

AgroTIC em agricultura de precisão e automação agrícola

Ariovaldo Luchiari Junior
Leonardo Ribeiro Queirós
João Camargo Neto
Aldemir Chaim

1 Introdução

A agricultura está incorporando tecnologias emergentes para enfrentar novos desafios que levem à mudança do padrão tecnológico a fim de produzir alimentos para uma população global estimada em nove bilhões em 2050. Tal fato exigirá um aumento de 70 por cento na produção de alimentos de forma sustentável e segura (FAO, 2009).

Nesse contexto as tecnologias da informação e comunicação aplicadas à agricultura (AgroTIC) já estão sendo utilizadas e têm uma participação crescente e importante na gestão da cadeia valor. As AgroTIC estão evoluindo de forma contínua e têm atraído e aumentado os investimentos públicos e privados em pesquisa agrícola, transferência de tecnológica, extensão rural e desenvolvimento agrícola.

AgroTIC é um termo abrangente, sendo definido como: a combinação de hardware, software e instrumentos de produção que permitam coleta, armazenamento, troca, processamento e manejo da informação e do conhecimento. De acordo com a Agência dos Estados Unidos para Cooperação Internacional (Usaid), as TIC incluem tecnologias e métodos para armazenar, manejar e processar informação (por exemplo: computadores, softwares, livros, PDAs, tablets, androides, livrarias digitais e não digitais) e para comunicar a informação (por exemplo: correio, correio eletrônico, rádio, televisão, telefones, celulares, pagers, internet etc). A redução de seu preço, acessibilidade e adaptabilidade, além de suas novas capacidades, tornaram seu uso indispensável no setor agrícola. Produtores podem utilizar a internet, telefone e outras ferramentas e tecnologias digitais para: previsão do tempo, manejo de frota de veículos, rastreamento de produtos agrícolas, informações sobre preço de insumos, serviços, produtos, acesso a mercados, variedades, técnicas de produção, serviços de armazenamento, processamento etc. Serviços especializados, disponibilizados pelos setores público e privado, como o uso de satélites ou sensores remotos, armazenamento e processamento de grandes quantidades de dados em aplicativos móveis têm sido utilizados para planejar a produção, evitar perdas de safra, gerir a cadeia financeira etc.

Estudos realizados pelo FutureFarm¹ confirmam esses fatos e adicionam que as AgroTIC contribuirão para o estabelecimento de práticas de manejo baseadas em robótica e automação de processos agrícolas.

¹ Disponível em: <<http://www.futurefarm.eu/>>.

Para exemplificar o uso das AgroTIC é possível citar que as perguntas feitas pelos agricultores podem ser respondidas de modo rápido e preciso quanto às formas de aumentar a produtividade e minimizar os riscos devido às condições climáticas. O uso das TIC tem permitido o encontro entre agricultores, especialistas e outros agentes para selecionar as melhores soluções tecnológicas em uma determinada situação ou local.

Esses exemplos representam apenas um subconjunto dos serviços de informação e comunicação que podem ser fornecidos para o setor agrícola por meio das TIC, cada vez mais comuns e acessíveis na agricultura. Tais fatos têm promovido mudanças nas formas de produção de alimentos. Com esse conjunto de técnicas é possível planejar a produção agrícola, florestal e animal e usar de forma mais eficiente os recursos naturais bióticos e abióticos, os insumos químicos e biológicos, o capital humano, a infraestrutura e o que há de mais relevante no conhecimento gerado pelas instituições de ciência e tecnologia. O uso das TIC também permite minimizar os riscos associados às mudanças climáticas e às doenças e pragas. As inovações associadas às TIC permitem produzir, de forma eficiente, aumentando a quantidade, a qualidade e atendendo, dessa forma, aos requisitos do mercado. Hoje a produção de alimentos, quer seja pela produção convencional, orgânica ou por outros protocolos, como a Produção Integrada do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) e o GLOBAL-GAP, devem atender às normas para que sejam rastreáveis e tenham conformidade de certificação de qualidade, de bem estar animal e de pegada ecológica.

Novas formas de produção e gestão têm se beneficiado do uso das AgroTIC. Queirós et al. (2014) mostram como a agricultura de precisão (AP) tem se beneficiado da utilização das tecnologias da informação e comunicação na agricultura. Rusten e Ramirez (2003), citados por Queirós et al. (2014), apontam que o conhecimento tecnológico é um componente importante para o desenvolvimento do setor agrícola e que as AgroTIC aceleram o desenvolvimento do setor por organizar e facilitar a transferência do conhecimento entre os atores que atuam no setor. Afirmam, ainda, que as organizações de pesquisa terão um papel fundamental tanto na identificação de necessidades de métodos adequados de manejo e de tomada de decisões, como também na identificação de novas necessidades tecnológicas para que o uso das AgroTIC em Agricultura de Precisão e na Automação Agrícola seja mais eficaz, eficiente e mais fácil de ser utilizado. Estudos realizados pelo projeto FutureFarm indicam que após 2030 a agricultura será norteada pelo conhecimento, fato que exigirá a adoção integral das AgroTIC para a gestão racional, eficiente e efetiva dos processos produtivos.

É importante ressaltar que as AgroTIC não são isoladamente um fim para o desenvolvimento agrícola. Incertezas ainda permanecem em como tornar essas inovações replicáveis, escaláveis e sustentáveis para uma população mundial diversificada e crescente, que exige alimentos seguros, étnicos, rastreáveis e produzidos de forma sustentável. Nesse contexto, o propósito central desse capítulo é o de diagnosticar e de analisar a situação atual, as tendências evolutivas e as possíveis mudanças das AgroTIC na pesquisa agrícola, na transferência de conhecimento e no desenvolvimento da agricultura brasileira relacionado à Agricultura de Precisão e Automação Agrícola.

2 Estado da arte

2.1 Uso de padrões para integração e interoperabilidade de dados em agricultura de precisão

Estudos direcionados a padronizar o armazenamento de dados e a arquitetura de sistemas de informação distribuídos que permitam a integração desses dados, de forma simples e transparente, são de extrema importância para facilitar o uso das AgroTIC (QUEIRÓS et al., 2014). O projeto europeu FutureFarm produziu uma especificação para um sistema de informação de gestão agrícola com atenção para essas questões. Nessa especificação todos os dados devem ser documentados e armazenados na linguagem padronizada para troca de dados agroXML e a arquitetura distribuída deve ser a arquitetura Service-Oriented Architecture (SOA) (BLACKMORE; APOSTOLIDI, 2011). Nos Estados Unidos a AgGateway, uma organização sem fins lucrativos que tem por visão ser reconhecida internacionalmente por promover o uso das TIC na Agricultura de Precisão, lançou o projeto ‘padronizando o intercâmbio de dados da AP (SPADE)’. O projeto visa atender às demandas dos produtores no sentido de tornar mais amigável o uso de equipamentos e aplicativos em AP (AGGATEWAY, 2013).

No Brasil, a Rede de Agricultura de Precisão da Embrapa - Rede AP - atenta à necessidade de adoção de padrões para armazenamento e intercâmbio de dados e informações, e de uma arquitetura orientada a serviços que permita a interoperabilidade entre sistemas, mantendo a memória, a preservação, a recuperação e o intercâmbio com qualidade dos dados produzidos pelas unidades pilotos, desenvolveu um repositório de recursos de informação² que usa o perfil de metadados ‘Perfil de Metadados Geoespaciais do Brasil’ - versão homologada em 2009 pelo Comitê de Planejamento da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (Concar) - para catalogar os dados geoespaciais e com arquitetura que permite a integração e interoperabilidade de aplicações. Na Figura 1a é mostrada a estrutura do banco de dados e sua integração com a camada de aplicação. Os recursos de informação digitais suportam os formatos shapefile, raster, txt, doc, xls, jpg e pdf, e estão associados a elementos de metadados. Já a camada de aplicação é composta pela integração de ferramentas de softwares livre, como banco de dados PostgreSQL³, WebGIS i3Geo⁴ e o aplicativo para catalogação de dados geoespaciais GeoNetwork⁵, e de conversores de dados dos equipamentos de sensoriamento usados pela Rede AP, com a função de realizar a interface com os usuários. Na Figura 1b são ilustrados os elementos de metadados selecionados, customizados, criados e em uso, para a catalogação de dados geográficos e não geográficos (somente tabulares). Nesse diagrama os elementos de metadados foram agrupados numa generalização e especialização. A generalização do diagrama representa os elementos de metadados que devem ser preenchidos, independente do tipo de dado ser tabular ou geográfico. Já na especialização expressa, os elementos de metadados devem ser preenchidos somente para o tipo geográfico. Vale ressaltar que dois novos elementos foram criados dentro da Seção Identificação do ‘Perfil de Metadados Geoespaciais do Brasil’: “Observação” para contemplar qualquer observação ou necessidade de documentação que por ventura não possa ser expressa pelos demais elementos

² Disponível em: <<https://www.redeap.cnptia.embrapa.br>>.

³ Disponível em: <<http://www.postgresql.org/>>.

⁴ Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>.

⁵ Disponível em: <<http://geonetwork-opensource.org/>>.

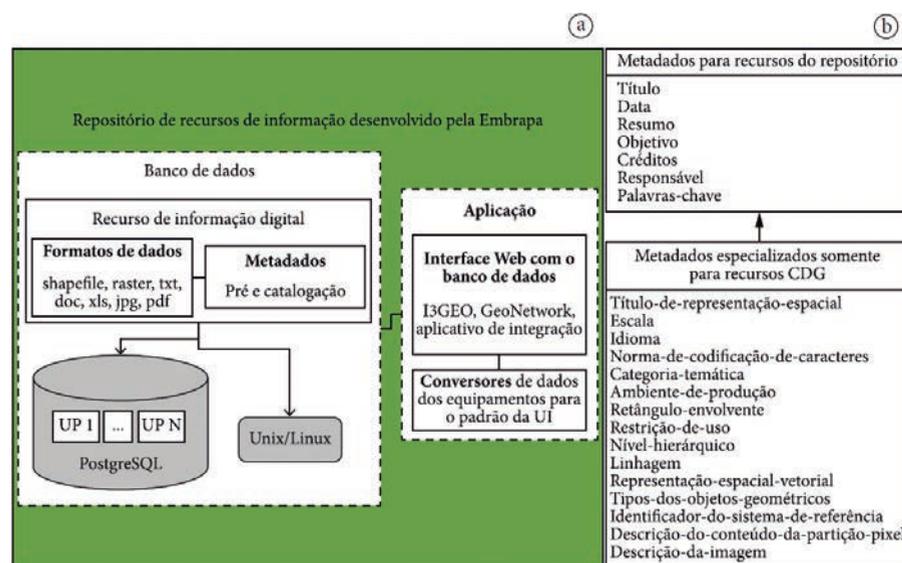


Figura 1. Repositório de recursos de informação desenvolvido pela Embrapa.

de metadados selecionados; e “Responsável pela Catalogação” para identificar o autor de documentação dos metadados. Com relação ao elemento “Observação”, a ideia é analisar a frequência de necessidade de uso desse descritor para, posteriormente, eleger ou criar novas seções ou elementos que atendam às especificidades de documentação do projeto AP (QUEIRÓS et al., 2011). O grande avanço conseguido pelo projeto é permitir a obtenção de séries históricas espaciais e temporais de dados do clima, das propriedades físicas e químicas do solo, dos parâmetros de desenvolvimento e de produtividade de plantas, sendo elemento chave não só para alimentar as novas necessidades de pesquisa, mas também para rastreabilidade e comparação entre sistemas que adotaram a AP. Considerando que o repositório da Rede AP e seus resultados permitiram o estabelecimento de padrões adequados para operacionalizar, armazenar, recuperar, intercambiar e interoperar os dados e informações obtidas nas unidades pilotos, de forma quantitativa e qualitativa, possibilitará também que essa experiência seja extrapolada para o manejo de propriedades agrícolas. Esse repositório foi concebido para atender necessidades futuras de organização e tratamento de informação.

2.2 Sistemas de suporte à decisão e sistemas de informação para gerenciamento integral da propriedade agrícola

A Figura 2 exemplifica o sistema de produção e os processos que nele ocorrem. Informações georreferenciadas dos atributos do solo (características físicas, químicas e biológicas) são coletadas, transmitidas e analisadas para que sejam estabelecidas as capacidades produtivas de áreas do terreno. Em função dessa análise, informações são transmitidas às máquinas e aos equipamentos para a aplicação automatizada de corretivos e fertilizantes em taxas variáveis. Em seguida, ocorre a operação de semeadura/ou plantio (mudas) automatizada com a utilização de plantas adequadas às diferentes capacidades produtivas do terreno, ou seja, para explorar a máxima capacidade produtiva do solo. Posteriormente, ocorrem as operações de manejo da cultura. Os estresses bióticos (patógenos, insetos e plantas daninhas) e abióticos (deficiências hídricas e nutricionais) podem ser



Figura 2. Ilustração das fases do sistema de produção e os processos que nele ocorrem.

determinados e georreferenciados pela utilização de sensores remotos (por satélite, avião, Vant). Todas essas informações são armazenadas e transmitidas numa linguagem padrão de intercâmbio, por exemplo AgroXML, para uma central, onde serão processadas e analisadas por um sistema específico de decisão, que encaminhará as decisões, em conformidade com o padrão ISOBUS6, para as máquinas equipadas com sistema de direção automática e equipamentos, que realizarão as operações de aplicação georreferenciadas em taxas variáveis de insumos (água, fertilizantes, defensivos, agentes de controle biológico etc). O ciclo é iniciado novamente após a colheita com a utilização de sensores de produtividade e/ou de qualidade (conteúdo de proteína, óleo ou outro parâmetro), cujos dados são enviados à central de processamento para a obtenção de mapas.

Sistemas de Suporte à Decisão (SSD) e AgroTIC são partes essenciais da Agricultura de Precisão para a coleta, manejo, análise e uso das informações espaciais e temporais.

Os SSD seguem alguns princípios essenciais:

- 1) Inteligência, que se refere à tomada de decisões baseadas em informações.
- 2) Design, refere-se ao desenvolvimento de uma solução ou ação alternativa que pode mitigar ou aliviar o problema.
- 3) Escolha, refere-se à escolha da ação ou solução mais apropriada ao problema identificado no processo de design.
- 4) Implementação da ação ou solução escolhida, no processo de design, para remediar o problema.

Uma possível maneira de se realizar essa categorização, de maneira a cobrir quase todos os aspectos da combinação TIC/Agropecuária, é baseá-la no fluxo que vai da observação do cenário vigente à tomada de decisões. Sob essa ótica, os desafios podem ser divididos em três grupos principais:

- 1) Geração de dados a partir da realidade observada.
- 2) Tratamento dos dados de modo a gerar informações relevantes.
- 3) Exploração das informações a fim de subsidiar a tomada de decisões.

O primeiro ponto é basicamente o objetivo da Agricultura de Precisão (AP), a qual vem ganhando cada vez mais espaço devido aos benefícios que esta pode trazer a toda a cadeia produtiva

(SCHEPERS et al. 2000; WOLF; WOOD, 1997). Com isso, vem sendo gerada uma grande quantidade de dados relacionados aos mais diferentes aspectos da cadeia agroindustrial.

O segundo ponto colocado acima ocupa-se exatamente do tratamento, processamento e exploração desses dados para que possam ser efetivamente transformados em informações relevantes. Dentre as tecnologias capazes de realizar essa tarefa, encontram-se métodos de modelagem baseados nos dados gerados (PAPAJORGJI; PARDALOS, 2009), técnicas de processamento digital de imagens e visão computacional capazes de explorar a grande quantidade de dados visuais que vêm sendo gerados (BARBEDO, 2013a), e técnicas de “Big Data” para os casos em que a quantidade de dados gerada é muito grande para ser processada por métodos mais convencionais (HOWE et al., 2008).

Por fim, o terceiro ponto visa explorar toda a informação gerada para ajudar nas tomadas de decisão que irão definir os rumos da lavoura. A integração de toda essa informação proveniente de diferentes fontes, de maneira que essa possa ser explorada de maneira sistêmica, é um dos maiores desafios da pesquisa agropecuária no momento. Sistemas capazes de realizar essa tarefa são comumente chamados de Sistemas de Gerenciamento de Informações da Lavoura (Farm Management Information Systems) (NIKKILA et al., 2010).

Como exemplo do uso das TIC/Agropecuária é possível citar Barbedo (2013b, 2013c) que vem desenvolvendo uma metodologia semiautomatizada, tendo como base ferramentas como aprendizado de máquina e morfologia matemática, e uma parte interativa baseada no conceito de sistemas especialistas para a detecção de doenças de plantas.

Outro caso do uso das TIC/Agropecuária são os estudos com as culturas do café (GIROLAMO NETO et al., 2014; LUACES et al., 2011; MEIRA et al., 2009) e da soja (MEGETO et al., 2014) que explora a descoberta de conhecimento em bases de dados para a análise e para formular o alerta de doenças de plantas por meio de técnicas de mineração de dados. A partir de dados de ocorrência e de incidência de doenças de culturas agrícolas e de outros dados de interesse, como, por exemplo, registros de estações meteorológicas automáticas, o objetivo é descobrir padrões e gerar modelos capazes de prever o progresso das doenças estudadas e auxiliar na tomada de decisão. Segundo os mesmos autores a tomada de decisão consiste em identificar os momentos oportunos para a aplicação de medidas de controle das doenças, visando à racionalização no uso de agroquímicos e, conseqüentemente, diminuição de custos para o produtor e menor risco de contaminação das pessoas e do ambiente. Os autores selecionam os melhores modelos que são incorporados em um sistema web de alerta para apoio a técnicos responsáveis pela emissão de boletins de avisos fitossanitários.

Para a operacionalização de Sistemas de Informação para Gerenciamento Integral da Propriedade Agrícola (FMIS), a integração, ubiquidade, alta capacidade de processamento de dados e sistemas de controle de decisões devem ser incorporados.

Queirós et al. (2014) recomendam que a integração de dados e informações obtidas por redes de sensores sem fio, ou que dados espaciais e temporais dos agroecossistemas, sejam tratados por padrões de representação e comunicação (agroXML, ISOBUS entre outros) entre sistemas numa arquitetura computacional distribuída, como o Arquitetura Orientada a Serviço (SOA). Devido à vasta quantidade de dados e informações obtidas, o processamento e análise em infraestruturas de alto desempenho computacional, como a computação em nuvens, grid, processamento paralelo, entre outros, é necessário, para o desenvolvimento de um sistema de informação de gestão agrícola automatizado, que seja robusto e confiável.

O avanço dos sistemas embarcados aliado ao custo decrescente de equipamentos digitais tem sido fecundo para realização de constantes investimentos em infraestrutura de telecomunicações em todo mundo (BALLANTYNE et al., 2010). Equipamentos como celulares, tablets, computadores pessoais - cada vez mais presentes no dia a dia das pessoas - conectados à Internet traz uma grande oportunidade de conectividade entre a ciência, produtores e demais atores relacionados ao contexto da Agricultura. Essa conectividade é facilitada quanto mais simples, autônomos e imperceptíveis forem os sistemas embarcados e equipamentos associados. A busca por não notoriedade da presença de computadores entre humanos, por meio da simplicidade de operação e maximização do funcionamento autônomo, tem sido conhecida por computação ubíqua. Torre Neto (2009) aponta como concepção da computação ubíqua a fusão dos computadores com o ambiente, a ponto de tornarem-se invisíveis para os usuários.

As tecnologias da AP tem se beneficiado dessa conectividade, em especial conectividades por meio de redes sem fio, e da computação ubíqua, nas quais sensores, redes de sensores, atuadores e sistemas de controle podem coletar dados, processá-los, realizar atuação e encaminhar informações para um computador servidor na sede da fazenda ou diretamente para algum serviço de nuvem disponível de forma autônoma e em tempo real. Como exemplo, a tecnologia de piloto automático, amplamente difundida na AP, permite que um veículo agrícola trafegue pela lavoura sem intervenção humana - sendo a coleta de informação dos sensores do motor, direção, localização espacial, entre outros, e a atuação na direção são realizadas de forma transparente e automática. Ainda nesse exemplo, o agricultor poderia monitorar em tempo real a rota realizada por meio de um aplicativo instalado em um tablet em qualquer lugar do mundo (HEST, 2013). Esses equipamentos, por atuarem de forma transparente, auxiliam o produtor a reduzir os erros e, portanto, reduz a variabilidade espacial antrópica e natural do campo.

Torre Neto (2009) tem abordado o monitoramento de controle de processos na agropecuária através do uso das inovadoras tecnologias de rede de sensores sem fio e da computação ubíqua por meio das seguintes atividades: a) a irrigação espacialmente diferenciada; b) a pulverização de precisão; c) o mapeamento da fertilidade do solo; d) a rastreabilidade animal e vegetal; e) as mudanças climáticas e os problemas fitossanitários.

2.3 Manejo de insumos em função da variabilidade espacial do campo

A principal hipótese para a adoção das tecnologias de Agricultura de Precisão é a existência da variabilidade espacial no campo. Luchiari Junior et al. (2001) conceituam zonas de manejo como sendo áreas do terreno de iguais produção potencial, eficiência do uso de insumos e risco de impacto ambiental. Os autores utilizaram mapas de colheita, mapas de condutividade elétrica do solo, mapas de classificação de solos, imagens do solo e de plantas para delinear zonas homogêneas de manejo e para direcionar as amostragens de solo. Shanahan et al. (2000) usaram procedimento similar para analisar o efeito de diferentes densidades de plantio em função das características do terreno e seus efeitos nos rendimentos do milho. Luchiari Junior et al. (2002) aplicaram o conceito de zonas homogêneas de manejo em solos tropicais de cerrados, cultivados com culturas anuais em plantio direto.

O uso de nutrientes dentro do conceito de zonas de manejo deve focar vários aspectos. A demanda por nutrientes pelas culturas depende de vários fatores, dentre eles a cultura e suas variedades, o potencial de rendimento e qualidade dos grãos, a distribuição de chuvas e o potencial produtivo do solo. Os principais atributos do solo que determinam seu potencial produtivo são aqueles res-

ponsáveis por manter a água no solo e fornecer nutrientes, como a textura, estrutura, agregação e sua estabilidade, relação macro e microporosidade, grau de compactação do solo e densidade. Os atributos físicos do solo muitas vezes são utilizados de forma reduzida na definição de zonas de manejo. Alguns deles, como a densidade do solo, poderiam ser incorporados no plano de manejo, pois impedimentos físicos para o crescimento radicular, mesmo em áreas onde a fertilidade química é alta, fazem com que o potencial produtivo do solo seja reduzido, bem com o potencial da cultura.

Fraisse et al. (2001) desenvolveram o primeiro aplicativo para delinear zonas homogêneas com o propósito de aplicação de nutrientes em taxa variada, o Management Zone Analyst (MZA). O software MZA requer informações quantitativas e georreferenciadas do terreno, condutividade elétrica aparente, da altitude, para que matematicamente o campo seja dividido em clusters e um número otimizado de zonas de manejo seja determinado automaticamente. O uso do software, conforme relato dos autores, tem sido usado por pesquisadores, organização de produtores, consultores e provedores de serviços agrícolas nos Estados Unidos e em 35 países ao redor do mundo. O conceito de zonas homogêneas vem evoluindo para selecionar os cultivares, densidade de plantio, práticas de manejo integradas de solo-planta-água e aplicação de agroquímicos de forma racional e criteriosa, baseada no potencial produtivo de cada zona homogênea. Bassoi et al. (2012) utilizaram essa prática em videira irrigada e mostraram que, mesmo no primeiro ciclo de cultivo, foi possível diferenciar a aplicação de água na área com o uso de sensores de umidade do solo instalados em zonas de manejo, previamente estabelecidas com base em atributos físico-hídricos do solo, e mostraram que a lâmina de água aplicada foi reduzida em algumas dessas zonas sem prejuízo à produtividade da cultura.

Speranza et al. (2011) criaram um sistema de armazenamento e recuperação de dados georreferenciados de condutividade elétrica do solo para duas profundidades de medidas - 0 a 30 cm (p1) e 0 a 90 cm (p2). Os arquivos gerados pelo equipamento durante a coleta são em formato texto e seguem um padrão específico. Cada linha do arquivo, contendo uma coleta realizada, disponibiliza a latitude, longitude e altitude do ponto coletado, além dos valores de p1 e p2, em mili Siemens por metro (mS/m). Para construção do conversor dos dados da condutividade elétrica do solo obtidas pelo equipamento VERIS foram utilizadas as linguagens PHP e JavaScript. Esse conversor foi incluído como uma ferramenta do repositório de dados da Rede Agricultura de Precisão da Embrapa (SPERANZA et al., 2011), baseado no servidor de mapas MapServer (Ambiente de software livre para construção de aplicativos espaciais na internet) e no software i3Geo (<http://www.mma.gov.br>) que é um WebGIS (aplicativo desenvolvido para o acesso e análise de dados geográficos via web) que permite a exibição dos dados coletados em forma de mapa que pode ser disponibilizado e acessado via Web. Os dados vetoriais do repositório da Rede AP são armazenados no Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) PostgreSQL com extensão espacial PostGIS. Cada coleta de dados pode conter um ou mais arquivos e, por esse motivo, a interface da ferramenta permite o upload de vários arquivos ao mesmo tempo.

Além disso, essa interface possibilita a informação de alguns metadados pelo usuário, como Título, Data e Créditos, constituindo uma pré-catalogação da informação. Quando o upload é realizado, a ferramenta cria um novo tema que conterá a configuração básica para a exibição dos dados em forma de mapa. Cada um dos pontos de coleta é convertido no formato "POINT" disponível no PostGIS, e armazenado em uma tabela juntamente com os dados de profundidade (p1 e p2) e de altitude. O tema criado possui algumas configurações básicas geradas automaticamente,

como a classificação da p1 em cinco classes com intervalos iguais. Esse tema fica disponível na árvore de temas da unidade piloto após o upload, e os usuários do repositório poderão efetuar o download do mesmo em formato shapefile se essa permissão foi concedida pelo autor no momento do upload. A Figura 3, abaixo, mostra a sequência de passos executados, desde a coleta de dados em campo até a exibição das informações em forma de mapa. Pontos fortes dessa ferramenta são: a) a transformação de arquivos texto obtidos em campo para um formato capaz de ser visualizado e manipulado pelo usuário em forma de mapa, cuja interface de upload de arquivos pode ser visto na Figura 4; b) a relação à exibição dos dados, inicialmente os temas de condutividade elétrica do solo são criados com legenda padrão e classificação em cinco intervalos iguais referentes às medidas de p1 (0 cm a 30 cm) e permite ao usuário modificar essas configurações, variando os campos utilizados na classificação, bem como o método utilizado para a realização

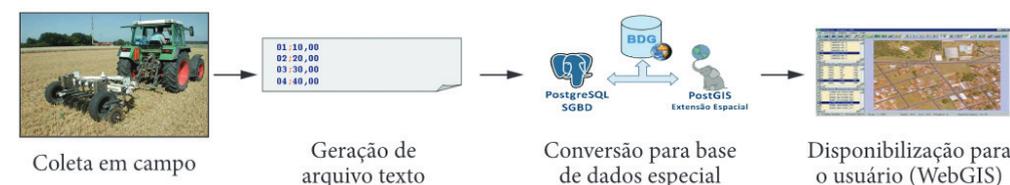


Figura 3. Coleta e disponibilização de dados de condutividade elétrica do solo.

Figura 4. Interface de upload de arquivos de condutividade elétrica do solo.

da mesma. A Figura 5 mostra um exemplo de visualização georreferenciada de dados coletados na unidade piloto de Mogi-Mirim, classificados por medidas de p2 em forma de quartis com a visualização do Google Maps disponível no repositório da Rede AP.



Figura 5. Visualização de dados de condutividade elétrica do solo no repositório da Rede AP.

Outra forma de definir zonas de manejo e o vigor de cultivos pode ser utilizando imagens multiespectrais. Luchiari Júnior et al. (2011) utilizaram esse procedimento para detectar, georreferenciar e mapear regiões de variabilidade causadas por doenças, deficiência nutricional, estresse hídrico, que refletem diretamente no vigor da planta, causando um declínio na produção de biomassa; e para mapear níveis de nitrogênio nas plantas que correlacionam resposta espectral com elevados níveis de clorofila e altas taxas de fotossínteses. Dentre esses índices podemos destacar o de vegetação de diferença normalizada na faixa do verde - Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI) (SHANAHAN et al., 2001) e o de Vegetação Ajustado do Solo (SAVI) (BARET et al., 1989; HUETE, 1988; RONDEAUX et al, 1996). Estudos para estabelecimento de algoritmos para manejo de nutrientes utilizando sensores ativos de dossel, utilizando o índice de vegetação normalizada (NDVI) vêm sendo realizados no Brasil. Resende et al. (2014) destacam que um avanço importante foi a disponibilização de sensores multiespectrais. Quando acoplados a veículos agrícolas, esses sensores podem viabilizar de maneira ágil a obtenção de informações espacializadas sobre o estado nutricional das lavouras em relação ao nitrogênio (N). Se associados a equipamentos dotados de controladores de aplicação em taxa variada de fertilizantes, possibilitam o redimensionamento de dosagens de N em tempo real durante as adubações de cobertura. Resende et al. (2014) citam que no Brasil a utilização desse tipo de sensor encontra-se em fase de teste para desenvolvimento de algoritmos para aplicação de N em tempo real nas culturas da cana-de-açúcar (AMARAL; MOLIN, 2011), do milho (POVH et al., 2008; SHIRATSUCHI et al., 2011; 2014) e do trigo (GROHS et al., 2011; PIRES et al., 2014; POVH, et al., 2008).

Recentemente está crescendo a utilização de imagens multiespectrais adquiridas pelos Veículos Autônomos não Tripulados (VANT) pelas instituições de pesquisas e serviços de imageamento disponíveis no mercado por companhias privadas. As vantagens da utilização dessa tecnologia são: aquisição de imagens multiespectrais com alta resolução espacial; custo de obtenção inferior a imagens de satélites ou fotos aéreas; aquisição de imagem a qualquer instante; aquisição de imagens em tempo nublado por ser possível realizar voos abaixo da altura das nuvens; capacidade de execução de trabalhos repetitivos e perigosos em locais de difícil acesso.

Devido aos poucos estudos sobre a aplicação de fitoreguladores (QUEIRÓS et al., 2005), propuseram e desenvolveram um sistema para automatizar o mapeamento de alturas de plantas de algodão com a intenção de auxiliar na formulação de dose variada de reguladores de crescimento. Os autores desenvolveram um protótipo baseado em conjunto de sensores ultrassônicos montados em uma barra, acoplada na parte frontal do pulverizador de maneira a não entrar em contato com as plantas sobre as fileiras de produção (Figura 6). Cada sensor estima a altura das plantas de uma fileira de produção considerando o tempo gasto entre a emissão e o retorno da onda sonora emitida na parte superior da planta. Shiratsuchi et al. (2005) justificam o desenvolvimento desse sistema com o mapeamento de uma área comercial de 50 ha de produção de algodão no município de Correntina, BA, onde constataram alta variabilidade na altura do algodão, conforme pode ser observado na Figura 7.

Segundo os autores, a justificativa de desenvolvimento do protótipo é corroborada por Thurman e Heinier (1998, 1999), onde foi conduzido experimentos em duas diferentes resoluções de amostragem (a cada 0,1 ha e 0,3 ha) de alturas de algodão em fazendas na Carolina do Norte. Os autores concluíram que a variabilidade de altura das plantas de algodão é grande o suficiente para justificar a aplicação à taxa variada de regulador de crescimento e relatam ganho de produtividade de 51-74 kg.ha⁻¹ em relação a áreas com aplicação tradicional uniforme devido à variabilidade de altura inerente do algodão. (QUEIROS et al., 2005) concluem que o sistema protótipo é viável para mapeamento automático das alturas, entretanto ressaltam a importância de mais pesquisas para o contínuo aprimoramento e adequação às realidades de produção do cotonicultor brasileiro. Uma evolução do sistema proposto por Magalhães et al. (2010) e Queiros et al. (2005, 2010), que desenvolveram um sistema de controle para aplicação à taxa variada e em tempo real de fitoreguladores na cultura do algodoeiro, foi a criação de um dispositivo de controle. Os autores consideraram a hipótese que utilizando este “dispositivo de controle com sistema hidráulico e controle eletrônico, é possível, em tempo real, variar a taxa de aplicação de fitoreguladores no algodão, baseado nas informações obtidas nos sensores de ultrassom, que detectam a altura das plantas também em tempo real; no algoritmo de crescimento da planta e na dosagem do fitoregulador estabelecido pelo usuário do sistema”. O dispositivo proposto (Figura 8) é composto de três sistemas: Hidráulico, Ultrassom e Controle. O sistema Hidráulico

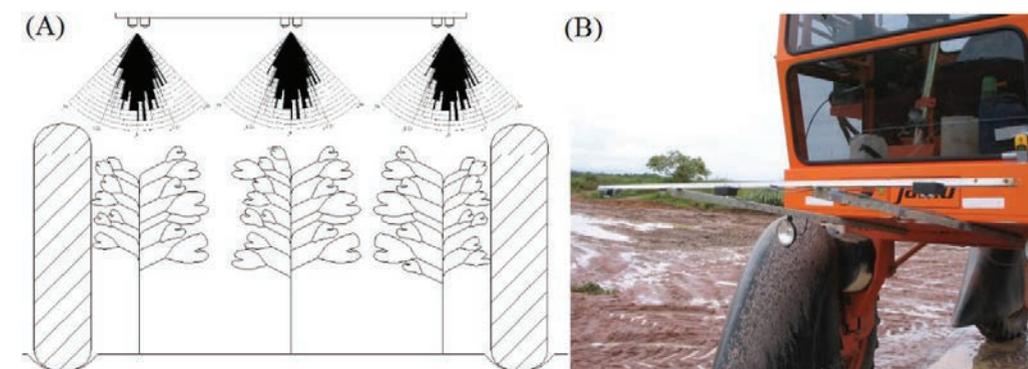


Figura 6. Protótipo para estimar a altura de plantas de algodão com sensores ultra-sônicos - (A) ilustração da emissão e recepção da onda sonora, (B) ilustração do arranjo de sensores montados na barra acoplada na parte frontal do pulverizador.

Fonte: Queirós et al. (2005).

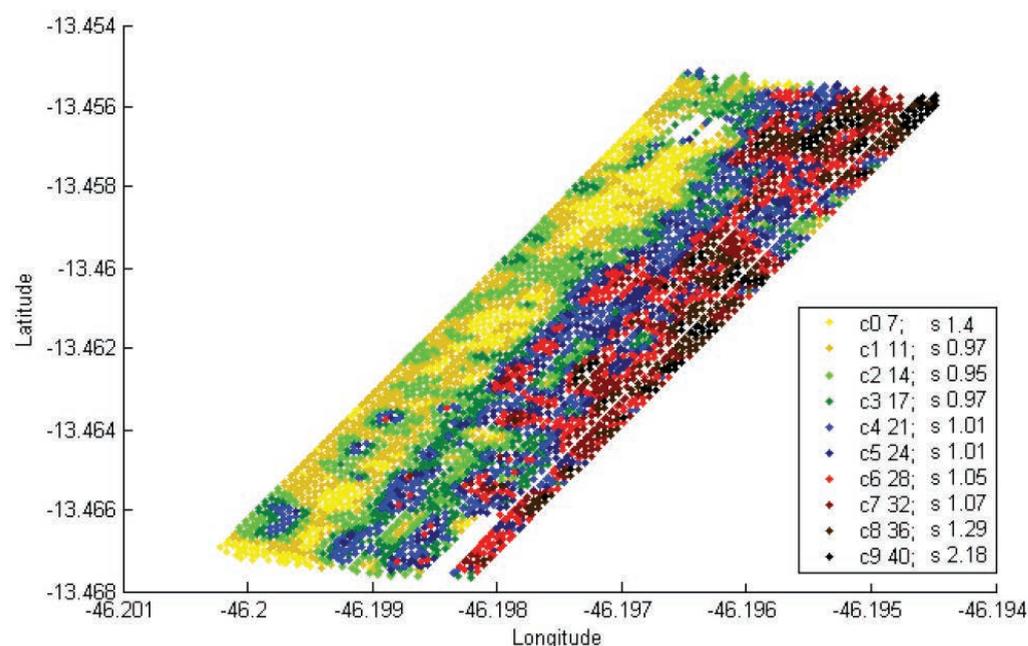


Figura 7. Variabilidade espacial de altura do algodão constatada numa área comercial de 50 ha no município de Correntina, BA. Cada cor corresponde a regiões de alturas diferentes sendo c0 até c9 as regiões de alturas em cm e “s” o desvio padrão de altura em cada região.

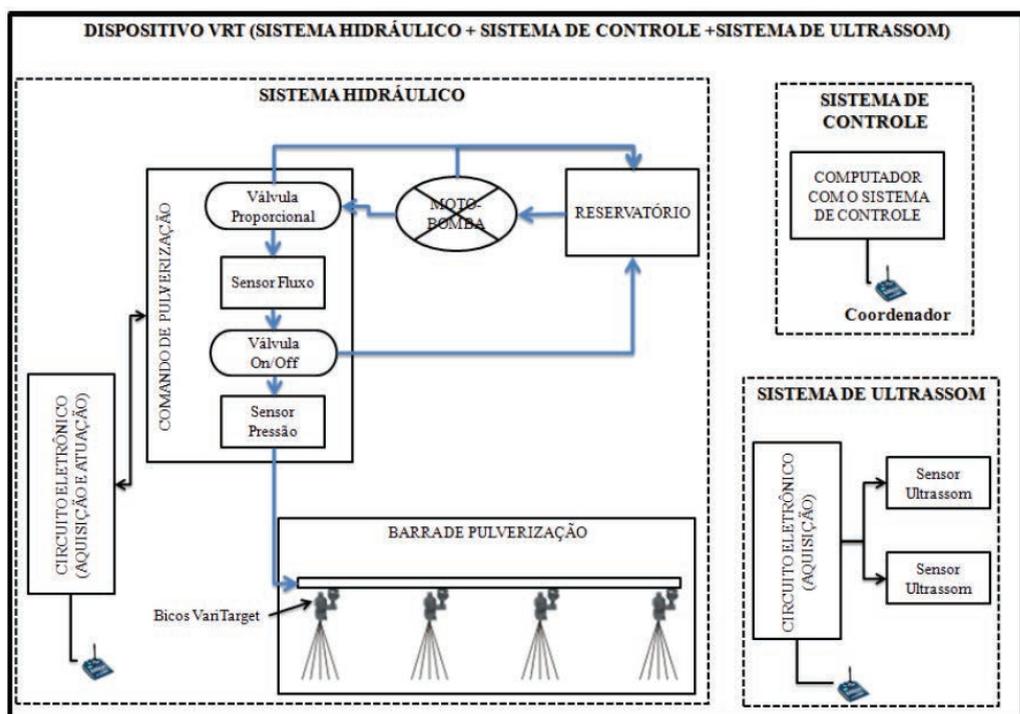


Figura 8. Visão geral dos componentes desses sistemas que formam o dispositivo de aplicação de fitorreguladores à taxa variada.

consiste do comando de pulverização e circuito eletrônico para aquisição de dados e atuação nos componentes desse comando. O sistema de Ultrassom é um circuito eletrônico composto por um conjunto de sensores ultrassom que realizam a medição da altura de plantas de algodão. O sistema de Controle é o núcleo do dispositivo, pois é o responsável por gerenciar as informações dos sistemas Hidráulico e de Ultrassom e, com um algoritmo de controle Proporcional-Integral-Derivativo (PID) retroalimentado pelo sensor de pressão e regras de aplicação de fitorregulador, é capaz de variar a dose em tempo real, controlando as válvulas do comando de pulverização. Os circuitos eletrônicos foram desenvolvidos com base na arquitetura microcontrolada PIC18F452 e comunicação sem fio por meio de módulos de rádio frequência que implementam o protocolo ZigBee. Para o desenvolvimento das interfaces (Figura 9) de validação dos três sistemas, adotou-se tecnologias de software livre, como a linguagem de programação Java, ambiente de desenvolvimento Netbeans⁶ e sistema operacional Linux. Para a validação do Dispositivo proposto, foi utilizado um mapa de uma área de 7.3 ha com o registro georreferenciado de alturas de plantas de algodão e regras de aplicação de fitorregulador, considerando as velocidades de pulverização 2,5 m.s⁻¹ e 5 m.s⁻¹. Independentemente das velocidades simuladas, houve potencial economia de aplicação de regulador de crescimento. Também foram realizadas validações para verificar se o dispositivo proposto manteria a pressão desejada, simulando o entupimento de bico de forma lenta e rápida. Os resultados mostram que em ambas as situações a pressão é mantida próxima ao valor desejado. Com os resultados obtidos, conclui-se que o dispositivo proposto atende ao objetivo de sua proposição.

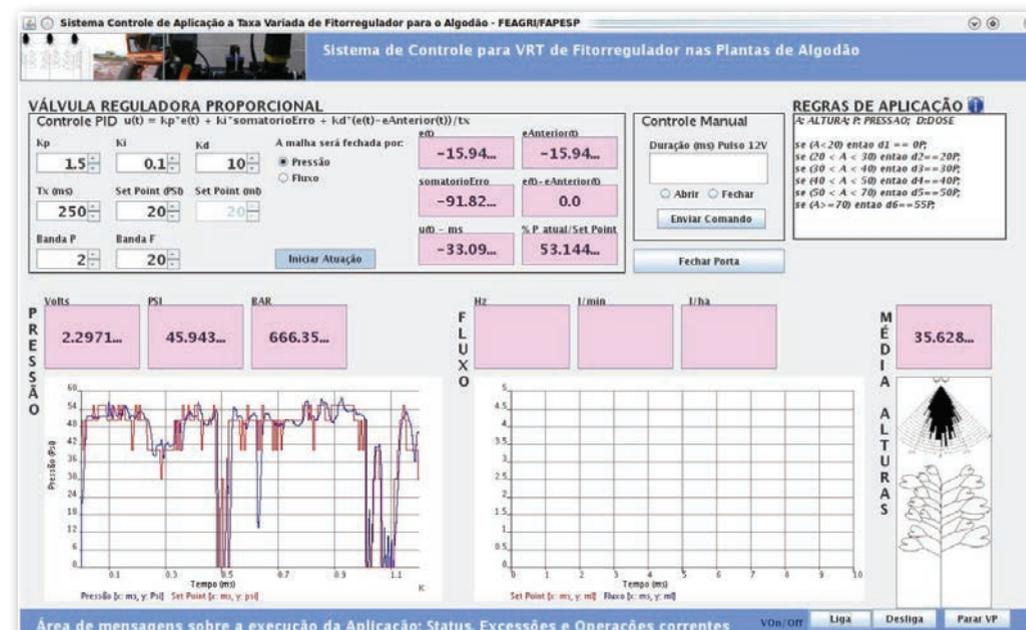


Figura 9. Interface do Sistema de Controle do Dispositivo VRT.

⁶ Disponível em: <<https://netbeans.org/>>.

Os autores relatam que as aplicações realizadas em laboratório pelo sistema de controle mostraram que é possível variar a dose de fitorregulador em tempo real. Entretanto, é necessário que mais pesquisas sejam realizadas com a finalidade de buscar seu aperfeiçoamento contínuo.

Para incrementar a eficiência da aplicação de agrotóxicos, Pessoa e Chaim (1999) desenvolveram um programa de computador em linguagem Qbasic que calcula o diâmetro mediano volumétrico, diâmetro mediano numérico e uniformidade de tamanho das gotas, bem como o volume de calda depositada em litros/ha. Posteriormente, outra versão do Gotas foi desenvolvida em linguagem Delphi para sistemas operacionais Windows, incorporando a análise de imagem das amostras digitalizadas por scanner. As imagens eram analisadas pelo programa, fornecendo os resultados de volume de calda depositado por hectare, tamanho de gotas (DMV e DMN), uniformidade de tamanho de gotas, densidade (número de gotas/cm²) e porcentagem de cobertura (CHAIM et al., 2002, 2006). A versão mais moderna do Gotas fornece os seguintes parâmetros:

- 1) Número de gotas encontrado na amostra. Informação para dar maior confiabilidade nos quesitos relacionados aos tamanhos das gotas, pois, quanto maior o número de gotas da amostra, mais confiável é o resultado da análise.
- 2) Número de diâmetros de gotas. Refere-se à quantidade de classes de tamanhos de gotas encontrados na amostra e está relacionada ao “fator de dispersão” e “volume de calda depositado na amostra”.
- 3) Fator de dispersão de tamanho de gotas. Esse parâmetro oferece informações das dispersões dos tamanhos das gotas dentro de uma amostra.
- 4) Volume de calda na amostra (L/ha). Esse parâmetro indica quantos litros de calda atingiram a amostra analisada.
- 5) Densidade de gotas (nº/cm²). Esse indicador fornece informações de quantas gotas atingiram uma área equivalente a um centímetro quadrado que é um parâmetro internacionalmente indicado para a calibração da deposição de gotas.
- 6) Diâmetro volumétrico D10 (mm). Representa a distribuição dos diâmetros das gotas de maneira tal que os diâmetros menores que D10 compõem 10% do volume total de líquido da amostra.
- 7) Diâmetro volumétrico D50 (mm). Representa a distribuição dos diâmetros das gotas de maneira tal que os diâmetros menores que D50 compõem 50% do volume total de líquido da amostra. Esse parâmetro também é conhecido como “diâmetro mediano volumétrico”, internacionalmente conhecido como VMD, e é muito importante para a calibração da deposição, pois expressa o padrão de diâmetro de gotas que atingiu a amostra.
- 8) Diâmetro volumétrico D90 (mm). Representa a distribuição dos diâmetros das gotas de maneira tal que os diâmetros menores que D90 compõem 90% do volume total de líquido da amostra.
- 9) Porcentagem de cobertura. Representa a porcentagem de área coberta pela mancha das gotas em relação à área total da amostra.

O programa Gotas é uma ferramenta importante para a calibração da deposição de agrotóxicos em agricultura de precisão. O acesso ao mesmo é gratuito e está disponível para download em

versão para computadores na rede de software livre para a agropecuária - Agrolivre⁷. As Figuras 10 e 11 ilustram a interface do sistema Gotas, disponível para execução em computador, e a interface do sistema Gotas para execução em plataforma Android, respectivamente. A versão para a plataforma Android, disponível para tablets e smartphones, estão disponíveis na loja virtual da Google - Play Store.

As condições de clima e tempo afetam todo o ciclo de produção dos cultivos. Damalgo et al. (2014) abordam a importância do uso da agrometeorologia e monitoramento climático para melhor compreensão dos processos da produção agrícola quando se utiliza tecnologias da agricultura de precisão. Ortiz (2013) descreve o “AgroClimate”⁸, um sistema de suporte à decisão para ser usado em práticas de manejo de sítios específicos. O Agroclimate informa sobre os riscos climáticos e ajuda na identificação das melhores práticas de manejo a serem usadas na produção agrícola para mitigar ou reduzir riscos específicos.

Por experiência, recomenda-se o sistema Agritempo⁹ para uso em agricultura de precisão. O sistema é útil no monitoramento de variáveis meteorológicas, disponibilidade de água no solo e condições do tempo que possam prejudicar a aplicação de insumos químicos e biológicos. O sistema desenvolvido pela Embrapa e Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) permite aos usuários o acesso, via Internet, às informações meteorológicas e agrometeorológicas de municípios e estados brasileiros. Além de informar a situação climática atual, o sistema alimenta a Rede Nacional de Agrometeorologia (RNA) do Mapa com informações básicas que orientam o zonea-

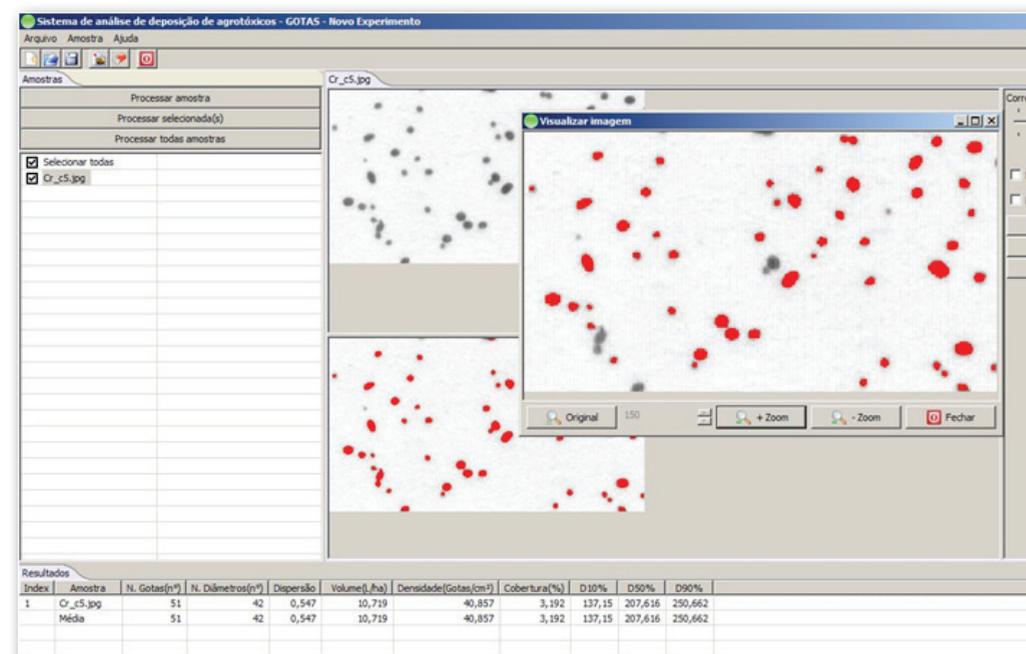


Figura 10. Interface do sistema Gotas disponível para execução em computador.

⁷ Disponível em: <<https://repositorio.agrolivre.gov.br/>>.

⁸ Disponível em: <www.agroclimate.org>.

⁹ Disponível em: <www.agritempo.gov.br>.

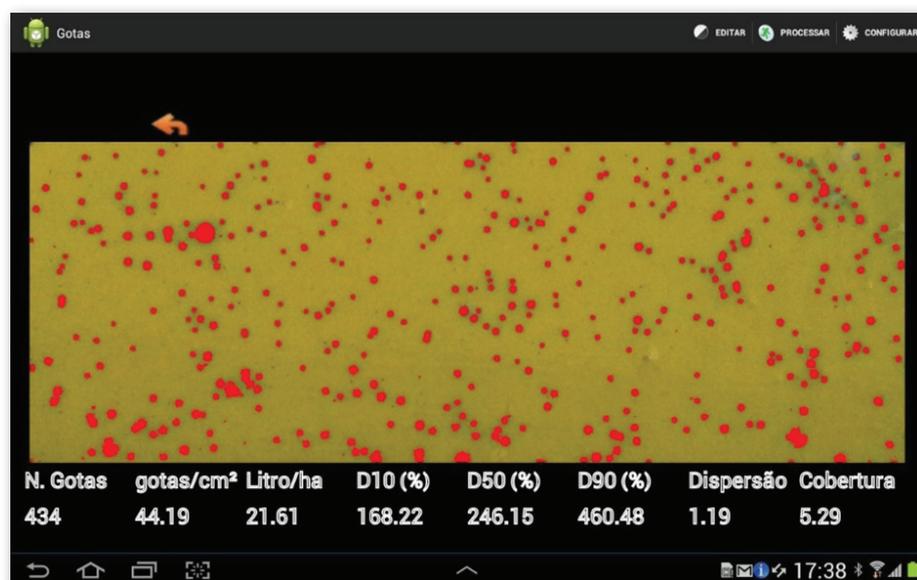


Figura 11. Interface do sistema Gotas para execução em plataforma Android.

mento agrícola brasileiro. Tal fato é importante na seleção dos melhores cultivares adaptados às zonas homogêneas de manejo definidas na propriedade rural. O sistema oferece boletins e mapas com informações sobre estiagem agrícola, distribuição temporal da precipitação pluvial, evapotranspiração, necessidades de irrigação, condições para tratamento fitossanitário, condições para manejo do solo e outras que suportam a decisão do produtor na aplicação de insumos químicos ou biológicos e no emprego de práticas agrícolas relacionadas ao manejo de água e solo.

2.4 Uso de AgroTIC em processos produtivos agrícolas: formas, protocolos e normas de produção

Quando as tecnologias da Agricultura de Precisão são combinadas com as AgroTIC é possível obter, armazenar e processar informações que permitam ações de comando e controle da forma de produção. Isto permite atender, analisar, monitorar e rastrear a conformidade da produção com os requisitos de vários protocolos e normas, tais como: da Produção Integrada e da Produção Orgânica, do Mapa¹⁰, do Globalgap¹¹, das produções agrícolas baseadas em princípios étnicos, e por contrato de produção de alimentos funcionais, entre outros.

Entretanto, o uso dessa forma de produção no Brasil não tem sido tão intenso. Furlaneto e Manzano (2010) citam o sucesso do uso de técnicas da agricultura na produção integrada e no processo de rastreabilidade do pêssego.

A coleta, registro e processamento das informações e documentação das produções certificadas estão caminhando para um sistema de manejo integrado com todos seus processos automatizados em função da tipologia e categorização dos produtores. Fundamentalmente todos os padrões e regras de produção possuem estruturas similares, que contém:

- 1) Metadados das áreas de cultivo, como, por exemplo: georreferenciamento, descrição da fisiografia, histórico de uso, cultivos a serem produzidos, métodos e formas de produção, procedimentos para análise de conformidade e de certificação, procedimentos a serem adotados em caso de não conformidade com as práticas de manejo, da qualidade do produto e com leis ambientais e trabalhistas.
- 2) Conjunto de regras: a) mandatórias em todos os casos; b) mandatórias parcialmente; c) que combinem as duas formas anteriores. Cada regra é uma descrição lógica de um fato que pode ser comprovado como “Falso” ou “Verdadeiro”, isto é, se está em conformidade ou não, seguida de uma ação corretiva para torná-la conforme. Outras categorias de regras referem-se ao estabelecimento de procedimentos operacionais padrão e da documentação de todas as operações e ações de gestão do processo produtivo.

Quando estas formas de produção são vistas dentro de um Sistema de Informação para Gerenciamento Integral da Propriedade Agrícola (FMIS) é preciso que a padronização da coleta, do armazenamento de dados e da arquitetura de sistemas de informação distribuídos permitam a integração e interoperabilidade desses dados de forma segura, rápida e simples.

Em relação ao futuro, o uso de tecnologias e processos da agricultura de precisão para atender a protocolos de certificação e rastreabilidade da produção é ainda uma incerteza crítica. Entretanto, o repositório concebido na Rede AP pode transformar-se numa tendência consolidada, com incremento do seu uso, por facilitar a organização e armazenamento de informações requeridas nas análises de conformidade constantes nos protocolos e normas de produção. Consequentemente permitirá que os produtores conquistem novos mercados, com garantia de melhores preços, devido à certificação da qualidade, segurança e origem dos produtos.

2.5 Tecnologias disponíveis no mercado

Softwares para tratamento de dados e construção de mapas de colheita existem desde o início do lançamento dos monitores de colheita.

Como relatado por Hest (2013), algumas empresas já oferecem soluções que usam infraestrutura de computação em nuvem, na qual equipamentos agrícolas estão conectados por rede sem fio e as informações são disponibilizadas em tempo real e acessíveis por navegadores de Internet ou por aplicativos instalados em dispositivos móveis.

Dawson (2014) relata que a importância desse mercado de aplicativos com solução em nuvens pode ser vista pelos seguintes fatos:

- a) O big data Clima Corporation, que combina dados úteis para os agricultores juntamente com o seguro, foi recentemente comprada pela Monsanto.
- b) John Deere, DuPont e Dow Chemical uniram forças para usar dados retransmitidos de tratores para fazer recomendações aos agricultores quanto à densidade de sementes utilizadas no plantio, fertilizantes, herbicidas, fungicidas, inseticidas e outros insumos.

Ciampitti (2014) descreve as funções e finalidades de uso dos principais aplicativos para serem utilizados em dispositivos móveis. A Tabela 1 apresenta os principais apps disponíveis no mercado americano para serem utilizados em agricultura de precisão.

Um levantamento feito com empresas que atuam e disponibilizam máquinas, equipamentos e serviços no mercado brasileiro mostrou que existem tecnologias da agricultura de precisão e

¹⁰ Disponível em: <www.agricultura.gov.br>.

¹¹ Disponível em: <www.globalgap.org/>.

Tabela 1. Aplicativos disponíveis no mercado americano para utilização em agricultura de precisão.

Ag-App Name*	iPhone	iPad	Android	Cost
Weedalert	Sim	Sim	Sim	Gratuito
Aphid Speed Scout	Sim	Sim	Sim	Gratuito
Pestbook	Sim	Sim	Não	Gratuito
Soybeans Diseases	Sim	Sim	Não	Gratuito
IPM Toolkit	Sim	Sim	Sim	Gratuito
Crop Nutrient Def	Sim	Sim	Sim	Gratuito
Fertilizer Removal	Sim	Sim	Sim	Gratuito
TankMix	Sim	Sim	Não	Gratuito
Corn N Rate Calculator	Sim	Sim	Sim	Gratuito
N price Calculator	Sim	Sim	Sim	Gratuito
Extreme Beans	Sim	Sim	Sim	Gratuito
Corn Yield Calculator	Sim	Sim	Sim	\$ 0.99
Planting Pop Calculator	Sim	Sim	Sim	Gratuito
Irrigation Calc App	Sim	Sim	Sim	\$ 1.99
CE Budgets	Sim	Sim	Sim	Gratuito

Fonte: Adaptado de Ciampitti (2014).

automação para culturas anuais, perenes e semiperenes que vão desde operações de preparo de solo até a colheita e controle de frota. Aqui não serão citados os nomes das empresas, mas serão apresentados, de forma geral, os equipamentos, atividades e serviços disponíveis. Serviços para estabelecimento de zonas de manejo já estão acessíveis, embora com uso restrito devido a sua natureza, isto é, somente uma passagem do equipamento é suficiente para estabelecer as características do terreno. Amostragens de solo georreferenciada utilizando código de barras têm sido utilizadas por produtores e provedores de serviços, e consideradas como efetivas para redução dos erros associados à coleta e análise das amostras de solo. Para o preparo do solo existem soluções na construção de terraços, curvas de níveis, canais de drenagem e nivelamento do terreno com economia de tempo e mão de obra. Soluções para o plantio em taxa variável, com comando e controle da semeadura, e da aplicação de nutrientes, associadas aos mapas de prescrição e realizadas por pilotos-automáticos e com controle de seções para evitar sobrepasses estão sendo incrementadas.

Já se encontram no mercado sensores ativos e passivos, baseados na assinatura espectral das plantas e no Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), além de outros equipamentos e métodos de sensoriamento contendo aplicativos baseados na web ou em dispositivos móveis para determinar, em tempo real, as necessidades de nitrogênio requeridas para as culturas de milho, trigo e algodão, determinando a presença ou ausência de plantas daninhas, insetos e doenças. Essas tecnologias já estão em utilização por produtores, provedores de serviço em várias regiões produtoras de grãos e fibras no Brasil. A localização georreferenciadas dos pontos monitorados e as doses aplicadas são enviados através do celular ou Wi-Fi para uma estação de armazenamento, controle e análise de informações para efetuar recomendações.

O uso das tecnologias da agricultura de precisão, principalmente a aplicação de insumos a taxas variadas, está se beneficiando muito do uso do piloto automático que aumenta a eficiência de uso

dos insumos, faz a aplicação nos locais pré-determinados, evita sobreposição, diminui falhas, diminui o tempo e aumenta o rendimento e a qualidade das operações e reduz a fadiga dos operadores.

Softwares e hardwares para o controle e manejo operacional da frota e equipamentos, em tempo real, já estão disponíveis para rastrear, monitorar as horas de funcionamento, diagnosticar remotamente as condições de manutenção, de uso e desempenho das máquinas, e equipamentos em atividades de preparo de solo, plantio, pulverizações, colheita, transporte e outras operações.

Um aspecto que deve ser considerado refere-se à política de propriedade e acesso aos dados, visto que o fornecimento e uso de AgroTIC para a Agricultura de Precisão e Automação de Processos Agrícolas tende a aumentar fortemente nos próximos anos.

3 Considerações finais

As tendências futuras indicam uma evolução e crescimento do uso das AgroTIC, eletrônica e mecatrônica nos temas de Computação Ubíqua, Tecnologia da Informação em Sensores e Equipamentos Agrícolas, Automação e Controle de Máquinas, Implementos Processos e Práticas Agrícolas. A evolução e desenvolvimento de novas tecnologias elevarão os índices de produtividade, da eficiência do uso de insumos, promoverão a redução de custos com mão de obra, a qualidade do trabalho, a segurança dos trabalhadores e a diminuição dos impactos ao meio ambiente. Estas tecnologias melhorarão a forma de gestão da propriedade, permitindo a obtenção de produtos com garantia de qualidade que atendam a protocolos de produção e requisitos de conformidade. A forma pela qual as informações e conhecimentos estão sendo disponibilizadas na web e em dispositivos móveis já estão permitindo que os atores envolvidos nas cadeias produtivas tenham acesso às informações e aos conhecimentos originados de fontes pluralísticas (GAKURU et al., 2009; GANDHI et al., 2009). Isso significa que, não somente o conhecimento gerado pelas instituições de pesquisas vem sendo utilizado, mas também o conhecimento tácito obtido por produtores, provedores de serviço e extensionistas está sendo utilizado nas inovações. A maioria das inovações já está sendo transferida de modo ubíquo, ou seja, o usuário está acessando um volume enorme de informações e utilizando formas de filtragem que selecionem as tecnologias e conhecimentos mais relevantes para sua situação.

Considerando as mudanças ocorridas na sociedade, devido aos impactos das novas Tecnologias de Informação e de Comunicação, são exigidos da Embrapa novos procedimentos e instrumentos para a organização e disponibilização das informações e dos conhecimentos de forma a culminar em transformações em direção a novos padrões tecnológicos de produção. Diante desse cenário, fica evidente a necessidade do desenvolvimento de sistemas de informação que ampliem a gestão além da propriedade, abrangendo toda a cadeia de valor.

4 Referências

AGGATEWAY. **Spade project**. 2013. Disponível em: <<http://www.aggateway.org/eConnectivity/Projects/CurrentOngoing/SPADE.aspx>>. Acesso em: 11 jul. 2013.

AMARAL, L. R.; MOLIN, J. P. Sensor óptico no auxílio à recomendação de adubação nitrogenada em cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 12, p. 1633-1642, dec. 2011.

BALLANTYNE, P.; MARU, A.; PORCARI, E. M. Information and communication technologies — opportunities to mobilize agricultural science for development. **Crop Science**, Madison, v. 50, n. 1, p. S-63-S69, Mar./Apr. 2010. Suplemento. DOI: 10.2135/cropsci2009.09.0527.

BARBEDO, J. G. A. A digital image processing techniques for detecting, quantifying and classifying plant diseases. **SpringerPlus**, Heidelberg, v. 2, p. 1-12, Dec. 2013a. DOI:10.1186/2193-1801-2-660.

BARBEDO, J. G. A. Automatically measuring early and late leaf spot lesions in peanut plants using digital image processing. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 9., 2013, Cuiabá. **Agroinformática: inovação para a sustentabilidade do agronegócio brasileiro**: anais. Cuiabá: Universidade Federal de Mato Grosso, 2013b. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/971748/1/117625.pdf>. Acesso em: 15 out. 2014.

BARBEDO, J. G. A. A Digital image processing-based automatic method for measuring rice panicle lengths. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 9., 2013, Cuiabá. **Agroinformática: inovação para a sustentabilidade do agronegócio brasileiro**: anais. Cuiabá: Universidade Federal de Mato Grosso, 2013c. Disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/971740/1/117626.pdf>. Acesso em: 15 out. 2014.

BARET, F.; GUYOT, G.; MAJOR, D. J. TSAVI: a vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI and APAR estimation. In: GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, 12.; CANADIAN; CANADIAN SYMPOSIUM OF REMOTE SENSING, 10., 1989. Vancouver. **An economic tool for the nineties**: proceedings. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1989. p. 1355-1358.

BASSOI, L. H.; NASCIMENTO, P. S.; COSTA, B. R. S.; SILVA, J. A.; ROCHA, M. G.; NASCIMENTO, E. F. Agricultura de precisão no manejo da irrigação em videira. In: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 1.; WORKSHOP INTERNACIONAL DE INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS NA IRRIGAÇÃO, 4., 2012, Fortaleza. **Trabalhos apresentados...** Fortaleza: Instituto de Pesquisa e Inovação na Agricultura Irrigada, 2012. Disponível em: <http://www.inovagri.org.br/meeting2012/wp-content/uploads/2012/06/Protocolo074.pdf>. Acesso em: 15 out. 2014.

BLACKMORE, S.; APOSTOLIDI, K. **Futurefarm-Integration farm management information systems to support real-time management decisions and compliance of standards**: final report. 2011. Disponível em: <http://www.futurefarm.eu/system/files/FFD8.9_Final_Report_4.1_Final.pdf>. Acesso em: 22 set. 2014.

CIAMPITTI, I. A. **Right app for a righ end use (RaReu)**. 2014. Disponível em: <http://infoag.org/abstract_papers/papers/paper_260.pdf>. Acesso em: 26 set de 2014.

CHAIM, A.; CAMARGO NETO, J.; PESSOA, M. C. P. Y. **Use do programa computacional Gotas para avaliação da deposição de pulverização aérea sob diferentes condições climáticas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 18p. (Embrapa Meio Ambiente. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 39). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/15921/1/boletim39.pdf>. Acesso em: 22 set. 2014.

CHAIM, A.; PESSOA, M.C.P.Y.; CAMARGO NETO, J.; HERMES, L. C. Comparison of microscopic method and computational program for pesticide deposition evaluation of spraying. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 4, p. 493-496, abr. 2002.

DAMALGO, G. A.; CUNHA, G. R. da.; PIRES, J. L. F.; SANTI, A.; FOCHESSATTO, E. Potencial de aplicação da Agrometeorologia em Agricultura de Precisão para produção de grãos. In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão**: resultados de um novo olhar. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 331-337. 1 CD-ROM.

DAWSON, G. **Farm app harvests big data**. modern farm. 2014. Disponível em: <http://modernfarmer.com/2014/03/farm-app-harvests-big-data/>. Acesso em: 26 set. 2014.

FAO. **The state of food insecurity in the world, economics crises - impacts and lessons learned**. Rome, 2009. 61 p

FRAISSE, C. W.; SUDDUTH, K. A.; KITCHEN, N. R. Delineation of site-specific management zones by unsupervised classification of topographic attributes and soil electrical conductivity. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 44, n. 1, p. 155-166, Jan. 2001. Disponível em: <http://www.ars.usda.gov/sp2UserFiles/Place/36221500/cswq-0051-101971.pdf>. Acesso em: 22 set. 2014.

FURLANETO, F. B.; MANZANO, L. M. **Agricultura de precisão e a rastreabilidade de produtos agrícolas**. 2010. Disponível em: <infobios.com/Artigos/2010_2/AgriculturaPrecisao/index.htm>. Acesso em: 2 jul de 2013.

GAKURU, M.; WINTERS, K.; STEPMAN, F. Inventory of innovative farmer advisory services using ICTs. In: IST AFRICA CONFERENCE & EXHIBITION, 2009, Uganda. **Proceedings...** Uganda: Ministry of ICT, 2009. p. 1-66.

GANDHI, R.; VEERARAGHAVAN, R.; TOYAMA, K.; RAMPRASAD, V. Digital green: Participatory video and mediated instruction for agricultural extension. **Information Technologies & International Development**, Los Angeles, v. 5, n. 1. p. 1-15, 2009.

GIROLAMO NETO, C.; RODRIGUES, L. H. A.; MEIRA, C. A. A. Modelos de predição da ferrugem do cafeeiro (Hemileia vastatrix Berkeley & Broome) por técnicas de mineração de dados. **Coffee Science**, Lavras, MG, v. 9, n. 3, p. 408-418, jul./set. 2014.

GROHS, D. S.; BREDEMEIER, C.; POLETT O, N.; MUNDSTOCK, C. M. Validação de modelo para predição do potencial produtivo de trigo com sensor óptico ativo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 4, p. 446-449, abr. 2011.

HEST, D. **Capitalizing on the cloud: wireless connectivity in agriculture will make big gains in 2013**. 2013. Disponível em: <https://www.onsiteag.com/news/capitalizing-on-the-cloud-wireless-connectivity-in-agriculture-will-make-big-gains-in-2013—21.html>. Acesso em: 1 jul. 2013.

HOWE, D.; COSTANZO, M.; FEY, P.; GOJOBORI, T.; HANNICK, L.; HIDE, W.; HILL, D. P.; KANIA, R.; SCHAEFFER, M.; PIERRE, S. S.; TWIGGER, S.; WHITE, O.; RHEE, S. Y. Big data: The future of biocuration. **Nature**, v. 455, p. 47-50, Sep. 2008. DOI:10.1038/455047a.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 25, n. 3, p. 295-309, Aug. 1988. DOI: 10.1016/0034-4257(88)90106-X.

LUACES, O.; RODRIGUES, L. H. A.; MEIRA, C. A. A.; BAHAMONDE, A. Using nondeterministic learners to alert on coffee rust disease. **Expert systems with applications**, New York, v. 38, n. 11, p. 14276-14283, Oct. 2011. DOI: 10.1016/j.eswa.2011.05.003.

LUCHIARI JUNIOR, A.; BORGHI, E.; AVANZI, J. C.; FREITAS, A. A.; BORTOLON, L.; BORTOLON, E. S. O.; INAMASU, R. Y. Zonas de manejo: teoria e prática. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. (Ed.). **Agricultura de precisão**: um novo olhar. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 60-64.

LUCHIARI JUNIOR, A.; SHANAHAN, J.; LIEBIG, M.; SCHLEMMER, M.; SCHEPERS, J. S.; FRANCIS, D.; PAYTON, S. Strategies for establishing management zones for site specific nutrient management. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5., 2000, Minneapolis. **Proceedings...** Minneapolis: University of Minnesota, 2001. P. 1-10.

LUCHIARI JUNIOR, A.; SHANAHAN, J.; SCHEPERS, J.; FRANCIS, D.; SCHLEMMER, M.; SCHEPERS, A.; INAMASU, R.; FRANCA, G.; MANTOVANI, E.; GOMIDE, R. Crop and soil based approaches for site specific nutrient management In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., 2002, Florianópolis. **Meio ambiente e a nova agenda para o agronegócio de milho e sorgo**: [palestras]. Sete Lagoas: ABMS: Embrapa Milho e Sorgo; Florianópolis: Epagri, 2002. 1 CD-ROM. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/33872/1/Palestra-Crop-soil.pdf>. Acesso em 22 set. 2014.

MAGALHAES, P. S. G.; QUEIROS, L. R.; GADANHA, C. D. Mepiquat chloride application on cotton at variable rate. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 10., 2010, Denver. **Proceedings...** Denver: Denver Tech Center, 2010. Não paginado.

MEGETO, G. A. S.; OLIVEIRA, S. R. de M.; DEL PONTE, E. M.; MEIRA, C. A. A. Árvore de decisão para classificação de ocorrências de ferrugem asiática em lavouras comerciais com base em variáveis meteorológicas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 3, p. 590-599, maio/jun. 2014.

MEIRA, C.A.A.; RODRIGUES, L.H.A.; MORAES, S.A. de. Modelos de alerta para o controle da ferrugem-do-cafeeiro em lavouras com alta carga pendente. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, n. 3, p. 233-242, mar. 2009.

NIKKILA, R.; SEILONEN, I.; KOSKINEN, K. Software architecture for farm management information systems in precision agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 70, n. 2, p. 328-336, Mar. 2010. DOI: 10.1016/j.compag.2009.08.013.

ORTIZ, B. V. Climate and weather data for the farmer's site specific toolkit. In: THE INFOAG CONFERENCE, 2013, Springfield. **Program guide**. 2013. Disponível em: <http://infoag.org/abstract_papers/papers/abstract_144.pdf>. Acesso em: 25 set. 2014.

PAPAJORGJI, P. J.; PARDALOS, P. M. Advances in modeling agricultural systems. Springer, New York, 2009. 483 p. (Springer optimization and its applications, v. 25).

PESSOA, M. C. P. Y.; CHAIM, A. Programa computacional para estimativa de perdas de herbicidas aplicados por pulverização aérea. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n.1, p. 45-56, jan. 1999.

PIRES, J. L. F.; CORASSA, G. M.; RAMBO, A. C.; KERBER, L.; PASINATO, A.; DAMALGO, G. A.; SILVA JÚNIOR, J. P. da.; SANTI, A.; SANTI, A. L.; GUARIENT, E. M.; CUNHA, G. R. da.; STRIEDER, E. F. Aplicação de nitrogênio a taxa variável em cultura de trigo: estudo de caso na Unidade Piloto de Agricultura de Precisão de Não-Me-Toque, RS. In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 287-294. 1 CD-ROM.

POVH, F. P.; MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; PAULETTI, V.; MOLIN, R.; SALVI, J. V. Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 8, p. 1075-1083, ago. 2008.

QUEIRÓS, L. R. **Desenvolvimento de um sistema de controle para aplicação a taxa variada e em tempo real de fitorreguladores na cultura do algodoeiro**. 2010, 185 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010. Orientador: Paulo Sérgio Graziano Magalhães.

QUEIRÓS, L. R.; SHIRATSUCHI, L. S.; VINHAL, C. D. N. Desenvolvimento de um sistema protótipo para o mapeamento da altura de plantas de algodão. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 3., 2005, Sete Lagoas. [Anais...] Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005. p.1- 4.

QUEIRÓS, L. R.; LUCHIARI JUNIOR, A.; CAMARGO NETO, J.; MASSRUHÁ, S. M. F. S.; INAMASU, R. Y.; SPERANZA, E. A.; EVANGELISTA, S. R. M. **Análise das possibilidades e tendências do uso das tecnologias da informação e comunicação em agricultura de precisão**. In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 97-108. 1 CD-ROM.

QUEIRÓS, L. R.; SPERANZA, E. A.; BETTIOL, G. M.; FILIPPINI ALBA, J. M.; BERNARDI, A. C. de C.; INAMASU, R. Y.; GREGO, C. R.; RABELLO, L. M. **Gestão de recursos de informação em Agricultura de Precisão**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2011. 41 p. il. (Embrapa Informática Agropecuária. Documentos, 112).

RESENDE, A. V.; HURTADO, S. M. C.; VILELA, M. F.; CORAZZA, E. J.; SHIRATSUCHI, L. S. Aplicações da agricultura de precisão em sistemas de produção de grãos no Brasil. In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 194-208. 1 CD-ROM.

RONDEAUX, G.; STEVEN, M.; BARET, F. Optimization of soil-adjusted vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.55, n. 2, p. 95-107, Feb. 1996. DOI: 10.1016/0034-4257(95)00186-7.

RUSTEN, E.; RAMIREZ, S. **Future direction in agriculture and information and communication technologies (ICTs) at USAID**. New York: Academy for Educational Development, 2003. Disponível em: <http://www.winrock.org/agriculture/files/ag_ict.pdf>. Acesso em: 22 set. 2014.

SCHEPERS, J. S.; SHANAHAN, J. F.; LUCHIARI JR, A. Precision agriculture as a tool for sustainability. In: BALAZS, E.; GALANTE, E.; LYNCH, J. M.; SCHEPERS, J. S. (Ed.) **Biological Resource Management: connecting science and policy**. Berlin ; New York : Springer, 2000. p. 129-135, 2000.

SHANAHAN, J. F.; DOERGE, T.; SYNER, C.; LUCHIARI JUNIOR, A.; JOHNSON, J. Feasibility of variable rate management of corn hybrids and seeding rates in the great plains. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5., 2000, Minneapolis. **Proceedings...** Minneapolis: University of Minnesota, 2000.

SHANAHAN, J. F.; SCHEPERS, J. S.; FRANCIS, D. D.; VARVEL, G. E.; WILHELM, W. W.; TRINGE, J. M.; SCHLEMMER, M. S.; MAJOR, D. J. Use of remote sensing imagery to estimate corn grain yield. **Agronomy Journal**, Madison, v. 93, p. 583-589, May/June, 2001

SHIRATSUCHI, L. S.; QUEIROS, L. R.; VINHAL, D. N. Mapeamento da altura de plantas de algodão utilizando sensor ultrassom. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 3., 2005, Sete Lagoas. [Anais...]. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005. p. 1-4. 1 CD-ROM.

SHIRATSUCHI, L. S.; VALE, W. G. do; MALACARNE, T. J.; SCHUCK, C. M.; SILVA, R. G.; OLIVEIRA JÚNIOR, O. L. de. Algoritmos para aplicações de doses variáveis de nitrogênio em tempo real para produção de milho safra e safrinha no Cerrado. Embrapa Instrumentação. In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2014. p. 224-230. 1 CD-ROM.

SHIRATSUCHI, L. S.; VILELA, M. F.; FERGUSON, R. B.; SHANAHAN, J. F.; ADAMCHUK, V. I.; RESENDE, A. V.; HURTADO, S. C.; CORAZZA, E. J. Desenvolvimento de um algoritmo baseado em sensores ativos de dossel para recomendação da adubação nitrogenada em taxas variáveis. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. **Agricultura de Precisão: um novo olhar**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 184-188.

SPERANZA, E. A.; QUEIRÓS, L. R.; RABELLO, L. M.; GREGO, C. R.; BRANDÃO, Z. N. Armazenamento e recuperação de dados georreferenciados de condutividade elétrica do solo na Rede de Agricultura de Precisão da Embrapa. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. de C. (Ed.). **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2011. P. 46-50.

THURMAN, M. E.; HEINIGER, R. W. Evaluation of variable rate Pix (mepiquat chloride) application by soil type. In: BELTWISE COTTON CONFERENCE, 1999, Memphis. **Proceedings...** Memphis: National Cotton Council of America, 1999. p. 524-526.

THURMAN, M. E.; HEINIGER, R. W. Using GPS to scout cotton for variable rate Pix (mepiquat chloride) application. In: BELTWISE COTTON CONFERENCE, 1998, San Diego. **Proceedings...** Memphis: National Cotton Council of America, 1998. p. 1499-1503.

TORRE NETO, A. **Rede de sensores sem fio e computação ubíqua na agropecuária**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2009. 18 p. (Embrapa Instrumentação Agropecuária. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 31). Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/658283>>. Acesso em: 22 set. 2014.

WOLF, S. A.; WOOD, S. D. Precision farming: environmental legitimation, commodification of information, and industrial coordination. **Rural Sociology**, Auburn, v. 62, n. 2, p. 180-206, June, 1997. DOI: 10.1111/j.1549-0831.1997.tb00650.x.