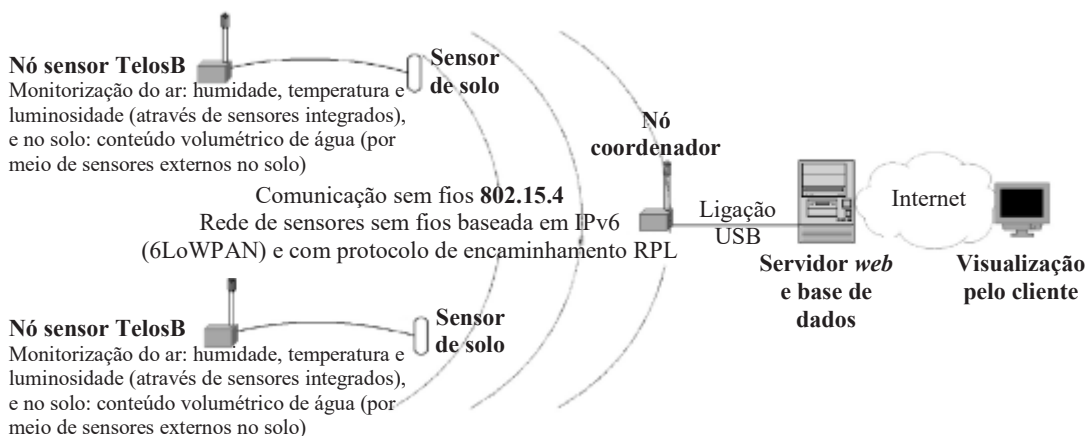


Figura 6 - Arquitetura do sistema proposto por Montoya et al. (2013).

Processamento de imagem e visão por computador

Os sistemas de processamento de imagem e visão por computador têm sido cada vez mais utilizados na área da agricultura, com fins de inspeção e avaliação visual. Alguns dos motivos para este crescimento centram-se na avaliação rápida, económica, consistente e objetiva obtida a partir destas técnicas (Brosnan e Sun, 2002). A análise de parâmetros de entrada e a realização de operações na agricultura (aplicação de fertilizantes, pesticidas, inspeção do estado de maturação de frutos, etc.) é frequentemente efetuada por peritos, sendo dispendioso em termos de preço e tempo. Assim, a aquisição e o processamento de imagem surge como uma alternativa interessante nesta área e com resultados precisos (Vidhute e Bodhe, 2012), justificando a substituição do trabalho manual repetitivo por sistemas automáticos (Jiménez *et al.*, 2000; Brosnan e Sun, 2002). De seguida são descritos alguns dos trabalhos apresentados na literatura relacionados com a aplicação destas técnicas na AP. É ainda de salientar que a aquisição e o processamento de imagens têm também sido vastamente utilizados na área da robótica (Lee *et al.*, 1999; Bengochea-Guevara *et al.*, 2014).

Com o intuito de desenvolver um método automático para análise de qualidade do arroz aquando da sua chegada às instalações de secagem, Kawamura *et al.* (2003) propuseram um instrumento de transmissão próxima dos infravermelhos (NIR). Com este instrumento é possível a obtenção do espectro NIR de arroz com casca e arroz integral húmidos, utilizando modelos de calibração para determinar o conteúdo de humidade e proteínas das amostras a partir do espectro original e análise de dados de referência. Também um segregador de luz visível (VIS) foi utilizado para os grãos de arroz integral. O sistema de inspeção automática de qualidade do arroz, constituído globalmente por um descascador de arroz, um sistema de limpeza de arroz, um instrumento NIR, um segregador VIS e um computador, revelou ser eficiente para a aplicação proposta.

Søgaard e Olsen (2003) propuseram um sistema baseado em visão por computador para deteção e localização de fileiras de plantas nos terrenos. O sistema é composto por uma câmara de vídeo RGB (*Red, Green and Blue*), orientada para o terreno de modo a obter imagens de até 5 fileiras em simul-

tâneo, e um computador que processa as imagens para determinar os movimentos laterais a implementar. Para a redução do esforço computacional, este método de processamento não inclui segmentação, sendo calculados os centros de gravidade de cada segmento de linha na imagem. A estimação da orientação e posição lateral das linhas centrais das fileiras é obtida por uma regressão linear com pesos. A previsão desta estimação resultou da comparação entre a linha central e a posição de uma *string* de referência, colocada paralelamente à fileira, alinhada com a linha central de um espaço adjacente entre fileiras. Este método foi desenvolvido com o objetivo de ser incorporado num sistema de condução autónomo em campos agrícolas para tratamento seletivo de fileiras e espaços entre fileiras.

Pan *et al.* (2007) desenvolveram um método para quantificação da cobertura vegetal a fim de compreender o funcionamento do ecossistema e prever a colheita a partir de imagens obtidas por uma câmara digital. As imagens RGB são convertidas para o espaço de cor HSI, sendo posteriormente aplicadas técnicas de segmentação de Hue para realçar as características de tecidos das plantas e identificar os tecidos verdes. Este procedimento foi aplicado em campos de trigo, tendo-se obtido resultados satisfatórios para a avaliação da cobertura vegetal.

Bakker *et al.* (2008) elaboraram um sistema de reconhecimento de fileiras baseado na transformação de Hough para escala de cinzento em imagens combinadas, para auxílio na condução de um veículo autónomo, conforme apresentado na Figura 7. O método, testado numa estufa de beterraba, permitia o processamento de imagens a uma velocidade de 0,5 a 1,3 segundos por imagem, encontrando as fileiras de plantas mesmo em várias etapas de crescimento. De um modo genérico, o processo requeria a aquisição da imagem por uma câmara RGB e a sua conversão para escala de cinzentos, com três métodos diferentes. As imagens eram depois divididas em três secções e combinadas numa imagem, permitindo continuar a ter a informação de três fileiras, mas numa menor quantidade de dados.

Com o intuito de identificar plantas e ervas em imagens agrícolas Bossu *et al.* (2008), testaram e compararam diferentes algoritmos de processamento de imagem. Para tal, de entre um conjunto de bases de



Figura 7 - Plataforma experimental utilizada no trabalho de Bakker *et al.* (2008).

wavelet, selecionaram as duas melhores e a pior para comparação com a filtragem de Gabor com base numa matriz confusão. Salienta-se que esta filtragem de Gabor foi inicialmente utilizada no desenvolvimento de um sistema de visão artificial para aplicar pulverização de precisão em tempo real.

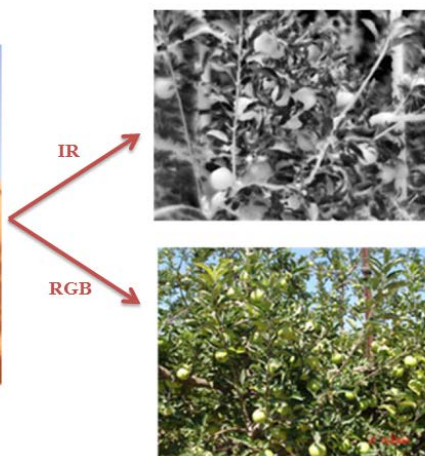


Figura 8 - Imagens infravermelhas e RGB obtidas da árvore (Wachs *et al.*, 2010).

Com o intuito de reduzir o uso de herbicidas, característica subjacente à AP, Tellaeché *et al.* (2008) criaram um método automático de visão por computador para detetar um tipo específico de erva comum em plantações de cereais, nomeadamente a *Avena sterilis*, e para pulverização diferencial para o controlo da mesma. O método proposto inclui uma fase de segmentação da imagem, em que a quantidade e distribuição da erva no solo são de-

terminadas, e uma fase de tomada de decisão para aplicação de pulverização seletiva.

Wachs *et al.* (2010) desenvolveram e testaram um sistema de visão por computador que visa a identificação de maçãs verdes na copa das árvores. Este problema revela-se particularmente complexo devido à envolvente que possui folhas igualmente de cor verde, padrões de sombreamento e ramos, o que dificulta o reconhecimento do fruto para posterior apanha automática. O sistema proposto por Wachs *et al.* (2010) utiliza imagens térmicas infravermelhas e RGB (conforme a Figura 8). A cada um dos tipos de imagens foram aplicadas duas abordagens para segmentar as maçãs do fundo, nomeadamente baseadas em características visuais de alto e baixo nível, tendo-se verificado um melhor desempenho da abordagem de baixo nível. Para além disso, foi aplicado um esquema de votação que permite reduzir o número de falsas identificações, com um impacto mínimo na qualidade de reconhecimento das maçãs.

De modo a integrar um sistema de pulverização diferencial para controlo de ervas daninhas, Burgos-Artizzu *et al.* (2011) desenvolveram um método para as distinguir da plantação, em tempo real e sob

condições não controladas da iluminação. Para que o sistema garantisse um bom desempenho sob um diversificado número de situações de operação este era composto por dois subsistemas: um de processamento de imagem rápido em tempo real (FIT, *Fast Image Processing*) e um mais lento e preciso (RCRD, *Robust Crop Row Detection*) utilizado para corrigir os erros do primeiro subsistema. Apresenta-se na Figura 9 a arquitetura do sistema proposto.

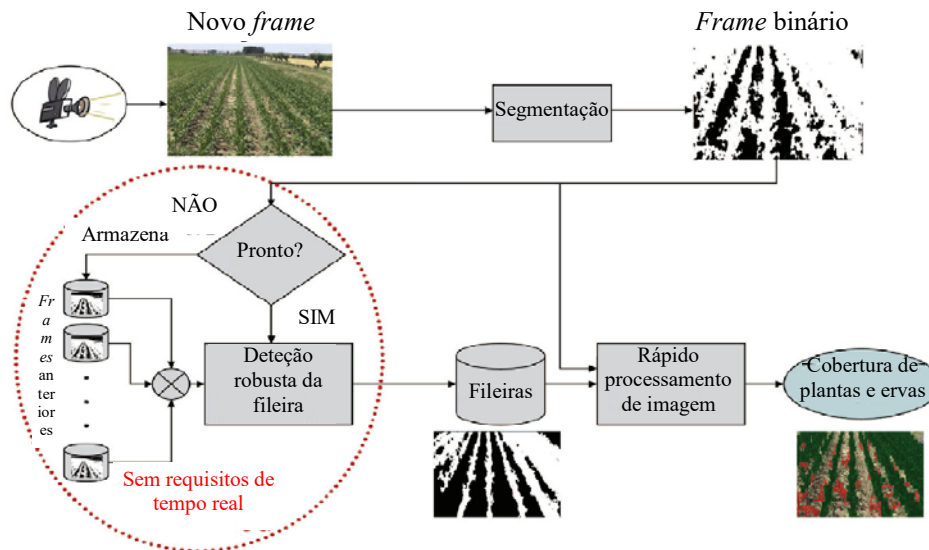


Figura 9 - Arquitetura do sistema proposto por Burgos-Artiztu *et al.* (2011).

Integração de dados

Conforme mencionado, com os elevados volumes de dados recolhidos, advém a necessidade de tratamento e interpretação dos mesmos para compreender quais os procedimentos a adotar na gestão da cultura (Murakami *et al.*, 2007). Assim sendo, os sistemas de informação desenvolvidos devem integrar os dados obtidos de forma a gerar informação útil para a concretização de uma gestão mais eficiente das culturas (Nikkilä *et al.*, 2010; Venkataramana e Padmavathamma, 2012). De seguida referem-se algumas soluções para essa integração.

Murakami *et al.* (2007) propuseram uma infraestrutura de *software* para facilitar a manipulação da elevada quantidade de dados obtidos em AP, a compreensão das causas da variabilidade e a respetiva proposta de métodos de gestão. Esta infraestrutura adota conceitos como plataformas abertas, comunicação dos dados e normas de interoperabilidade do *software*, tendo sido usada numa aplicação protótipo para a filtragem de dados referentes à produtividade.

De um ponto de vista mais teórico, Nikkilä *et al.* (2010) efetuaram um levantamento dos requisitos adicionais que um sistema de informação de gestão agrícola (FMIS, *Farm Management Information System*) deve apresentar relativamente aos sistemas tradicionais. No sentido de avaliar as potencialidades da ligação à internet destes sistemas, e portanto o seu contributo na AP, Nikkilä *et al.* (2010) complementaram o seu trabalho com a análise

de uma abordagem de ligação à internet na implementação de um sistema FMIS que verifique os requisitos descritos.

Numa tentativa de prestar auxílio a agricultores e pessoas que vivam em áreas rurais, que tenham como meio de subsistência a agricultura e que não possuam condições para usar tecnologias dispendiosas, Venkataramana e Padmavathamma (2012) criaram uma ferramenta de integração de dados, designada AGRI-CLOUD. Esta, através de tecnologias recentes como *cloud computing* para agricultores, peritos em agricultura e autoridades governamentais, auxilia os agricultores em aspetos como a análise do solo durante o cultivo, a identificação adequada dos fertilizantes a empregar ao menor preço e a identificação de doenças, de uma forma facilmente compreensível.

Conclusões

Este trabalho visou a descrição do estado da arte referente à aplicação de tecnologias de eletrónica e de sistemas de informação no contexto da recolha de dados em AP, apresentando algumas das vantagens inerentes e dificuldades de implementação.

De um modo sucinto, a agricultura de precisão consiste na aplicação de tecnologias de informação na agricultura para a identificação de variações de parâmetros relevantes do terreno, das culturas, entre outros, e o posterior processamento desta informação para o apoio à tomada de decisão dos

agricultores. Desta definição, e tendo em consideração que a tecnologia é uma área em constante desenvolvimento, pode aferir-se que a agricultura de precisão é igualmente uma área em expansão e com um elevado potencial ainda por explorar.

Neste sentido, diversos sistemas de informação e tecnologias têm sido propostos ao longo dos anos com o intuito de fomentar a implementação deste conceito. Dos vários trabalhos consultados, uma das vertentes analisadas centrou-se na preocupação com o aspeto económico dos sistemas. Assim sendo, por exemplo, a monitorização remota por imagens obtidas a partir de satélites, embora com elevado potencial para aplicação na agricultura de precisão, continua a ser um método economicamente muito dispendioso e, como tal, a sua implementação não se revela tão intensiva. Por outro lado, as RSSF possuem características que as tornam indicadas para este tipo de aplicação, tendo sido este um dos métodos mais focados ao longo dos vários trabalhos mencionados. Além disso, os trabalhos mais recentes demonstram um aumento das aplicações da robótica à AP, denotando que esta será uma tendência a ser seguida num futuro próximo. Por fim, a aplicação do processamento de imagem e visão por computador na agricultura de precisão merece também realce pelas inovações tecnológicas que trouxe às operações de corte, apanha e classificação de frutos. Para além disso, uma das aplicações mais citadas na literatura consiste na deteção de ervas daninhas para posterior pulverização diferencial. A coordenação de sistemas de processamento digital de imagem com sistemas robóticos para apanha de frutos, condução autónoma, previsão de produtividade, entre outros, também se revela uma área em forte expansão. Além disso, existe também uma tendência para a integração de dados, numa tentativa de desenvolver plataformas que integrem a informação e permitam operações a um nível superior ao da aquisição de dados.

De um ponto de vista mais teórico, embora não relatados neste trabalho de forma detalhada, foram também referidos estudos que procuram estabelecer pontos em comum dos diversos sistemas de informação. Estes visam criar um conjunto de práticas e métodos que possam ser adotados no sentido de reduzir os esforços necessários para desenvolver um sistema desta natureza. Todavia, deve salientar-se que sendo esta uma área tão dispersa e com diferentes vertentes torna-se importante ter em consideração que, para cada caso específico, é

necessário um estudo pormenorizado da área de aplicação e finalidade do sistema a desenvolver.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) o financiamento deste trabalho através da Bolsa de Doutoramento SFRH/BD/98032/2013, programa POPH – Programa Operacional Potencial Humano e FSE – Fundo Social Europeu.

Referências bibliográficas

- Adamchuk, V.I.; Hummel, J.W.; Morgan, M.T. e Upadhyaya, S.K. (2004) – On-the-go soil sensors for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 44, n. 1, p. 71-91.
- Aqeel-ur-Rehman; Abbasi, A.Z.; Islam, N. e Shaikh, Z.A. (2014) - A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture. *Computer Standards & Interfaces*, vol. 36, n. 2, p. 263-270.
- Aubert, B.A.; Schroeder, A. e Grimaudo, J. (2012) - IT as enabler of sustainable farming: An empirical analysis of farmer's adoption decision of precision agriculture technology. *Decision support Systems*, vol. 54, n. 1, p. 510-520.
- Bakker, T.; Wouters, H.; Asselt, K.; Bontsema, J.; Tang, L.; Müller, J. e Straten, G. (2008) - A vision based row detection system for sugar beet. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 60, n. 1, p. 87-95.
- Bengochea-Guevara, J.M.; Conesa-Munõz, J. e Ribeiro, Á. (2014) - Generating Autonomous Behaviour for a Crop Inspection Robot. In: Armada, M.; Sanfeliu, A. e Ferre, M. (Eds) - *ROBOT2013: First Iberian Robotics Conference Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol.252, p. 481-493.
- Berger, R. e Hovav, A. (2013) - Using a Dairy Management Information System to Facilitate Precision Agriculture: The Case of the AfiMilk® System. *Information Systems Management*, vol. 30, n. 1, p. 21-34.
- Bossu, J.; Gée, Ch.; Jones, G. e Truchetet, F. (2009) - Wavelet transform to discriminate between crop and weed in perspective agronomic images. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 65, n. 1, p. 133-143.
- Brosnan, T. e Sun, D.-W. (2002) - Inspection and grading of agricultural and food products by

- computer vision systems – a review. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 36, n. 2-3, p. 193-213.
- Burgos-Artizzu, X.P.; Ribeiro, A.; Guijarro, M. e Pajares, G. (2011) - Real-time image processing for crop/weed discrimination in maize fields. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 75, n. 2, p. 337-346.
- Camilli, A.; Cugnasca, C.E.; Saraiva, A.M.; Hirakawa, A.R. e Corrêa, P.L.P. (2007) - From wireless sensors to field mapping: Anatomy of an application for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 58, n. 1, p. 25-36.
- Corwin, D.L. e Plant, R.E. (2005) - Applications of apparent soil electrical conductivity in precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 46, n. 1-3, p. 1-10.
- Cox, S. (2002) - Information technology: the global key to precision agriculture and sustainability. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 36, n. 2-3, p. 93-111.
- Dong, X.; Vuran, M.C. e Irmak, S. (2013) - Autonomous precision agriculture through integration of wireless underground sensor networks with center pivot irrigation systems. *Ad Hoc Networks*, vol. 11, n. 7, p. 1975-1987.
- Eerens, H.; Haesen, D.; Rembold, F.; Urbano, F.; Tote, C. e Bydekerke, L. (2014) - Image time series processing for agriculture monitoring. *Environmental Modelling & Software*, vol. 53, p. 154-162.
- Emmi, L.; Paredes-Madrid, L. e Ribeiro, A. (2013) - Fleets of robots for precision agriculture: a simulation environment. *Industrial Robot: An International Journal*, vol. 40, n. 1, p. 41-58.
- FAO (2013) - *FAO Statistical Yearbook 2013 – World food and agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 289 p.
- Fernandes, M.A.; Matos, S.G.; Peres, E.; Cunha, C.R.; López, J.A.; Ferreira, P.J.S.G.; Reis, M.J.C.S. e Morais, R. (2013) - A framework for wireless sensor networks management for precision viticulture and agriculture based on IEEE 1451 standard. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 95, p. 19-30.
- Franke, J. e Menz, G. (2007) - Multi-temporal wheat disease detection by multi-spectral remote sensing. *Precision Agriculture*, vol. 8, n. 3, p. 161-172.
- Gay, A.P.; Stewart, T.P.; Angel, R.; Easey, M.; Eves, A.J.; Thomas, N.J.; Pearce, D.A. e Kemp, A.I. (2009) - Developing Unmanned Aerial Vehicles for Local and Flexible Environmental and Agricultural Monitoring. In: *Proceedings of RSPSoc 2009 Annual Conference*. Leicester, UK, p. 471-476.
- Ge, Y.; Thomasson, J.A. e Sui, R. (2011) - Remote sensing of soil properties in precision agriculture: A review. *Frontiers of Earth Science*, vol. 5, n. 3, p. 229-238.
- Gonzalez-Dugo, V.; Zarco-Tejada, P.; Nicolás, E.; Nortes, P.A.; Alarcón, J.J.; Intrigliolo, D.S. e Fereres, E. (2013) - Using high resolution UAV thermal imagery to assess the variability in the water status of five fruit tree species within a commercial orchard. *Precision Agriculture*, vol. 14, n. 6, p. 660-678.
- Herwitz, S.R.; Johnson, L.F.; Dunagan, S.E.; Higgins, R.G.; Sullivan, D.V.; Zheng, J.; Lobitz, B.M.; Leung, J.G.; Gallmeyer, B.A.; Aoyagi, M.; Slye, R.E. e Brass, J.A. (2004) - Imaging from an unmanned aerial vehicle: agricultural surveillance and decision support. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 44, n. 1, p. 49-61.
- Honkavaara, E.; Saari, H.; Kaivosoja, J.; Pölönen, I.; Hakala, T.; Litkey, P.; Mäkynen, J. e Pesonen, L. (2013) - Processing and Assessment of Spectrometric, Stereoscopic Imagery Collected Using a Lightweight UAV Spectral Camera for Precision Agriculture. *Remote Sensing*, vol. 5, n. 10, p. 5006-5039.
- Hunt Jr., E.R.; Cavigelli, M.; Daughtry, C.S.T.; McMurtrey III, J. e Walthall, C.L. (2005) - Evaluation of Digital Photography from Model Aircraft for Remote Sensing of Crop Biomass and Nitrogen Status. *Precision Agriculture*, vol. 6, n. 4, p. 359-378.
- Jiber, Y.; Harroud, H. e Karmouch, A. (2011) - Precision Agriculture Monitoring Framework Based on WSN. In: *Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*. Istanbul, IEEE, p. 2015-2020.
- Jiménez, A.R.; Ceres, R. e Pons, J.L. (2000) - A survey of Computer Vision Methods for Locating Fruit on Trees. *Transaction of the ASAE-American Society of Agricultural Engineers* vol. 43, n. 6, p. 1911-1920.
- Kawamura, S.; Natsuga, M.; Takekura, K. e Itoh, K. (2003) - Development of an automatic rice-quality inspection system. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 40, n. 1-3, p. 115-126.
- Lee, W.S.; Slaughter, D.C. e Giles, D.K. (1999) - Robotic Weed Control System for Tomatoes. *Precision Agriculture*, vol. 1, n. 1, p. 95-113.
- Matese, A.; Gennaro, S.F.D.; Zaldei, A.; Genesio, L.

- e Vaccari, F.P. (2009) - A wireless sensor network for precision viticulture: The NAV system. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 69, n. 1, p. 51-58.
- Matese, A.; Vaccari, F.P.; Tomasi, D.; Gennaro, S.F.D.; Primicerio, J.; Sabatini, F. e Guidoni, S. (2013) - CrossVit: Enhancing Canopy Monitoring Management Practices in Viticulture. *Sensors*, vol. 13, n. 6, p. 7652-7667.
- Mittal, A.; Chetan, K.P.; Jayaraman, S.; Jagyasi, B.G.; Pande, A. e Purushothaman, B. (2012) - mKRISHI Wireless Sensor Network Platform for Precision Agriculture. In: *2012 Sixth International Conference on Sensing Technology (ICST)*. Kolkata, IEEE, p. 623-629.
- Montoya, F.G.; Gómez, J.; Cama, A.; Zapata-Sierra, A.; Martínez, F.; Cruz, J.L.D.L. e Manzano-Agugliaro, F. (2013) - A monitoring system for intensive agriculture based on mesh networks and the Android system. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 99, p. 14-20.
- Morais, R.; Fernandes, M.A.; Matos, S.G.; Serôdio, C.; Ferreira, P.J.S.G. e Reis, M.J.C.S. (2008) - A ZigBee multi-powered wireless acquisition device for remote sensing applications in precision viticulture. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 62, n. 2, p. 94-106.
- Mulla, D.J. (2013) - Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering*, vol. 114, n. 4, p. 358-371.
- Murakami, E.; Saraiva, A.M.; Junior, L.C.M.R.; Cugnasca, C.E.; Hirakawa, A.R. e Correa, P.L.P. (2007) - An infrastructure for the development of distributed service-oriented information systems for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 58, n. 1, p. 37-48.
- Nikkilä, R.; Seilonen, I. e Koskinen, K. (2010) - Software architecture for farm management information systems in precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 70, p. 328-336.
- Pan, G.; Li, F.-M. e Sun, G.-J. (2007) - Digital Camera Based Measurement of Crop Cover for Wheat Yield Prediction. In: *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2007*. Barcelona, IGARSS, IEEE, p. 797-800.
- Pande, M.; Choudhari, N.K.; Pathak, S. e Mukhopadhyay, D. (2012) - H2E2: A Hybrid, Hexagonal & Energy Efficient WSN Green Platform for Precision Agriculture. In: Abraham, A.; Zomaya, A.; Wadhai, V.; Yager, R.; Muda, A.K. e Koepfen, M. (Eds) - *12th International Conference on Hybrid Intelligent Systems (HIS)*, IEEE, p. 155-160.
- Primicerio, J.; Gennaro, S.F.D.; Fiorillo, E.; Genesisio, L.; Lugato, E.; Matese, A. e Vaccari, F.P. (2012) - A flexible unmanned aerial vehicle for precision agriculture. *Precision Agriculture*, vol. 13, n. 4, p. 517-523.
- Rembold, F.; Atzberger, C.; Savin, I. e Rojas, O. (2013) - Using Low Resolution Satellite Imagery for Yield Prediction and Yield Anomaly Detection. *Remote Sensing*, vol. 5, n. 4, p. 1704-1733.
- Robert, P.C. (2002) - Precision agriculture: a challenge for crop nutrition management. *Plant and Soil*, vol. 247, n. 1, p. 143-149.
- Roy, S. e Bandyopadhyay, S. (2008) - Agro-sense: precision agriculture using sensor-based wireless mesh networks. In: *Innovations in NGN: Future Network and Services, 2008*. K-INGN 2008. First ITU-T Kaleidoscope Academic Conference. Geneva, IEEE, p. 383-388.
- Santesteban, L.G.; Guillaume, S.; Royo, J.B. e Tisseyre, B. (2013) - Are precision agriculture tools and methods relevant at the whole-vineyard scale? *Precision Agriculture*, vol. 14, n. 1, p. 2-17.
- Seelan, S.; Laguette, S.; Casady, G.M. e Seielstad, G.A. (2003) - Remote sensing applications for precision agriculture: A learning community approach. *Remote Sensing of Environment*, vol. 88, n. 1-2, p. 157-169.
- Søgaard, H.T. e Olsen, H.J. (2003) - Determination of crop rows by image analysis without segmentation. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 38, n. 2, p. 141-158.
- Sudduth, K.A.; Drummond, S.T. e Kitchen, N.R. (2001) - Accuracy issues in electromagnetic induction sensing of soil electrical conductivity for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 31, n. 3, p. 239-264.
- Swain, K.C.; Jayasuriya, H.P.W. e Salokhe, V.M. (2007) - Low-Altitude Remote Sensing with Unmanned Radio-Controlled Helicopter Platforms: A Potential Substitution to Satellite-based Systems for Precision Agriculture Adoption under Farming Conditions in Developing Countries. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal, Invited Overview*, vol. IX, n. 12, p. 1-16.
- Tellaeche, A.; BurgosArtizzu, X.P.; Pajares, G.; Ribeiro, A. e Fernández-Quintanilla, C. (2008) - A new vision-based approach to differential spraying in precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 60, n. 2, p. 144-155.
- Venkataramana, K. e Padmavathamma, Dr. M.

- (2012) – A Design of Framework for AGRI-CLOUD. *IOSR Journal of Computer Engineering*, vol. 4, n. 5, p. 1-6.
- Vibhute, A. e Bodhe, S.K. (2012) - Applications of Image Processing in Agriculture: A Survey. *International Journal of Computer Applications*, vol. 52, n. 2, p. 34-40.
- Wachs, J.P.; Stern, H.I.; Burks, T. e Alchanatis, V. (2010) - Low and high-level visual feature-based apple detection from multi-modal images. *Precision Agriculture*, vol. 11, n. 6, p. 717-735.
- Wang, N.; Zhang, N. e Wang, M. (2006) - Wireless sensors in agriculture and food industry – Recent development and future perspective. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 50, n. 1, p. 1-14.
- Wrest Park History Contributors (2009) - Chapter 4 Field machinery. *Biosystems Engineering*, vol. 103, n.1, p. 48-60.
- Xiaonan, W. e Shan, Z. (2013) - A hierarchical scheme on achieving all-IP communication between WSN and IPv6 networks. *International Journal of Electronics and Communications (AEÜ)*, vol. 67, n. 5, p. 414-425.
- Zhang, C. e Kovacs, J.M (2012) - The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. *Precision Agriculture*, vol. 13, n. 6, p. 693-712.
- Zhang, N.; Wang, M. e Wang, N. (2002) - Precision agriculture – a worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 36, n. 2-3, p. 113-132.
- Zhang, X.; Seelan, S. e Seielstad, G. (2010) - Digital Northern Great Plains: A Web-Based System Delivering Near Real Time Remote Sensing Data for Precision Agriculture. *Remote Sensing*, vol. 2, n. 3, p. 861-873.