

GeoFielder-Net: Sistema para scouting no campo**

Lúcio André de Castro Jorge^{1*}, André Di Thommazo^{2*}, Vinicius Valls³, Daniel Caio de Lima³, Aried de Aguiar Sá³, Pedro Pavan³, Ricardo Y. Inamasu^{4*}

¹ Pesquisador, Embrapa Instrumentação, Rua XV de Novembro, 1452, São Carlos, SP, Brasil

² Professor, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Rod. Washington Luís, Km 235 AT-6, CEP 13565-905, São Carlos, SP, Brasil

⁴ Bolsista, Embrapa, Rua XV de Novembro, 1452, São Carlos, SP, Brasil

⁴ Pesquisador, Embrapa Instrumentação, Rua XV de Novembro, 1452, São Carlos, SP, Brasil

*e-mail: lucio@cnpdia.embrapa.br; andredt@gmail.com; ricardo@cnpdia.embrapa.br

**Financiamento Rede Agricultura de Precisão Embrapa e Projeto CNPq nº 578627/2008-6

Resumo: Este trabalho apresenta o software gratuito desenvolvido para levantamento georeferenciado no campo, denominado GEOFIELDER-Net, GeoFielder versão para Netbooks. Este sistema está sendo utilizado no projeto Rede de Agricultura de Precisão coordenada pela Embrapa e será integrado nas ferramentas de análise de inspeção nas estações experimentais do projeto. Também deverá ser distribuído gratuitamente. Neste artigo, apresenta-se as principais funcionalidades e ferramentas testadas na unidade piloto produtora de citros de São Paulo.

Palavras-chave: inspeção, agricultura de precisão.

GeoFielder-Net: A system for scouting field

Abstract: This paper presents the free software designed to scouting georeferenced datas in the field, GEOFIELDER-Net, the GeoFielder version for Netbooks. This system is being developed and used by Precision Agriculture Network coordinated by Embrapa and will be integrated as tools of analysis of inspections in the experimental areas. It should also be freely distributed. In this article, we present the main features and tools tested in the pilot plant of citrus production in São Paulo.

Keywords: scouting, precision agriculture.

1. Introdução

Avanços tecnológicos mostram que é possível alocar insumos com base nas necessidades de cada unidade do campo. Este é um método de administração cuidadosa e detalhada do solo e da cultura, para adequar as diferentes condições encontradas em cada parte da lavoura, tendo em vista, a não uniformidade intrínseca dos solos. Neste caso, o manejo é feito por unidades (centímetros ou metros), observando a variabilidade espacial. Essa técnica tem sido denominada de Agricultura de Precisão. (MORAN; INOUE; BARNES, 1997; MOLIN, 1997).

O desenvolvimento de softwares para computadores de mão utilizados na aquisição de dados e também no controle de sistemas, por serem uma plataforma com considerável capacidade computacional, portátil e de baixo custo, atualmente são muito estudados.

A proposta deste projeto foi a construção de uma plataforma computacional para captura e gerenciamento de informações georreferenciadas em propriedades rurais. No sistema é possível realizar o planejamento de missões em campo para captura de informações georreferenciadas como talhões, imagens, dados



Método de reconhecimento de padrões de plantas invasoras de folhas largas e estreitas da cultura do milho (*Zea mays* L.) baseado no uso de informações de textura e visão computacional

Paulo E. Cruvinel*¹, Décio Karam²*

¹ Pesquisador, Embrapa Instrumentação, São Carlos, SP, Brasil

² Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, Brasil

*e-mail: cruvinel@cnpdia.embrapa.br; karam@cnpms.embrapa.br

Resumo: É conhecido o fato de que o rendimento de uma cultura de milho (*Zea mays* L.) pode variar dependendo das espécies de plantas invasoras envolvidas, como também do seu número por área, período de competição, estágio de desenvolvimento da cultura e das condições de edafo-climáticas. Na cultura do milho a aplicação de herbicida de forma localizada e em taxa variável pode trazer subsídios ao produtor para que se possam minimizar os impactos econômicos e ambientais, bem como maior competitividade. Este trabalho apresenta um método baseado em visão computacional para a construção de mapas de aplicação de herbicida em taxa variável dedicado a plantas invasoras de folhas largas e estreitas da cultura do milho.

Palavras-chave: agricultura de precisão, planta invasora, produção de milho, tomada de decisão, visão computacional.

*A pattern recognition method for weeds in a maize crop (*Zea mays* L.) based on both geometries of the narrow and broad leaves, the information of texture, and use of computer vision*

Abstract: It is well known that the yield of a crop of corn (*Zea mays* L.) may vary depending on the weed species involved, as well as the number of plants per area, competition period, stage of culture development, and due to soil and climatic conditions. In the management of the herbicide in maize culture the application can be based on the weed localization and with variable rate. Using such procedure the producer may find benefits to minimize the economic and environmental impacts, as well as to increase competitiveness. This paper presents a method based on computer vision to construct maps georeferenced for herbicide application, which are function of the geometric information of the weed leaves, broad or narrow leaves format, present in the crop field.

Keywords: precision agriculture, weed, corn production, decision making, computer vision.

1. Introdução

O milho é um importante alimento humano e também tem sido amplamente utilizado para ração animal e em alguns países para a produção de energia. São várias as espécies e variedades de milho, sendo que todas elas são pertencentes ao gênero *Zea* (gênero botânico pertencente à família Poaceae. *Zea mays* ssp. *Mays*, sendo o único táxon domesticado). No Brasil, cerca de 20% de produção brasileira se destina ao consumo humano. Assim como em outras culturas de cereais, na cultura do milho há ocorrência de plantas invasoras (KARAM; MELHORANÇA; OLIVEIRA, 2006), o que tem motivado a procura de melhor gerenciamento do processo produtivo da agricultura, visando competitividade e controle dos problemas causados pelas técnicas de manejo, que envolvem a qualidade da água, do ar e dos alimentos.

Pesquisadores têm buscado meios para reduzir a quantidade de defensivos e o impacto sobre o meio ambiente e a variabilidade espacial das plantas invasoras têm sido objeto de estudo e neste caso a agricultura de precisão tem se mostrado útil (TSCHIEDEL; FERREIRA, 2002). A detecção de plantas invasoras através do sensoriamento remoto orbital ainda possui limitações quanto à resolução espacial e temporal. Entretanto, existe potencial para utilização de sistemas de visão artificial como sensores que possam promover a coleta de dados para o auxílio aos processos de tomada de decisão.

Os avanços em processamento digital de imagens, o sensoriamento remoto, particularmente quando se faz uso de imagens digitais não orbitais, passou a ser uma importante estratégia a ser utilizada, as quais associadas ao estudo da variabilidade espacial das culturas e das plantas invasoras podem resultar em equipamentos para o manejo localizado de culturas em taxa variável e em tempo real (THOMPSON; STAFFORD; MILLER, 1990; ALVES et al., 2002; CRUVINEL; KARAM, 2010).

Segundo Tian, Reid e Hummel (1999), pesquisas realizadas nos Estados Unidos têm mostrado que o gerenciamento espacial e os sistemas de aplicações localizadas possuem grande potencial de diminuição do uso de agrotóxicos agrícolas.

Sabe-se que a ocorrência de algumas espécies de plantas invasoras se dá em reboleiras, devido à forma de propagação das mesmas. Bressan e colaboradores (BRESSAN et al., 2008) tratam da classificação do risco de infestação por plantas invasoras usando técnicas geoestatísticas e análise de imagens.

Este trabalho apresenta um método de reconhecimento de padrões de plantas invasoras de folhas largas e estreitas para auxílio ao processo de decisão de aplicações de herbicidas com taxa variável em campos agrícolas da cultura do milho (*Zea mays* L.).

2. Material e métodos

A Figura 1 ilustra a arquitetura estabelecida para identificação da área de plantas invasoras de folhas largas e estreitas da cultura do milho (*Zea mays* L.) para manejo baseado em agricultura e precisão. O modelo de abordagem considera etapas de coleta da informação geo-referenciada, pré-processamento para qualificar a informação de interesse, construção de mapa de textura, extração de características geométricas, geração de mapas de plantas invasoras de folhas largas e estreitas, integração de resultados e geração de mapa de recomendação para a aplicação de herbicida em taxa variável. Utilizou-se assim, como método de reconhecimento das plantas invasoras técnicas de visão computacional e algoritmos de processamento de imagens. A etapa do processamento que subtrai componentes da imagem de entrada permite extrair das mesmas, informações que não são oriundas das plantas invasoras (informações de fundo, como palha, milho e solo).

A partir das imagens que contenham apenas plantas invasoras é a planta invasora selecionada para reconhecimento com base na utilização de descritores computacionais baseado em textura e nas características geométricas dos objetos a serem identificados (SANTOS; CRUVINEL, 2008). O mapa de textura é calculado com janelamento de 30 × 30 pixels. As medidas estatísticas foram realizadas considerando a matriz de co-ocorrência e o contraste das imagens.

As imagens foram adquiridas em um campo experimental com 38 ha. de área da Embrapa Milho e Sorgo (Rodovia MG 424 km 45 - Sete Lagoas, MG, Brasil), dividido em 41 parcelas espaçadas de 100,0 × 100,0 m e com área de 12 m² (4,0 × 3,0 m). Para a aquisição das imagens foi utilizada uma câmera digital da marca Canon, modelo PowerShot Pro 1, com 180 pixels/polegadas de resolução, a qual apresenta tamanho de imagens de 600 × 600 pixels no espectro visível e um quadro de madeira medindo 0,5 × 0,5 m como elemento de escala para a caracterização de dimensões das plantas e quadro de captação.

Foram consideradas para análise plantas invasoras de folhas largas e de folhas estreitas, conforme ilustra a Figura 2, as quais são impactantes para a cultura do milho.

A planta invasora Leiteira (*Euphorbia heterophylla* L.) tem suas folhas ao longo do caule, com gemas nas axilas. São glabras, medindo de 4 a 10 cm de comprimento. As folhas inferiores são alternadas

e lanceoladas, enquanto as superiores são opostas ou verticiladas. Abaixo das inflorescências há maior concentração de folhas. A planta invasora Picão-preto (*Bidens pilosa*) tem folhas pecioladas, opostas no caule e ramos, de formato ovalado ou lanceolado; coloração verde, podendo ter tonalidades violáceas; podem ocorrer folhas simples ou compostas, com até 8 cm de comprimento por 4 cm de largura; folhas com margens serradas, com ou sem a presença de pêlos.

A planta invasora de folhas estreitas Capim-colchão (*Digitaria sanguinalis* Scop.) tem folhas com até 15 cm de comprimento e 12 mm de largura, as lâminas são planas, com margens lisas; podem apresentar pêlos em sua extensão.

A coloração é verde, podendo adquirir cor arroxeada quando em condições desfavoráveis.

Por outro lado, a planta invasora Capim-carrapicho (*Cenchrus echinatus* L.) tem folhas presentes em grande quantidade e distribuídas sobre os colmos. Lâmina foliar plana, com pêlos na parte de cima

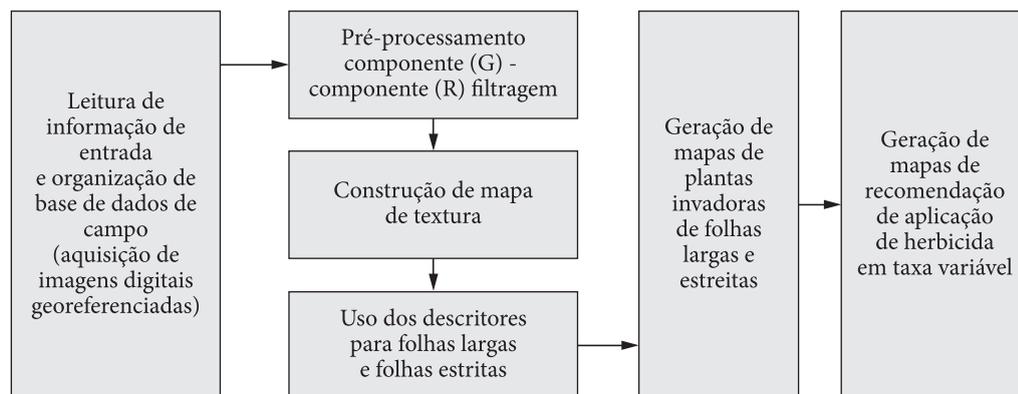


Figura 1. Diagrama de blocos da arquitetura para identificação da área de ocupação de plantas invasoras de folhas largas e estreitas da cultura do milho (*Zea mays* L.) e respectivo mapa de aplicação de herbicida em taxa variável.



Figura 2. Fotos de plantas invasoras da cultura do milho. Folhas largas: a) Leiteira (*Euphorbia heterophylla* L.), b) Picão-preto (*Bidens pilosa*). Folhas estreitas: c) Capim-colchão (*Digitaria sanguinalis* Scop.), d) Capim-carrapicho (*Cenchrus echinatus* L.) respectivamente.

e lisa na parte de baixo. Medem de 10 a 30 cm de comprimento por 5 a 10 cm de largura. Tem também, bainha lisa ou com pequena quantidade de pêlos marginais na parte superior com anéis de pêlo branco.

O sistema foi desenvolvido utilizando-se o Builder C++ 5.0 da Borland, sendo executado em um processador *Intel Core 2 Duo P8600 2,40 GHz*, 4,0 GBs de memória RAM e sistema operacional *Windows 7*.

3. Resultados e discussão

A Figura 3 ilustra o mapeamento para um dos quadros de amostragem de área de ocupação de plantas invasoras de folhas largas, o qual foi realizado com base no sistema descrito, o qual possibilitou observar a variabilidade na ocupação e a derivação para um mapa de recomendação para aplicação de herbicida em taxa variável. A textura que é um atributo espacial tem origem na sensação visual causada pelas variações tonais existentes em uma determinada região da imagem. Neste trabalho, foi utilizada como elemento para a segmentação sobre os atributos espaciais da imagem no seu processamento. Foi utilizada a abordagem do contraste, com a extração de janelas pertencentes a uma determinada classe. Da análise do contraste provém da matriz de concorrência dos níveis de cinza. Através do

cálculo do valor desses atributos em diversas imagens, constatou-se que existem relações entre eles. A granularidade definida para a textura foi estabelecida em relação ao objeto de análise, ou seja, plantas invasoras que foram selecionadas como classes presente na imagem que se deseja classificar. A subtração das componentes $(g_{i,j}-r_{i,j})$ traz como conseqüência a minimização do efeito de iluminação do ambiente. A aplicação do filtro de mediana possibilitou a filtragem dos ruídos da imagem, como também para tornar bordas mais nítidas em algumas situações.

As infestações das plantas invasoras normalmente não ocorrem de modo uniforme nas áreas agrícolas e com o uso das técnicas do processamento de imagens sua variabilidade espacial e localização puderam ser determinadas. Desta forma, a variabilidade espacial e a densidade de plantas invasoras podem estar associadas a mapas de infestação, os quais poderão ser utilizados como referência no controle da aplicação dos herbicidas. Uma vez realizado o mapeamento da taxa de ocupação de plantas invasoras de folhas largas ou estreitas torna-se possível à consolidação da informação para a recomendação de aplicação de herbicida em taxa variável, específicos para cada modalidade de planta invasora considerada. Os resultados mostraram uma taxa de acerto em ambiente de campo da ordem de 84% para folhas largas e 79% para folhas estreitas.

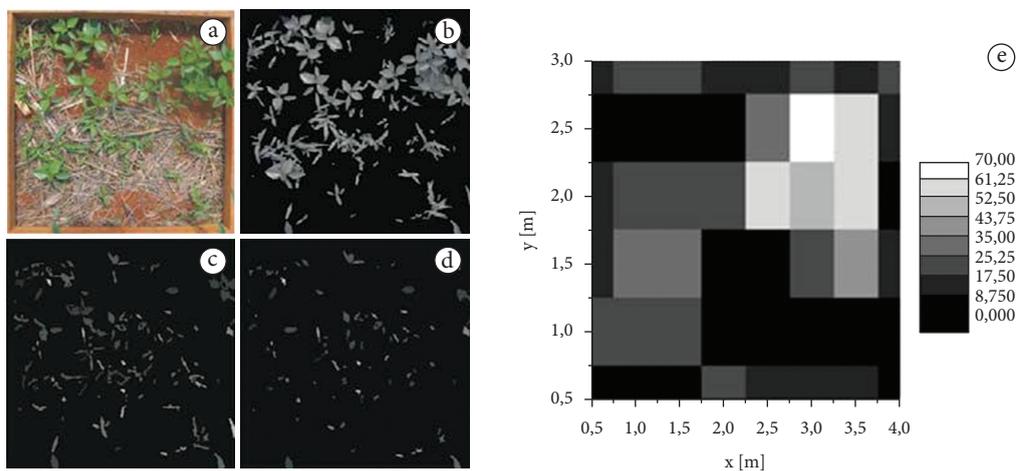


Figura 3. Fases de processamento considerando um caso para folhas largas onde: a) imagem digital de entrada, b) imagem resultante após a retirada de informações de solo, palha e ruídos de alta frequência, c) mapa de textura, d) mapa de plantas invasoras de folhas largas, e) mapeamento da taxa de ocupação de plantas invasoras de folhas largas em uma parcela de 12m² (4 × 3 m), com sitio de informação de ocupação amostrado em uma área de 0,5 × 0,5 m.

4. Conclusões

Foi apresentado um sistema para mapear a área de ocupação de plantas invasoras de folhas largas e estreitas da cultura do milho, o qual foi fundamentado com base em visão computacional e ferramentas da agricultura de precisão. **Resultados dos estudos de caso real mostraram que sua importância encontra aplicação não somente para o controle de plantas invasoras para ganhos de produtividade da cultura, mas também como instrumento para diminuir o impacto econômico e ambiental do uso de herbicidas com base no uso de mapas de aplicação em taxa variável, o que é de interesse para o produtor.**

Agradecimentos

Os autores agradecem a Embrapa no âmbito da Rede em Agricultura de Precisão (Macro Programa 1, Processo: 01.09.01.002.01) e de projeto apoiado pelo CNPq (Processo: 306988/2007-0).

Referências

ALVES, E. A.; KHOURY JUNIOR, J. K.; PINTO, F. A. C.; QUEIROZ, D. M. Classificação de Plantas Daninhas Utilizando Características Texturais em Imagens Digitais. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2., 2002, Viçosa. **Anais...** Viçosa, 2002. CD ROM.

BRESSAN, G. M.; KOENIGKAN, L. V.; OLIVEIRA, V. A.; CRUVINEL, P. E.; KARAN D. A classification methodology for the risk of weed infestation using fuzzy logic. **Weed research**, v. 48, p. 470-479, 2008. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3180.2008.00647.x>

CRUVINEL, P. E.; KARAM, D. Construção de mapas de aplicação em taxa variável de herbicida para cultura do milho (*Zea mays* L.) com base em visão computacional e ocupação de plantas invasoras de folhas largas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO - ConBAP, 2010, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto, 2010.

KARAM, D.; MELHORANÇA, A. L.; OLIVEIRA, M. F. **Plantas daninhas na cultura do Milho**. Embrapa Milho e Sorgo, 2006. (Circular Técnica).

SANTOS, A. P. O.; CRUVINEL, P. E. Desenvolvimento de um modelo de descritores de imagens para reconhecimento de padrões de plantas invasoras (folhas largas e folhas estreitas). In: ENCONTRO DE MODELAGEM COMPUTACIONAL, 2008, Volta Redonda. **Anais...** Volta Redonda, 2008. CD-ROM

THOMPSON, J. F.; STAFFORD, J. V.; MILLER, P. C. H. Selective application of herbicides to UK cereal crops. In: ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 1990, St. Joseph. **Proceedings...** St. Joseph, 1990. Mich. Paper nº 901629.

TIAN, L.; REID J. F.; HUMMEL, J. W. Development of a precision sprayer for site-specific weed management. **Transactions of the ASAE**, v. 42, n. 4, p. 893-900, 1999.

TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M. F. Introdução a agricultura de precisão: conceitos e vantagens. **Ciência Rural**, vol. 32, n. 1, 2002.

de questionários personalizados ou anotações. Após essas informações terem sido capturadas elas são recuperadas e descarregadas em um software gerenciador. Com essas informações é possível a geração de mapas no formato *shapefile* e relatórios. Por fim, os mapas gerados podem ser disponibilizados na Internet.

2. Material e métodos

O sistema foi implementado na linguagem C#, com o ambiente de desenvolvimento Visual Studio 2010. Essa plataforma permite desenvolvimento de interface com boa usabilidade, atendendo assim o público para o qual está sendo desenvolvido. Além disso, existem várias bibliotecas prontas que auxiliam no projeto, principalmente com relação à construção de interfaces visuais. Explorou-se também geração de relatórios com uso do Crystal Reports. Para a persistência dos dados foi utilizado o banco de dados PostgreSQL no Gerenciador e banco de dados SQLite no coletor de dados (NetBook). Dessa forma é possível que vários inspetores realizem missão em campo coletando dados e que todas as informações sejam centralizadas em um banco de dados único, após sincronização das informações.

A Figura 1 ilustra o funcionamento do sistema GeoFielder, destacando as funcionalidades e locais onde são executadas.

Como pode ser observado na Figura 1, o sistema tem dois módulos. O módulo Gerenciador é

utilizado no escritório da fazenda, onde são planejadas as missões em campo, definidos os questionários que serão aplicados assim como os operadores e talhões envolvidos nas missões. Uma vez que a missão é planejada, ela deve ser exportada para o módulo Coletor onde os operadores buscam em campo as informações solicitadas, através da resposta às perguntas do questionário, captura de imagens ou observações.

Depois que as informações são coletadas elas devem voltar ao módulo Gerenciador, onde são produzidos mapas e relatórios a partir dos dados coletados.

É importante observar que os dados que serão buscados em campo podem ser personalizados de acordo com a necessidade do usuário. Os questionários de inspeção, por exemplo, permitem que sejam inseridas questões objetivas (com resposta única), subjetivas (para registro de observações dos operadores em campo), questões de múltiplas escolhas ou questões numéricas. Na Figura 2 apresenta-se a tela onde um questionário é criado. Ressalta-se ainda que podem ser inseridas dependências entre as perguntas, de forma a facilitar a execução da tarefa de coleta de dados em campo.

Na Figura 3 pode ser observado um exemplo de execução de missão no campo. A interface permite que a qualquer momento o usuário possa responder o questionário de inspeção ou fazer a captura de uma foto. É possível visualizar posicionamento do operador no talhão com a indicação dos pontos



Figura 1. Arquitetura do sistema GeoFielder.



Figura 2. Exemplo de interface para criação de questionários de inspeção.

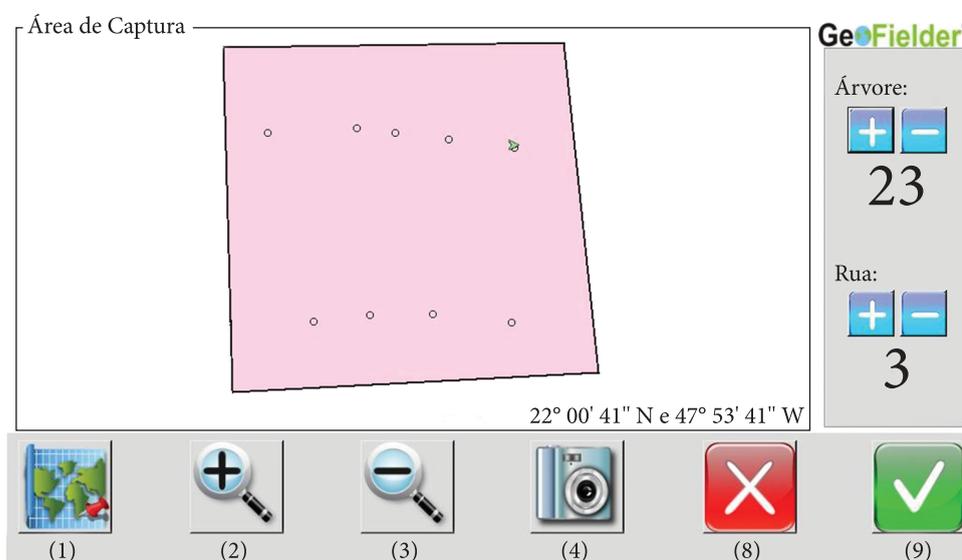


Figura 3. Exemplo de interface durante a execução de missão.

que já foram capturados, podendo ainda indicar a posição de árvore e rua, nos casos de culturas que trabalhem com esse tipo de registro.

3. Resultados e discussão

O sistema GeoFielder dá suporte a coleta de dados no campo e está em fase final de validação em campo. Estão sendo realizados testes em um estudo de caso com o processo de inspeção de citros junto a uma fazenda do Grupo Fischer, verificando todas as limitações de usabilidade e dificuldades de operação em campo.

Foi adotado o NetBook como plataforma de uso no campo, no entanto, para que esta se viabilize, alguns ajustes estão sendo feitos, como por exemplo o uso de um suporte para levar em campo o sistema de tal forma que não fique complicado segurar e ao mesmo tempo caminhar, baterias reserva que são também gargalos na operação, iluminação da tela, pois a claridade presente no ambiente pode dificultar a visualização na tela. Neste último, foi adotado uma interface com botões grandes, bem contrastantes para que seja fácil a operação no campo. A utilização e aplicação do sistema GeoFielder nos processos de inspeção praticados pelo Grupo Fischer está dando

subsídios para as propostas de melhoria do sistema, pois as características dos talhões, o número de plantas, a forma de navegar para minimizar tempo no campo, bem como as condições de uso em plataforma de inspeção tem apontado os gargalos no uso e a busca de soluções. Essas melhorias já deverão estar implementadas na primeira versão do sistema. Outras funcionalidades estão sendo desenvolvidas, como a visualização dos dados e geração de uma interface utilizando a ferramenta I3Geo, hoje utilizada pelos órgãos do governo para divulgação de dados e mapeamentos.

Todas as simulações realizadas em campo foram conduzidas de forma individual, devido à limitação de equipamentos. Dessa forma, a avaliação dos impactos causados pelo uso da tecnologia móvel no desempenho dos Inspetores de Campo em suas atividades, teve caráter amostral. Observou-se que a uso da tecnologia móvel em substituição ao processo manual de inspeção, resultou em maior tempo de execução na coleta de informações em campo, algo que pode ser minimizado à medida que o usuário for devidamente treinado e se familiarizar com a tecnologia. Por outro lado, a precisão e integridade da informação foram mais satisfatórias com a utilização da tecnologia móvel. Além dessa qualidade da informação, gasta-se um menor tempo para consolidar as informações de diversos inspetores em um banco de dados único e confiável, favorecendo a velocidade na tomada de decisão.

4. Conclusões

O GeoFielder-Net, a versão do GeoFielder para Netbooks está praticamente pronta, podendo ser utilizada no projeto em rede de Agricultura de Precisão a partir da próxima safra monitorada.

Deverão ser realizadas futuramente o desenvolvimento de novas ferramentas e também a geração da versão para outros dispositivos móveis, como celulares e tablets, utilizando-se o Android.

Apesar de o software apresentar uma boa interface, ainda nota-se que as limitações se encontram na operação em campo, como condições de poeira, luminosidade, peso do equipamento, dentre outros. Estes pontos estão em análise e deverão ser tratados ao longo do projeto.

No exemplo de operação da Fischer, onde cada talhão de citros possui perto de 10 mil plantas, foi necessário repensar a forma de varrer as linhas e ruas para que se aperfeiçoasse o tempo de captura de dados. Deve-se aproveitar o percurso do operador ou do veículo de inspeção para fazer a inspeção dos dois lados, ou seja, duas linhas, e voltar do lado oposto ao que foi iniciada a missão. Este simples processo de varredura e coleta, sendo que a coleta de cada linha deveria ser realizada por um equipamento distinto, que depois sincronizariam as missões e teria o mapeamento completo, fez com que o projeto sofresse alterações. Ou seja, vários pontos levantados durante a operação têm servido como validação de itens não levantados durante a fase de levantamento de requisitos. Além disso, deve variar de cultura para cultura e de fazenda para fazenda. O que se pretende ao final do projeto é ter um sistema em plena condições de operação em diferentes propriedades.

Agradecimentos

Agradecemos à Fischer pelo apoio no campo e fornecimento de suporte para realização de testes e validação, ao CNPq pelo financiamento pelo projeto Geotecnologias CNPq nº 578627/2008-6.

Referências

- MOLIN, J. P. Agricultura de precisão, parte I: O que é e estado da arte em sensoriamento. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 17, n. 2, p. 97-107, 1997.
- MORAN, M. S.; INOUE, Y.; BARNES, E. M. Opportunities and limitations for image-based remote sensing in precision crop management. *Remote Sensing Environment*, v. 61, p. 319-346, 1997.

Rede de sensores sem fio para monitoramento e controle de processos em ambiente agrícola

André Torre-Neto^{1*}, Raquel Ghini^{2*}

¹ Engenheiro Eletrônico, Pesquisador Dr., Embrapa Instrumentação, CP 741, CEP 13560-970, São Carlos, SP, Brasil

² Agrônoma, Pesquisadora Dra., Embrapa Meio Ambiente, CP 69, CEP 13820-000, Jaguariúna, SP, Brasil

*e-mail: andre@cnpdia.embrapa.br; raquel@cnpma.embrapa.br

Resumo: As mudanças climáticas devem interferir no cenário mundial da agricultura. Os seus impactos econômicos, sociais e ambientais podem ser positivos, negativos ou ainda neutros. Um tipo de experimento chamado FACE (*Free Air Carbon-dioxide Enrichment*) tem sido conduzido nos Estados Unidos, Reino Unido, Alemanha, Japão, Austrália, Itália, Dinamarca, entre outros países, para estudar particularmente os impactos do aumento da concentração de CO₂ atmosférico sobre as plantações. O primeiro experimento FACE da América Latina está sendo instalado no Brasil por um grupo de cientistas da Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Comparado aos projetos existentes, a implantação do FACE brasileiro inova com a utilização da tecnologia de rede de sensores sem fio. Neste trabalho são descritos os detalhes desta abordagem e apresentados os resultados preliminares obtidos. Apesar da instrumentação apresentada primariamente ter sido desenvolvida para um experimento FACE, ela tem características adequadas ao monitoramento e controle de processos no ambiente agrícola em geral.

Palavras-chave: rede de sensores sem fio, monitoramento ambiental, instrumentação agrícola.

Wireless Sensor Network for monitoring and controlling processes in the agricultural environment

Abstract: Climate change is considered one of humankind's greatest challenges in the near future. The climate change is expected to interfere in the scenario of worldwide agriculture. Its economic, social and environmental impacts can be positive, negative or neutral. A type of experiment known by FACE, *Free Air Carbon-dioxide Enrichment*, has been conducted in the USA, UK, Germany, Japan, Australia, Italy, Denmark, among other countries to study particularly the impacts of the CO₂ concentration increasing on crops. In Brazil, the first FACE experiment in South America is being installed by a group of scientists of Embrapa (Brazilian Agricultural Research Corporation). Compared to the existing FACE projects, the Brazilian implementation innovates with a wireless sensor network approach. In this article it is described the details for that implementation and presented the preliminary results. Despite of this instrumentation has been primarily developed for a FACE experiment it has adequate features for monitoring and controlling processes in the agricultural area.

Keywords: wireless sensor network, environment monitoring, agricultural instrumentation.



1. Introdução

A concentração de dióxido de carbono atmosférico vem aumentando nos últimos anos e esse aumento continuará por décadas (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2010). Tal aumento resulta em benefícios para o desenvolvimento das plantas. Porém, há poucos trabalhos publicados sobre os efeitos do aumento do CO₂ para a sanidade vegetal (GHINI; HAMADA, 2008). Testes conduzidos em ambientes controlados podem auxiliar na elucidação de efeitos isolados, mas, de modo geral, apresentam limitações. Podem não refletir a resposta das plantas nas condições de campo, onde há variações de interações entre temperatura, precipitação e outros fatores. A busca por condições mais realistas tem levado ao uso de câmaras de topo aberto (Open-top chambers, OTCs) ou experimentos com emissão de CO₂ a céu aberto (Free Air Carbon-dioxide Enrichment, FACE) como descrito por Hendrey e Miglieta (2006). No Brasil, o primeiro FACE está sendo instalado próximo à cidade de Jaguariúna, SP, por iniciativa de Embrapa, através do projeto “Impacto das Mudanças Climáticas Globais Sobre Problemas Fitossanitários”. Além do FACE, também estão previstos seis experimentos com OTCs espalhados pelo país (Belém, PA; Petrolina, PE; Sete Lagoas, MG; Londrina, PR; Jaguariúna, SP e Vacaria, RS). O FACE está planejado para estudos sobre as pragas e doenças do café e as OTCs sobre espécies florestais, maçã, pêssego, soja, uva, milho, algodão, forrageiras, mandioca e banana.

2. Material e métodos

Os FACES existentes consistem de um conjunto de anéis circundados por tubos perfurados que fazem a fumigação do CO₂. O diâmetro destes círculos variam e podem chegar a até 30 m. A principal questão operacional de uma instalação FACE está em se manter a flutuação e o gradiente da concentração de CO₂ dentro dos círculos em níveis aceitáveis diante, principalmente, das condições do vento. Muitas instalações seguem um arranjo octogonal da tubulação. Cada segmento do octógono tem uma válvula associada e um

controlador de fluxo para compensar as mudanças na velocidade e direção do vento. As OTCs têm círculos menores, cerca de 2 m de diâmetro, e são circundadas por um revestimento plástico com o topo afunilado e aberto. A instrumentação básica para experimentos FACE e OTCs normalmente consiste de um analisador de gás por infravermelho (*Infra Red Gas Analyzer, IRGA*) para medir a concentração do CO₂, um anemômetro, válvulas liga/desliga e proporcionais, além de sensores ambientais como, temperatura e umidade relativa do ar, precipitação e radiação solar. A inovação planejada para o FACE e OTCs brasileiros é a utilização de uma instrumentação baseada na tecnologia de rede de sensores sem fio. Trata-se de uma tecnologia já presente no campo agrícola (WANG et al., 2006) e de domínio do grupo responsável pela implantação destes experimentos (TORRE-NETO et al., 2005). A expectativa é facilitar a instalação e manutenção do sistema, além de melhorar sua compatibilidade eletromagnética, visto que no país a incidência de raios é uma questão relevante.

Decidiu-se adquirir sensores e atuadores convencionais e adaptá-los a módulos de comunicação sem fio via um circuito de interface para propósito geral. Na Tabela 1 é mostrada uma lista dos dispositivos escolhidos e as características relevantes consideradas no desenvolvimento da interface. O Sensor 1 de CO₂, o IRGA GMP343, foi escolhido para o experimento FACE e o Sensor 2, o IRGA GMM222, foi adquirido para as OTCs. Os sensores climatológicos, ou seja, o anemômetro, o sensor de temperatura e umidade do ar, o pluviômetro e o sensor barométrico são todos partes do mesmo instrumento, a estação climatológica WXT520.

Os módulos de rede sem fio foram comprados da empresa Telegesis Inc. [UK], especificamente a série ETRX3. Eles incorporam o protocolo ZigBee no padrão IEEE 802.15.4 e operam na frequência de 2.4 GHz. O alcance esperado está na faixa de 100 m entre eles e operando com antena interna, incorporada na placa do módulo. Possuem todas as entradas e saídas analógicas e digitais necessárias para interface com os dispositivos previstos, o que inclui uma interface serial e cinco temporizadores.

O desenvolvimento do software é facilitado por um conjunto de comandos AT, que inclui operações tanto para o estabelecimento e manutenção da rede, como para acesso às portas e conversão analógico/digital.

O diagrama em blocos deste circuito é apresentado na Figura 1a. Este circuito básico foi utilizado para a interface de todos os dispositivos listados na Tabela 1. Na Figura 1b é mostrada a implementação

do dispositivo sem fio para o IRGA GMM222. Devido ao elevado consumo de energia desta sonda, foi utilizada a opção de bateria externa de chumbo-ácido associada a um painel fotovoltaico e controlador de carga.

A comunicação entre um microcomputador e os dispositivos da rede sem fio é proporcionada por um circuito de interface USB-ZigBee, também adquirido da empresa Telegesys. Baseando-se no

Tabela 1. Lista dos sensores e atuadores e as características consideradas no desenvolvimento do circuito para interface de propósito geral.

Dispositivo	Princípio de funcionamento	Sinal de interface / Protocolo	Requisitos de energia (W)	Tempo de resposta (s)	Fabricante	Modelo / Comentários
CO ₂ Sensor 1	IRGA	Serial RS-232/ ASCII ou analógico (0-2.5 V)	A 12 Vdc (11 to 36): 1 (max. 3.5)	2 (sem filtro)	Vaisala	GMP343 / Sonda por difusão
CO ₂ Sensor 2	IRGA	Serial TTL/ASCII ou analógico (0-2.5 V)	A 12 Vdc (11 to 20): 2.5	20	Vaisala	GMM222 / OEM / Difusão
Anemômetro	Ultrassom	Serial RS-232/ ASCII	A 12 Vdc (5 to 32): 0,036	0.25	Vaisala	WXT 520 / Estação Climatológica integrada em um único instrumento
Temperatura do ar	Capacitivo		(sem aquecimento do sensor de precipitação para caso de neve)	Imediato		
Umidade do ar	Capacitivo			Imediato		
Precipitação	Piezelétrico			Imediato		
Pressão Barométrica	Capacitivo			Imediato		
Radiação solar	Fotodiodo de silício	Analogico (mV)	Não há	Imediato	Li-cor	LI-90 (Quantum) e LI-200 (Piranômetro)
Controle de Fluxo	Diferença de temperatura com precisão	Serial RS-232/ ASCII ou analógico (0-5V)	A 12 Vdc: 9.6	2	Aalborg	GFC 17 com RS-232 opcional
Válvula Solenoide	“Latching”	Pulsos de corrente c/ polaridades direta e reversa	12 Vdc / 24W (Pulsos de 100ms)	Imediato	Jefferson	BA222-70

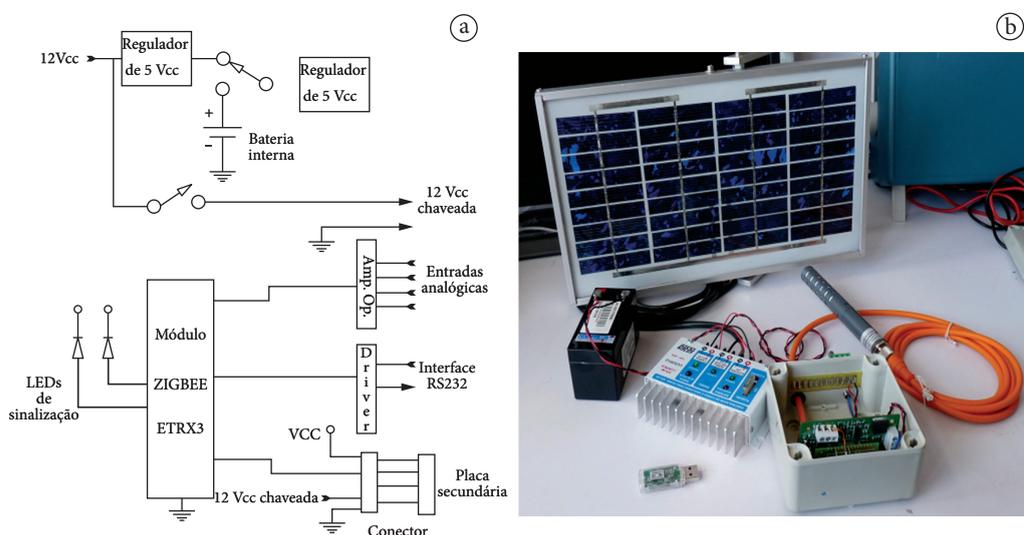


Figura 1. a) Diagrama em blocos do circuito da interface de propósito geral dos nós da rede de sensores sem fio e b) adaptação da sonda IRGA GMM222 como nó sem fio.

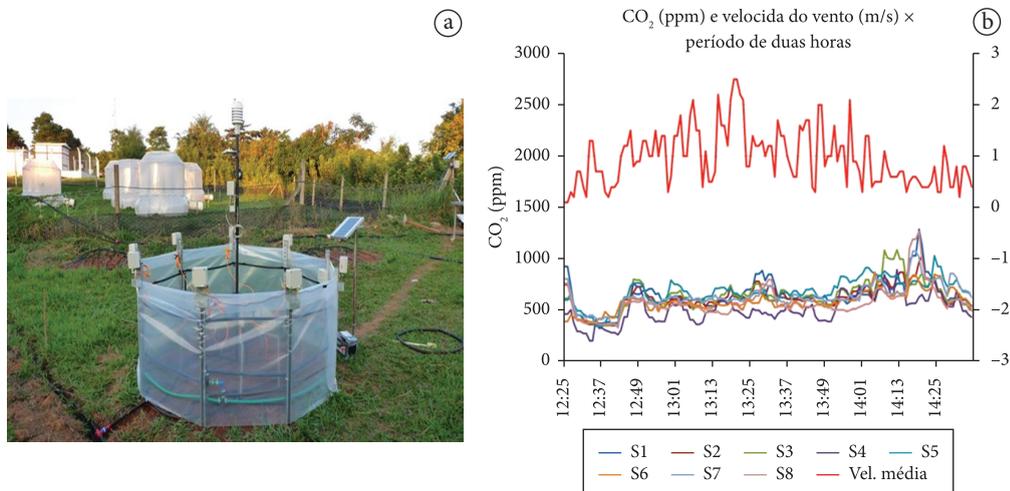


Figura 2. a) O experimento OTC implantado com a rede de sensores sem fio e b) avaliação de curto termo para verificar a variabilidade espacial do CO₂ em um anel dos anéis.

elenco de comandos AT, foi escrito um programa de controle e monitoramento das OTCs na linguagem de programação visual *LabView* versão 8.2.

3. Resultados e discussão

Um piloto do experimento OTC foi implantado com os dispositivos sem fio desenvolvidos (Figura 2a). Oito sondas de CO₂ IRGA GMM22 foram distribuídas em um anel, juntamente com uma estação climatológica WXT520 localizada no centro, a 2 m de altura. Um controlador de fluxo foi instalado para a se regular a injeção do CO₂. Este arranjo permitiu a fumigação controlada e o monitoramento da flutuação da concentração de CO₂ em função da velocidade e direção do vento. Com este teste preliminar conduzido em Jaguariúna, SP, obteve-se os gráficos mostrados na Figura 2b. Durante os 10 min iniciais não houve fumigação de CO₂. Em seguida o fluxo foi mantido constante a 3 L/min. Devido à distribuição das sondas, igualmente espaçadas ao longo da meia circunferência entre a borda e o centro da OTC, o efeito da direção do vento pode ser observado como mostra o gráfico do Sensor 4, o qual, na maior parte do tempo apresenta valores ligeiramente inferiores comparado com a média dos demais sensores. Uma possível explicação é a posição contra a direção predominante do vento.

4. Conclusões

A instrumentação sem fio não oferece tempos de atraso significativos e permite que as mudanças de concentração influenciadas pelo vento sejam rapidamente acompanhadas. Trabalhos futuros incluem testes operacionais com um número maior de nós sensores e a implementação do algoritmo de controle da fumigação para manter a concentração de CO₂ no nível desejado (usualmente em torno de 550 ppm). Para os anéis do FACE, além do controle do fluxo, as válvulas solenoide *Latching*, lembrando que há uma por seção do octógono, serão utilizadas para compensar também os efeitos da direção do vento.

Os circuitos, interfaces e softwares desenvolvidos deverão ser portados para um sistema de irrigação espacialmente diferenciada baseado em tecnologia de rede de sensores sem fio.

Agradecimentos

À Embrapa, através do Macroprograma 1, projetos “Impacto das mudanças globais sobre problemas fitossanitários” e “Agricultura de Precisão para a Sustentabilidade de Sistemas Produtivos do Agronegócio Brasileiro”; ao CNPq e à Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo, FAPESP, projeto INCT NAMITEC: <http://namitec.cti.gov.br/>.

Aos técnicos da Embrapa Instrumentação, especialmente ao Sr. Gilmar Victorino.

Referências

GHINI, R.; HAMADA, E. **Mudanças Climáticas: Impacto sobre Doenças e Plantas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa, 2008.

HENDREY, G. R.; MIGLIETA, F. FACE Technology: past, present and Future. In: NOSBERGER, J.; LONG, S. P.; NORBY, R. J.; STITT, M.; HENDREY, G. R.; BLUM, H. (Eds.). **Managed ecosystem and CO2**. Alemanha, 2006. v. 187.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/index.htm>>. Acesso em: out. 2010.

TORRE-NETO, A.; FERRAREZI, R. A.; RAZERA, D. E.; SPERANZA, E.; LOPES, W. C.; LIMA, T. P. F. S.; RABELLO, L. M.; VAZ, C. M. P. Wireless sensor network for variable rate irrigation in Citrus. In: FRUIT, NUT AND VEGETABLE PRODUCTION ENGINEERING SYMPOSIUM; INFORMATION & TECHNOLOGY FOR SUSTAINABLE FRUIT & VEGETABLE PRODUCTION, 7., 2005, Montpellier, França. **Proceedings...** Montpellier, 2005. CD-ROM.

WANG, N.; ZHANG, N.; WANG, M. Wireless sensors in agriculture and food industry-Recent development and future perspective. **Computer and Electronics in Agriculture**, n. 50, p. 1-14, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2005.09.003>

Aplicação de técnicas de processamentos de imagens para diferenciação do Greening de outras pragas**

Patricia Pedroso Estevam Ribeiro^{1*}, Maria Stela Veludo de Paiva^{2*},
Ricardo Yasushi Inamasu³, Lúcio André de Castro Jorge^{3*}

¹ Pós-graduando, Bolsista, Embrapa

² Professora, Departamento da Escola de Engenharia de São Carlos – EESC,
Universidade de São Paulo – USP, São Carlos, SP, Brasil

³ Pesquisador, Embrapa Instrumentação de São Carlos, SP, Brasil

*e-mail: patriciapedrosoestevam@hotmail.com; mstela@eesc.usp.br; lucio@cnpdia.embrapa.br

**Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor

Resumo: O greening é uma das mais graves doenças dos citros no Brasil. Causada pela bactéria *Candidatus Liberibacter spp.* é transmitida pelo inseto psíldeo *Diaphorina citri*, que ao se alimentar de uma planta doente transmite a doença às demais plantas. O greening apresenta manchas amareladas nas folhas, muitas vezes confundidas com deficiências nutricionais. **A erradicação da planta e o controle do inseto transmissor são as únicas formas de prevenção.** Atualmente, a determinação da severidade dessa doença e a proporção da área foliar manchada são feitas de forma visual. Este fato levou à proposta de desenvolvimento de um software que permita analisar imagens digitalizadas de folhas cítricas sintomáticas, quantificando a severidade das manchas e identificando a probabilidade desta ser o greening ou outras doenças similares. Foram fornecidas pela empresa FISHER 324 amostras de folhas cítricas. Estas amostras foram digitalizadas por um scanner de mesa, e em seguida, foi realizada uma segmentação por cor sobre as imagens digitalizadas, fazendo uso de uma rede neural artificial (RNA) *Perceptron Multicamada (PMC)* com algoritmo *backpropagation*. Os pixels da imagem RGB foram utilizados como entrada para a RNA PMC, para segmentar as manchas amarelas, do fundo verde da folha, e as áreas marrom com alguma necrose. As folhas foram divididas em quadrantes para análise, e foi calculada a porcentagem de cada classe. Com os dados gerados será definida uma técnica para diferenciar o greening das outras pragas, gerando uma escala diagramática para o usuário final. A metodologia para segmentar as folhas, separando as manchas amarelas, marrons e verdes, usando RNA PMC, mostrou ser adequada para o objetivo proposto.

Palavras-chave: escala diagramática, greening, métodos de segmentação por cor.

Application of image processing techniques to differentiate Greening from other pests

Abstract: The greening is one of the most serious diseases of citrus orchards present in Brazil. Caused by the bacterium *Candidatus spp. Liberibacter*, it is transmitted by the psyllid insect *Diaphorina citri*, and this insect feeding on a diseased plant, it transmits the disease to other plants. The greening presents as a symptom, yellowish spots on leaves, often confused with nutritional deficiencies. The eradication of plant and insect control transmitter are the only forms of prevention. Currently, determining the severity of the disease and the proportion of leaf area spotted are done visually. This fact led to the proposal of develop a software for analyzing images of symptomatic citrus leaves, quantifying the severity of the stains and identifying the likelihood of this being the greening or other similar diseases. The company FISHER provided 324 citrus leaf samples. These samples were scanned by a flatbed scanner and then, it was performed a segmentation by color on the scanned



images, using an artificial neural network (ANN) Multilayer Perceptron (MLP) with backpropagation algorithm. The RGB image pixels were used as input to the ANN MLP neural network to segment the yellow stains from the bottom of the green leaf, and brown areas showing necrosis. The leaves were divided into quadrants for analysis, and calculated the percentage of each class. With the data generated will be defined a technique to differentiate the greening of other pests, creating a diagrammatic scale for the end user. The methodology to segment the leaves, separating the yellow spots, brown and green, using ANN MLP, proved to be suitable for the proposed objective.

Keywords: diagrammatic scale, greening, segmentation methods by color.

1. Introdução

No Brasil, a produção de laranjas tanto para suco como para o consumo *in natural* vem crescendo em todo o país, com a produção estimada para os anos 2009 a 2010, de 318,6 milhões de caixas de 40,8 kg, sendo que deste montante 83,4% foi destinada à indústria e 16,6% para o consumo (INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA, 2010) e para os anos de 2011 a 2012 estima-se 357 milhões de caixas (FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2011). Apesar desta grande quantidade de plantas cítricas estarem expostas durante todo ano a vários ataques de pragas e doenças, somados à variabilidade genética muito baixa, conduzem à ocorrência de epidemias de doenças conhecidas e novas doenças, abalando a sustentabilidade do agronegócio.

Dentre essas doenças o greening, afeta todas as variedades cítricas e é umas das doenças que tem causado maior preocupação, sendo considerada atualmente a mais grave doença dos citros no mundo (BOVÉ, 2006). Causada pela bactéria *Candidatus Liberibacter spp.* é transmitida pelo inseto psilídeo *Diaphorina citri*, que ao se alimentar de uma planta doente transmite a doença às demais plantas. Por não possuir cura ou tratamento ou variedade porta-enxerto resistente à doença seu controle é realizado através de inspeção constante da plantas e do inseto transmissor. Os métodos existentes atualmente mais utilizados para diagnosticar a doença, pode-se citar o método de inspeção visual e a análise do PCR (*Polymerase Chain Reaction*) (INNIS et al., 1990). O PCR é um dos métodos, com maior precisão no diagnóstico, apesar de um método

caro e demandar tempo para análise. A inspeção visual é efetuada por técnicos treinados com dedicação exclusiva às inspeções que devem ser realizada periodicamente segundo o manual técnico da Fundecitrus (2010), num intervalo de dois meses, com a detecção e eliminação imediata de todas as plantas identificadas com o sintoma, embora observou-se a variação dos resultados, não somente entre as equipes, mas também entre as inspeções realizadas pela mesma equipe (BELASQUE JUNIOR et al., 2010). Destacando-se que a diferença de mensuração entre os inspetores depende da habilidade e condições físicas de cada um para discriminar o nível da doença na folhas. Buscando reduzir a subjetividade das estimativas de severidade entres os inspetores, melhorando a acurácia e precisão, levou o objetivo de desenvolver um software, que permitia analisar imagens de folhas sintomáticas digitalizadas, quantificando a severidade das manchas e identificando a probabilidade desta ser greening ou outras doenças com sintomas similares, nas folhas de citros, possibilitando gerar uma estimativa da propagação da doença no pomar de citros.

2. Material e métodos

Foram fornecidas pela empresa FISHER 324 amostras, divididas em seis tipos de folhas de citros com sintomas de doenças e deficiência nutricional, contendo 54 amostras para cada tipo de doença (Greening, CVC e Rubelose) e deficiência nutricional (Manganês, Magnésio e Zinco). Estas amostras foram selecionadas por um técnico agrônomo denominado pragueiro,

que identificou os sintomas, apenas por meio da inspeção visual, segundo instruções do manual técnico do greening, fornecido pela Fundecitrus (2009).

Para evitar problemas na segmentação das imagens devida à iluminação, as amostras foram digitalizadas por um scanner de mesa, com resolução de 100 DPI, e dimensão de 400 × 200 pixels, no modelo de cores RGB, utilizando somente a parte frontal da folha. Para evitar o cálculo de porcentagem de área foliar incorreta foi retirado o caule das folhas.

O software foi desenvolvido em linguagem *Java* no ambiente de desenvolvimento integrado *Netbeans*. Para o processamento das imagens utilizou-se a biblioteca *Imagem*, desenvolvida no laboratório de imagens e modelamento da Embrapa Instrumentação, a biblioteca *ImageJ*, a API da *Jai* (*Java Advanced Imaging*), a API da *Jxl* (*Java Excel*) para gerar as tabelas com o resultado em Excel. A Figura 1 apresenta as etapas de desenvolvimento para este trabalho: aquisição das imagens foliares; pré-processamento das imagens; treinamento da RNA; segmentação por cor; divisão da folha em quadrantes; aplicação da técnica para diferenciar o greening das outras pragas e geração da escala diagramática.

Neste trabalho foi utilizada uma RNA do tipo *Perceptron* multicamada (PMC) com o algoritmo

backpropagation, da API do *toolbox Weka* (2010), com o objetivo de realizar a segmentação da imagem por cor. Foram utilizadas três entradas, nas quais foram aplicadas as componentes de cor RGB de cada *pixel*; e três neurônios na saída que fornecem a porcentagem para cada classe de cor (verde, amarelo e marrom), representando as cloroses com a cor amarela, a folha com o verde e marrom para as necroses ou lesões. A classe foi definida, selecionando-se manualmente pixels da região da imagem pertencente à classe em questão, indicando o valor da saída a ser treinada. Para os testes, foram aplicadas nas entradas da RNA somente as informações referentes à folha, delimitada pelo contorno. Para que a segmentação fosse visualizada, foram atribuídas pseudocores para representar cada padrão, sendo amarelo para clorose, verde para folha sadia e marrom para as necroses ou lesões.

3. Resultados e discussão

Devido às manchas de greening apresentarem a cor amarela assimetricamente, foi proposta a divisão da folha em quadrantes para se determinar a porcentagem de cada cor utilizada em cada quadrante. Para a divisão da folha em quadrantes, foi determinado o centro de massa na coordenadas (xCM, yCM) e os pontos delimitadores do

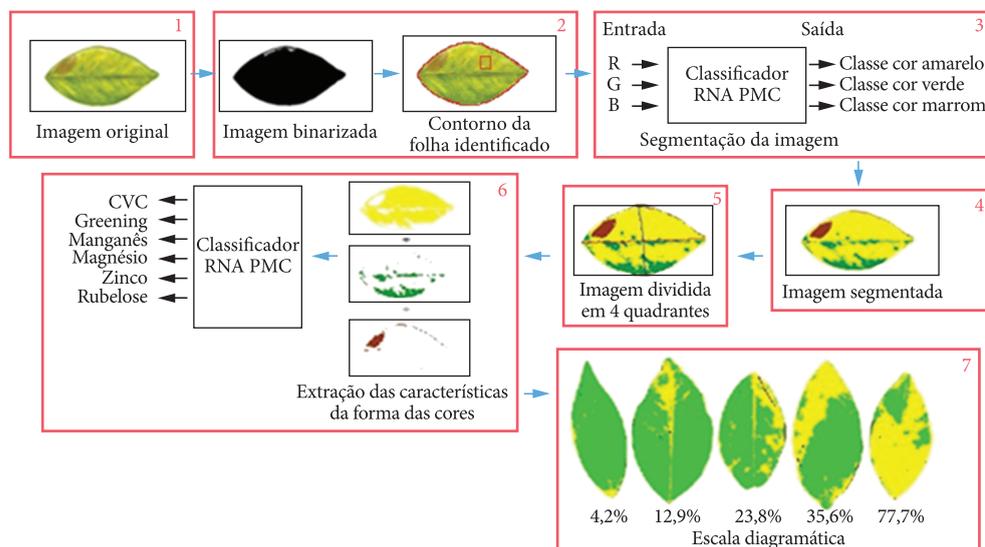


Figura 1. Etapas de desenvolvimento do trabalho.

momento central (α_{\min} , α_{\max} , β_{\min} e β_{\max}), conforme apresentado na Figura 2.

Para calcular os níveis de severidade serão considerados os valores de máximo e de mínimo de proporção de área foliar manchada com a cor amarela, como os limites da escala diagramática. Serão utilizados cinco níveis de severidade das doenças analisadas, conforme padrão adotado em campo pela FISCHER. As escalas diagramáticas foram geradas manualmente, para cada tipo de doença baseando-se nos resultados preliminares obtidos com a RNA PMC. A Figura 3a apresenta a escala diagramática da doença CVC, com os seguintes níveis de severidade: 56,69, 43,10, 27,86, 13,12 e 0,077%. Observa-se nas folhas a presença de pequenas manchas amareladas e irregulares,

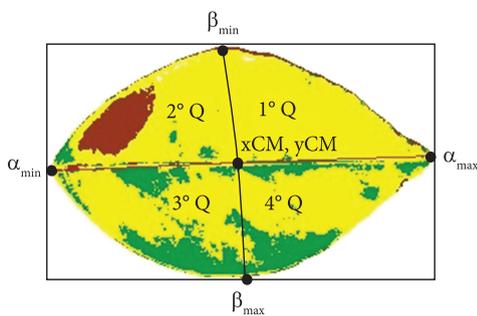


Figura 2. Imagem segmentada em quadrantes.

e lesões na cor marrom. A Figura 3b apresenta a escala diagramática para a deficiência de Magnésio, com os seguintes níveis de severidade: 57,27, 42,31, 28,87, 13,02 e 0,23%. Observa-se nas folhas o amarelecimento em forma de “V” invertido. A Figura 3c apresenta a escala diagramática para a deficiência de Manganês, com os seguintes níveis de severidade: 13,52, 9,81, 0, 6,71 e 3,54%. Observa-se nas folhas que as manchas são menores entre as nervuras, sendo menos acentuadas que na deficiência de Magnésio, além de serem distribuídas de uma forma mais simétrica. A Figura 3d apresenta a escala diagramática para a deficiência de zinco, com os seguintes níveis de severidade: 74,07, 54,247, 35,43, 17,56 e 3,05%. Observa-se que as folhas apresentam clorose acentuada do limbo entre as nervuras. A Figura 3e apresenta a escala diagramática para o greening, com os seguintes níveis de severidade: 83,34, 39,34, 28,93, 12,86 e 0,003%. Observa-se nas folhas a clorose assimétrica. A Figura 3f apresenta a escala diagramática para a Rubelose, com os seguintes níveis de severidade: 83,03, 65,22, 42,06, 21,87 e 0,307%. Observa-se nas folhas manchas amarelas com lesões.

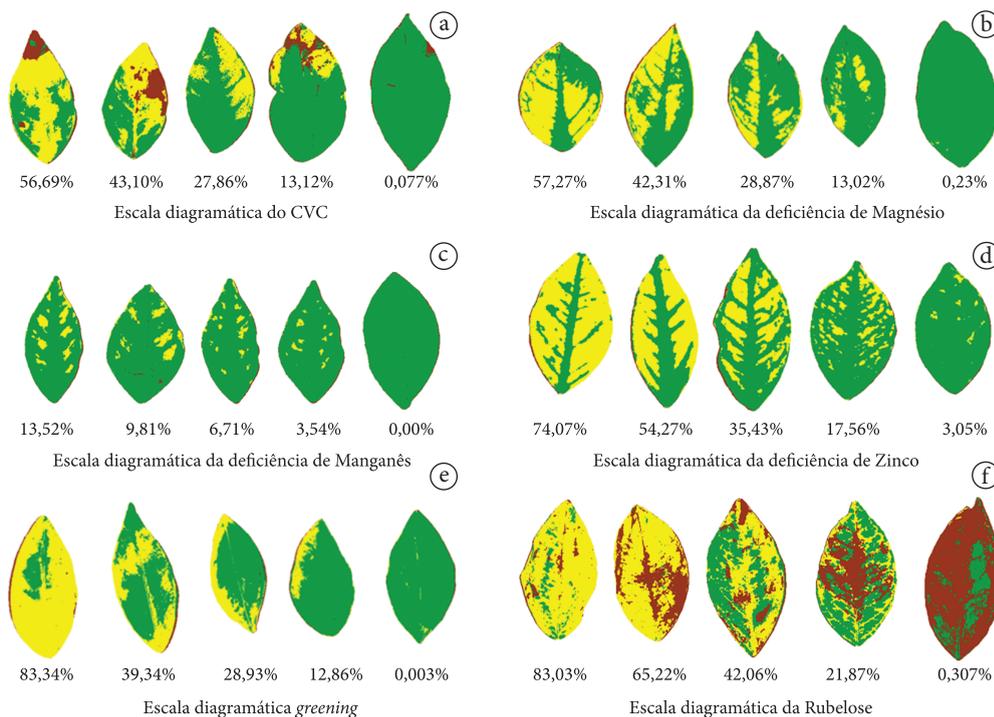


Figura 3. Escalas diagramáticas.

4. Conclusões

A proposta deste trabalho é aplicar técnicas de processamento de imagens em folhas de citros digitalizadas, para diferenciar o greening de outras pragas.

Até o presente momento foi montado um banco de imagens digitalizadas de folhas de citros, contendo seis tipos de doenças (CVC, deficiência de Manganês, deficiência de Magnésio, deficiência de Zinco, greening e Rubelose), com 54 amostras de folhas para cada doença. As imagens digitalizadas foram binarizadas e em seguida foi determinada a contorno da folha em cada imagem. O contorno foi aplicado na imagem original, e na imagem resultante foi realizada a segmentação por cor usando RNA PMC, que mostrou ser adequada, com acurácia de 96,04%. Em seguida a imagem foi dividida em quadrantes para possibilitar uma análise inicial para diferenciar a variação das manchas em cada quadrante, para cada doença. A próxima etapa do trabalho consistirá na avaliação das tabelas levantadas nos para definir uma técnica que permita diferenciar o greening de outras pragas, e posteriormente construir a escala diagramática.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio financeiro do CNPq (processo 578627/2008-6) e o fornecimento das amostras de foliares pela empresa FISHER.

Referências

BELASQUE JUNIOR, J.; YAMAMOTO, P. T.; MIRANDA, M. P.; BASSANEZI, R. B.; AYRES, A. J.; BOVÉ, J. M. Controle do *huanlongbing* no estado de São Paulo, Brasil. *Citrus Research & Technology*, v. 31, n. 1, p. 1-100, 2010.

BOVÉ, J. M. Huanglongbing: a destructive, newly-emerging, century-olddiseaseofcitrus. *Journal of Plant Pathology*, v. 88, p. 7-37, 2006.

FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO ESTADO DE SÃO PAULO - FAESP; SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL - SENAR. **Produção em laranja de SP deve subir 20% em 2011**. FAESP, 2011. Disponível em: <<http://www.faespsenar.com.br/geral/noticias-do-agronegocio/detalhe/producao-em-laranja-de-sp-deve-subir-20-em-2011/3543>>. Acesso em: 05 abr. 2011.

FUNDECITRUS. **Greening**: manual técnico. Araraquara: Fundecitrus, 2009. Disponível em: <<http://www.fundecitrus.com.br/ImageBank/PageFlip/pageflip.aspx?idPage=143>>. Acesso em: 29 abr. 2011.

_____. **Greening atinge 38,8% dos talhões dos pomares paulistas**. Araraquara: Fundecitrus, 2010. Disponível em: <<http://www.fundecitrus.com.br/Noticias/31.08.10--Greening-atinge-38,8--dos-talhoes-dos-pomares-paulistas,136>>. Acesso em: 04 jan. 2011.

INNIS, M. A.; GELFAND, D. H.; SNINSKY, J. J.; WHITE, T. J. (Eds.). **CR Protocols**: A guide to methods and applications. Academic Press: San Diego, 1990.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Divulgação da safra paulista de laranja 2009/10**. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=12002>>. Acesso em: 28 dez. 2010.

WEKA. Disponível em: <<http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>>. Acesso em: 29 abr. 2011.

Avaliação geral, resultados e perspectivas do uso de agricultura de precisão em culturas anuais

Álvaro Vilela de Resende^{1*}, Marina de Fátima Vilela^{2*}

¹ Pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, Rod. MG 424, Km 45, CEP 35701-970, Sete Lagoas, MG, Brasil

² Pesquisadora, Embrapa Cerrados, Rod. BR 020, Km 18, CEP 73310-970, Planaltina, DF, Brasil

*e-mail: alvaro@cnpms.embrapa.br; marina@cpac.embrapa.br

Resumo: O Projeto Componente 3 da Rede de Agricultura de Precisão, intitulado “Caracterização, monitoramento e manejo da variabilidade espaço-temporal em sistemas de culturas anuais” constitui-se de cinco planos de ação que contam com a participação interativa de várias unidades da Embrapa, Universidades e parceiros da iniciativa privada. A estratégia de trabalho baseia-se na implantação de Unidades Pilotos (UPs) de pesquisa de agricultura de precisão nas diferentes regiões do País, envolvendo principalmente as culturas de algodão, arroz, milho, soja e trigo. Ferramentas de caracterização da variabilidade das áreas das UPs, utilizando sensor de condutividade elétrica do solo, modelo digital de elevação do terreno e imagens aéreas, constituem atividades transversais da Rede, subsidiando o diagnóstico de fatores condicionantes de variações de produtividade nos talhões em estudo. Os planos de ação contemplam atividades voltadas para o mapeamento da variabilidade espaço-temporal das características agronômicas das culturas e de atributos físicos e químicos dos solos, para a identificação de zonas visando manejo localizado e posterior monitoramento das alterações decorrentes das intervenções. Estão também previstas atividades de desenvolvimento de metodologias para tomada de decisão de manejo dos agentes causadores de estresses bióticos nas culturas. Dentre os impactos esperados, destacam-se o desenvolvimento, adaptação e validação de estratégias de mapeamento da variabilidade e de práticas de manejo sítio-específico adequadas às particularidades dos sistemas de produção de culturas anuais no Brasil.

Palavras-chave: agricultura de precisão, variabilidade espacial, manejo sítio-específico, sensoriamento remoto, geoprocessamento, produção de grãos.

General evaluation, results, and perspectives of the precision agriculture use in annual crops

Abstract: The Component Project “Characterization, monitoring and management of spatio-temporal variability in annual cropping systems”, of the Embrapa Precision Agriculture Network, consists of five action plans which rely on the interactive participation of several units of Embrapa, Universities and private partners. The work strategy is based on the implementation of Pilot Units of precision agriculture research in different regions of the country, involving mainly the crops of cotton, rice, corn, soybeans and wheat. Electrical conductivity mapping of the soil, terrain digital elevation model, and aerial imagery are cross-cutting activities of the Network, supporting the diagnosis of factors responsible for yield variations on the experimental plots. The action plans include the mapping of the spatial and temporal variability of crops and soil properties aiming to identify zones for site-specific management and subsequent monitoring of changes resulted from interventions. Other activities involve the adjustment of decision-making methodologies for control of the biotic agents responsible for stresses in the crops. Impacts are expected in terms of the development, adaptation and validation of strategies to assess the variability and to define practices appropriate to the site-specific approach, taking into account the peculiarities of the production systems of annual crops in Brazil.

Keywords: precision agriculture, spatial variability, site-specific management, remote sensing, GIS, grain production.



1. Introdução

Atualmente a produtividade média das culturas de grãos e fibras no Brasil está muito abaixo daquela alcançada nas áreas com adoção de boas práticas tecnológicas. Desta forma, torna-se estratégico o emprego de novas abordagens de manejo, que proporcionem aumentos de produtividade, melhorem o aproveitamento dos recursos disponíveis e evitem prejuízos ao ambiente.

A agricultura de precisão (AP) deve visar à obtenção de informações detalhadas e posterior gerenciamento de todos os fatores e processos envolvidos no sistema de produção e, portanto, não pode focar somente mapeamentos diversos ou controle das aplicações de insumos. Grandes investimentos foram feitos até hoje, no sentido de responder às indagações sobre os fatores limitantes da produtividade e, com a AP, pode-se encontrar respostas que até então não eram vislumbradas. Por mais que o conhecimento do manejo das principais culturas venha aumentando de forma organizada e haja incorporação rápida das inovações tecnológicas, ainda faltam ferramentas que auxiliem no processamento de informações obtidas nos talhões de cultivo, na tomada de decisão e na operacionalização de manejo diferenciado. O Projeto Componente 3, da Rede de Agricultura de Precisão da Embrapa, tem como objetivo geral desenvolver, validar e difundir tecnologias mais eficientes para caracterização, monitoramento e manejo da variabilidade espaço-temporal em sistemas de culturas anuais. No presente trabalho são descritas as principais ações em andamento no projeto e perspectivas.

2. Material e métodos

O Projeto está estruturado em rede, com ações articuladas e envolvimento de unidades da Embrapa, Universidades e parceiros da iniciativa privada. Até o momento foram definidas seis Unidades Pilotos (UPs) de agricultura de precisão para as culturas do algodão, arroz, milho, soja e trigo em diferentes regiões do País. Em cada UP são realizadas ações para monitoramento, amostragens, diagnóstico e intervenção na forma de manejo sítio-específico de fatores de produção bióticos e abióticos.

Métodos indiretos de monitoramento tais como mapeamento da produtividade, condutividade elétrica do solo, fotografias aéreas e sensores diversos estão sendo avaliados, calibrados e validados. As informações georreferenciadas são tratadas por meio de sistemas de informações geográficas (SIG) e geoestatística. São gerados mapas diagnósticos de características vegetativas e produtivas das culturas, atributos físicos, químicos e biológicos dos solos, bem como da incidência de agentes causadores de estresses bióticos.

Serão estabelecidos critérios que auxiliarão na tomada de decisão e definição de zonas para o manejo sítio-específico dos fatores em estudo nas UPs. Na sequência, as áreas receberão intervenções e tratos culturais localizados, tais como aplicações de corretivos, fertilizantes e defensivos em taxas variáveis (VRT).

As equipes de maior experiência acumulada com pesquisa em AP procuram avançar nessas linhas de estudo e em demandas emergentes. Nas áreas acompanhadas há mais tempo e que já receberam aplicações VRT serão monitoradas a variabilidade espacial e estabilidade temporal de atributos do solo e da produtividade das culturas, tendo em vista os benefícios esperados em termos de homogeneização dos talhões, ganhos de produtividade ou economia de insumos.

Atenção é dada à validação de dispositivos de monitoramento de baixo custo e de sistemas inteligentes de suporte no processamento de dados georreferenciados e na tomada de decisão visando intervenções baseadas na agricultura de precisão. As atividades de calibração e validação do uso do sensor de condutividade elétrica do solo (Veris) e de fotografia aérea, ferramentas de baixo custo para o monitoramento, diagnóstico e delimitação de zonas de manejo são transversais, sendo realizadas em unidades pilotos com cada cultura considerada no projeto.

Nas UPs melhor estruturadas, serão geradas informações para subsidiar avaliações de sustentabilidade da adoção de tecnologias de agricultura de precisão em sistemas de culturas anuais. Tendo como referência o manejo tradicional em cada região/cultura, serão realizadas análises de custo e de retorno econômico decorrentes do manejo diferenciado baseado na agricultura de precisão.

3. Resultados e discussão

Os benefícios potenciais da AP são muitos. Entretanto, no Brasil, as diversas tecnologias de AP e respectivos resultados não foram ainda passíveis de ser satisfatoriamente avaliados no seu conjunto.

Atualmente a aplicação de insumos, principalmente corretivos e fertilizantes, a taxas variáveis é a tecnologia mais difundida entre os produtores que praticam a AP em culturas anuais.

Mesmo nesse caso, os impactos da tecnologia quanto aos esperados benefícios econômico e ambiental não foram devidamente quantificados. Nas regiões de agricultura com maior investimento tecnológico, existem muitas empresas prestadoras de serviços como, por exemplo, amostragem georreferenciada do solo e aplicação de corretivos e fertilizantes a taxas variáveis. Todavia, ainda permanecem vários questionamentos e oportunidades para aperfeiçoamento e incremento na confiabilidade dos procedimentos adotados.

Sensores remotos como o Crop Circle® (Holland Scientific) e o GreenSeeker® (NTech) têm sido testados, possibilitando a confecção de mapas para a identificação de áreas com estresses tais como deficiências nutricionais e incidências de danos de pragas e doenças em diversos estádios vegetativos das culturas. Esses novos sensores apresentam, ainda, a possibilidade de interagir com implementos para a aplicação de fertilizantes em taxa variada, corrigindo as deficiências em tempo real.

Outra técnica utilizada na AP que merece destaque refere-se ao uso de monitores de produtividade para auxiliar na identificação das causas da sua variabilidade, definição de possíveis zonas de manejo e visualização do sistema de produção da fazenda como um todo. Há, porém, que se disseminar o seu uso como subsídio ao gerenciamento dos talhões de cultivo no Brasil, atentando ao processamento criterioso dos dados registrados pelas colhedoras dotadas destes monitores.

Dentre os resultados preliminares e perspectivas do projeto componente, destacam-se:

Unidades Pilotos de pesquisa em agricultura de precisão foram implantadas em diferentes regiões do País, contemplando as culturas de algodão, arroz de várzeas subtropicais, milho, soja e trigo. Face à

repercussão positiva dessa estratégia, a tendência é que novas UPs sejam estabelecidas e integradas à Rede de AP, ampliando a cobertura geográfica e contemplando outros sistemas de produção de culturas anuais.

Já é possível notar considerável aumento e fortalecimento de massa crítica da pesquisa brasileira em agricultura de precisão para sistemas de produção de culturas anuais. Há, contudo, necessidade de reforçar o treinamento de mão-de-obra e da assistência técnica envolvida na utilização da AP.

As diversas ações do projeto vêm contribuindo para promover o desenvolvimento e a aplicação de práticas de agricultura de precisão em culturas anuais no Brasil.

4. Conclusões

As Unidades Pilotos de AP com culturas anuais encontram-se em fase de consolidação e ampliação de parcerias.

Foram gerados os primeiros resultados dos trabalhos em andamento e os grupos locais de pesquisa estão estabelecidos, levando a um expressivo aumento de massa crítica dentro de Unidades da Embrapa e em interação com parceiros externos.

A agregação de novos projetos e financiamentos é necessária para o fortalecimento e continuidade da proposta de trabalho, bem como, ao atendimento das demandas emergentes para a pesquisa em AP.

Em médio prazo, há expectativa de impactos importantes no desenvolvimento, adaptação e validação de estratégias de mapeamento da variabilidade e de práticas de manejo sítio-específicas adequadas às particularidades dos sistemas de produção de culturas anuais no Brasil.

Agradecimentos

Agradecemos especialmente o empenho da equipe de pesquisadores e o compromisso e confiança dos parceiros externos, sem o que não haveria êxito na condução deste Projeto Componente.

Variabilidade do solo como indicador da oportunidade da agricultura de precisão em sistema de plantio direto**

Ronaldo P. de Oliveira^{1*}, Vinicius de M. Benites^{2*}

¹ Engenheiro Eletrônico, Dr. Agricultura de Precisão, Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

² Engenheiro Agrônomo, Dr. em Solos e Nutrição de Plantas, Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

*e-mail: ronaldo@cnpes.embrapa.br; vincius@cnpes.embrapa.br

**Fazenda Cruzeiro, Castelândia, GO, Unidade Piloto da Rede Brasileira de Agricultura de Precisão

Resumo: A caracterização da variabilidade espacial do solo é ferramenta de suporte aos processos decisórios em agricultura de precisão, principalmente nas fases iniciais de adoção. Entretanto questões pendentes envolvem acurácia na interpolação e complexidade na interpretação dos atributos mapeados, a eficiência e o custo da amostragem intensiva e a indisponibilidade de ferramentas de apoio aos processos de implementação do manejo de culturas por sítio-específico. Este trabalho utiliza dados de etapas preliminares de adoção em um talhão sob sistema de plantio direto. O objetivo é caracterizar a variabilidade espacial do solo por técnicas quantitativas, avaliando o potencial das informações no apoio as decisões de um sistema produtivo privado. Os resultados geoestatísticos demonstram forte estrutura espacial da variabilidade dos atributos de solo, favorecendo a adoção do manejo diferenciado na escala do talhão. A tecnologia de monitoramento da condutividade elétrica do solo mostrou ser útil na interpretação da variação espacial do talhão e no suporte a esquemas otimizados de amostragem do solo. Métodos de avaliação da oportunidade de adoção apresentaram índices de variabilidade espacial sugerindo a oportuna adoção do manejo por sítio-específico. Entretanto, dificuldades de sistematização e interpretação das informações geradas ratificam a carência de métodos e ferramentas de apoio ao manejo eficiente das culturas.

Palavras-chave: manejo de culturas por sítio-específico, geoestatística, variabilidade espacial, índice de oportunidade, condutividade elétrica aparente do solo.

Soil variability to assessing the opportunity for precision agriculture in no-till systems

Abstract: Characterization of soil spatial variability is a supporting tool to precision agriculture decision making, in particular at initial adoption phases. However, questions are still involving data accuracy and interpolation complexity of mapped attributes, intensive sampling efficiency and cost, and lack of supporting tools to implementation of site-specific management. This work uses data from preliminary adoption stages in a paddock under no-till production system. The objective is to quantify soil related spatial variability assessing the potential of available information to support private production system decision making. Geostatistical analyses have shown strong structure for soil spatial variations, justifying the site-specific adoption. Intensive monitoring of apparent soil electrical conductivity has proved to be useful in understanding within-field variation and supporting soil sampling designs. Methods to evaluate the adoption opportunity have shown variability indices that suggest the opportunity of site-specific crop management. However, difficulties in systematizing and interpreting available information reinforce the lack of useful methods and tools to support an efficient crop management.

Keywords: site-specific crop management, geostatistics, spatial variability, opportunity index, apparent soil electrical conductivity.

1. Introdução

Considerando a caracterização quantitativa da variabilidade do solo como ferramenta de suporte ao processo de adoção da Agricultura de Precisão (AP), este trabalho apresenta resultados das etapas preliminares no uso das tecnologias de AP em um talhão de 35 ha em sistema de rotação de culturas sob plantio direto na região do Cerrado. O objetivo é caracterizar a variabilidade espacial do solo usando técnicas quantitativas para avaliar o potencial de uso das informações geradas como ferramentas de apoio a decisão.

Os resultados geoestatísticos demonstram uma forte estrutura na variabilidade espacial dos atributos de solo, favorecendo a adoção do Manejo de Culturas por Sítio-Específico (MCSE). Os parâmetros obtidos se correlacionaram a valores típicos da literatura e atenderam a dois dos três métodos utilizados na avaliação da oportunidade do manejo diferenciado na escala do talhão. A tecnologia de monitoramento intensivo da Condutividade Elétrica aparente do Solo (CE_a) mostrou ser útil nas interpretações e de uso potencial na elaboração ou refinamento do esquema de amostragem do solo. Para três modelos de adoção do MCSE utilizados, dois indicaram uma estrutura de variação dos atributos de solo que é oportuna para a adoção da AP. O índice de variabilidade espacial da CE_a sugere a oportunidade de adoção. Entretanto, dificuldades na sistematização e interpretação das informações ratificam a falta de métodos e ferramentas efetivas no apoio ao manejo eficiente, sendo eficaz e diferenciado no espaço.

2. Material e métodos

O talhão em estudo (35 ha) está localizado no município de Castelândia, sudoeste goiano, numa área comercial de produção de grãos em sistema de plantio direto com a rotação das culturas de soja, milho e sorgo em região de Cerrado. O solo predominante é um Latossolo Vermelho distroférrico desenvolvido sobre material basáltico da formação Serra Geral, com altitude média de

455 m. As etapas de adoção da AP na Fazenda Cruzeiro envolvem duas tecnologias voltadas ao apoio dos processos gerenciais do MCSE. Estas tecnologias geram dados em diferentes densidades amostrais, sendo: a) a amostragem de solos por grade regular em malha de uma amostra por hectare, com 35 observações (Figura 1a); e b) o monitoramento intensivo das medidas de CE_a , com 7.480 observações (Figura 1b). Amostras por grade foram coletas durante o inverno de 2009 e 2010, após a colheita da safrinha, na profundidade de 0 a 20 cm, com uso de um amostrador de rosca motorizado de uma polegada; sendo cada amostra formada por 10 subamostras tomadas em um raio de 20 m a partir dos pontos da malha georeferenciada. As determinações analíticas foram realizadas nos laboratórios de solo da Universidade de Rio Verde. O monitoramento georreferenciado das medidas de CE_a foi realizado em 2010 utilizando a tecnologia Veris 3100 em rastreamento contínuo. Transformações de coordenadas e das funções de distribuição estatística foram realizadas para garantir o posicionamento e a normalidade da distribuição dos dados antes da variografia. O pacote geoestatístico Vesper (WHELAN et al., 2001) foi utilizado nos variogramas e krigagem dos mapas de atributos relevantes a análise da oportunidade. A krigagem por blocos de 10 m e raio de busca proporcional ao maior intervalo entre os pares de observações (lag) gerou uma grade regular do valor estimado e do erro associado em intervalos de 5 m.

Para determinação da oportunidade de adoção, os resultados foram confrontados com condições de contorno sugeridas nos fluxos decisórios do MCSE. Uma vez ajustadas, as informações geradas foram utilizadas em três modelos de análise da oportunidade de adoção; a citar: Cambardella et al. (1994); McBratney e Pringle (1999) e Oliveira et al. (2007).

3. Resultados e discussão

Os resultados das análises geoestatísticas de atributos de solos, diretamente relacionados

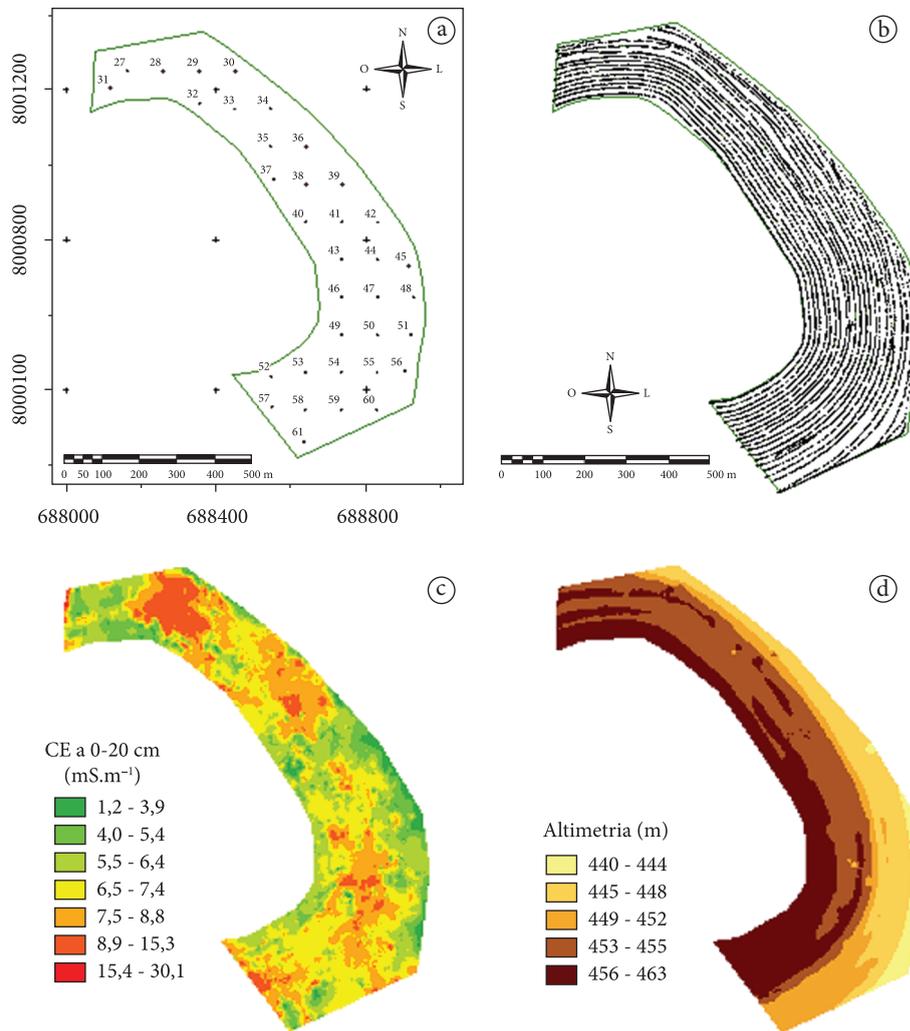


Figura 1. Figura ilustrando as densidades amostrais das a diferentes tecnologias de MCSE: a) grade regular e b) monitoramento da CE_a; e os mapas c) da CE_a e d) de altimetria.

com os modelos utilizados ou indiretamente relacionados com medidas de CE_a (Tabela 1), mostram parâmetros dentro de seus intervalos típicos, apesar de uma variografia sugerindo a não-estacionariedade na variação dos teores de argila, potássio, fósforo e matéria orgânica. Neste sentido, a inexistência do efeito pepita e o difícil ajuste visual destes atributos foram observados. Outro aspecto pouco comum foi o melhor ajuste do modelo esférico na maioria dos atributos, em contraste ao usual ajuste exponencial citado na literatura (CAMBARDELLA et al., 1994; McBRATNEY; PRINGLE, 1999). A interpolação por krigagem foi facilitada pela interface semi-automática do aplicativo Vesper, capaz de exportar

arquivos ArcInfo ASCII Raster para fins de análise espacial em ambiente SIG. Mapas de CE_a e altimetria, interpolados a partir do monitoramento intensivo com a tecnologia Veris, estão ilustrados, respectivamente, nas Figuras 1c e 1d. Mapas de atributos interpolados a partir da grade regular são apresentados nas Figuras 2 e 3, ilustrando, respectivamente, a boa estrutura espacial da variabilidade dos atributos correlacionados com medidas de CE_a e a variabilidade espaço-temporal de atributos da fertilidade do solo considerados potenciais indicadores da oportunidade para o MCSE.

Parâmetros da variografia responderam as condições de análise dos métodos de quantificação

Tabela 1. Parâmetros de ajuste do semivariograma para atributos de solo coletados em grade amostral de um ponto por hectare e condutividade elétrica aparente do solo (CE_a) obtida por monitoramento intensivo por contato em sistema de plantio direto.

Atributo do solo	Ano	Modelo de ajuste	C0*	C1**	a1***	Distância de correlação (m)
Argila	2009	Esférico	0,0	24,38	119,8	118
Areia	2009	Duplo exponencial	0,0001	15,25	51,0	150
pH	2010	Esférico	0,021	0,01	536,4	530
Potássio	2009	Esférico	0,0	5625,6	286,7	280
	2010	Duplo esférico	0,0	8174,9	352,8	350
Fósforo	2009	Esférico	0,274	7,095	183,5	180
	2010	Esférico	11,46	63,67	180,8	180
Ca	2009	Esférico	0,301	0,419	294,0	235
	2010	Esférico	0,173	0,554	339,0	335
Mg	2009	Esférico	0,007	0,012	297,0	295
	2010	Esférico	0,0006	0,076	212,3	200
M.O.	2009	Esférico	4,522	34,2	199,4	195
CE_a	2010	Exponencial	4,948	1,832	62,5	187

*C0 = efeito pepita; **C1 = variância estrutural; ***a1 = alcance.

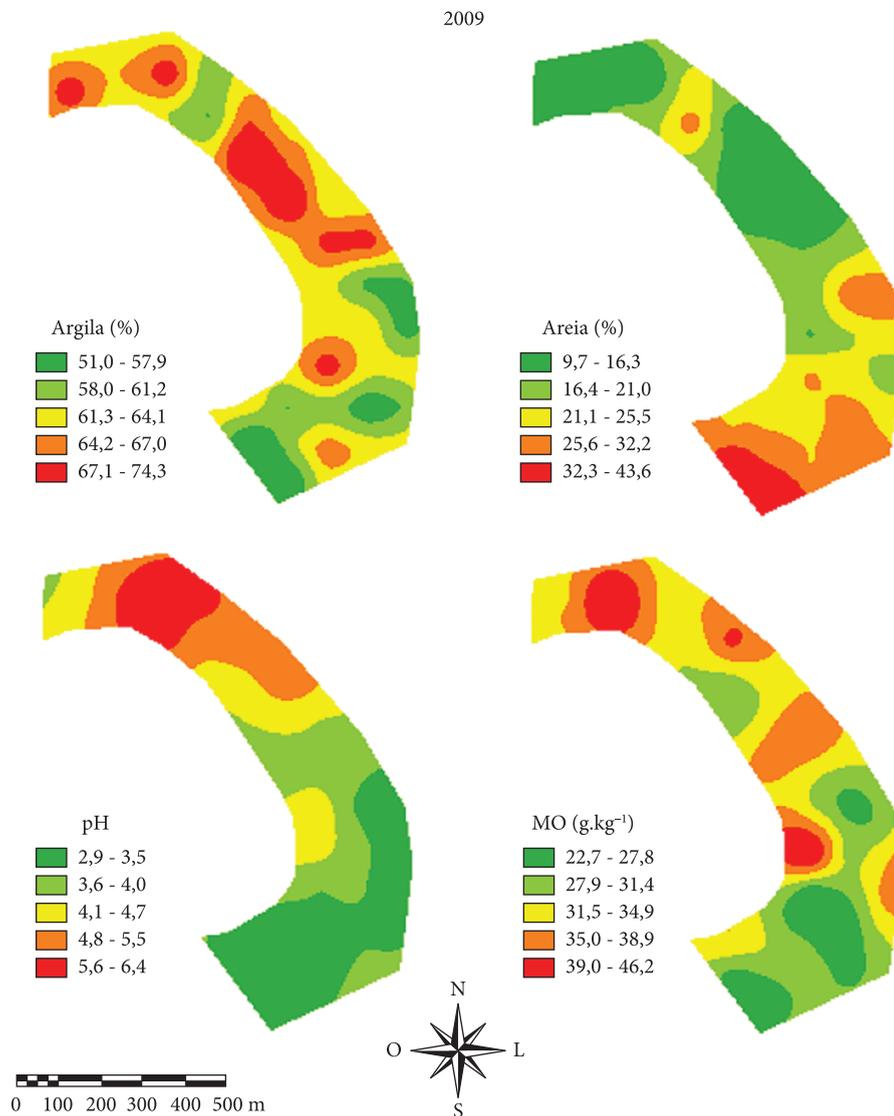


Figura 2. Mapas interpolados por krigagem, a partir da grade regular, indicando boa estruturada da variabilidade espacial de atributos correlacionados com a CE_a .

Tabela 2. Avaliação dos parâmetros da variografia para atributos de solo utilizados no desenvolvimento de métodos de quantificação da variabilidade espacial utilizados como métricas da oportunidade de adoção do manejo por sítio-específico.

Atributo do solo	Ano	Parâmetros médios e proporcionais ¹			Índice de Cambardella ²		S_i ³	
		Maior C1 ^{**}	Menor C0* ou Maior a1 ^{***}	Oportuno MCSE?	C0/C0 + C1 (%)	Dependência espacial	$S_i = \sqrt{M_V \cdot S_V}$	Oportuno MCSE?
Argila	2009	Sim	Sim	Sim	0	Forte	-	-
Areia	2009	Não	Sim	Não	0	Forte	-	-
pH	2010	Não	Sim	Não	66	Média	-	-
Potássio	2009	Sim	Sim	Sim	0	Forte	-	-
	2010	Sim	Sim	Sim	0	Forte	-	-
Fósforo	2009	Sim	Sim	Sim	4	Forte	-	-
	2010	Sim	Sim	Sim	15	Forte	-	-
Ca	2009	-	-	-	42	Média	-	-
	2010	-	-	-	24	Forte	-	-
Mg	2009	-	-	-	38	Média	-	-
	2010	-	-	-	1	Forte	-	-
M.O.	2009	-	-	-	12	Forte	-	-
CE _a	2010	-	-	-	71	Média	5,8	Sim

*C0 = efeito pepita; **C1 = variância estrutural; ***a1 = alcance. ¹(McBRATNEY; PRINGLE, 1999); ²(CAMBARDELLA et al., 1994); ³(OLIVEIRA et al., 2007). (-) Indica que a análise não se aplica ao atributo; seja pela inexistência de variogramas médios ou proporcionais de referência, ou pelo limitado número de amostras que impossibilita o uso do S_i .

da variabilidade e dos modelos decisórios considerados (Tabela 2), sugerindo uma estrutura espacial favorável ao manejo diferenciado devido ao tamanho e a distribuição de áreas homogêneas no talhão; potenciais zonas de manejo. Índices positivos foram obtidos para os modelos propostos em Cambardella et al. (1994) e Oliveira et al. (2007), sugerindo a oportunidade de adoção. Entretanto, modelo em McBratney e Pringle (1999) mostrou-se menos conclusivo, pois os parâmetros de areia, pH e potássio ficaram próximos aos limiares sugeridos, não ficando clara a rigidez para limiares obtidos fora do contexto do plantio direto no Cerrado. Somente os parâmetros de argila e fósforo ficaram bem definidos para as duas condições de contorno consideradas. Dados de CE_a mostraram-se complementares na quantificação da variabilidade por considerar métricas da magnitude e da estrutura espacial da

variação, além da potencial aplicação no desenho amostral para a coleta de solo.

4. Conclusões

As dificuldades na variografia dos atributos coletados por grade regular pode ser relacionada ao limitado número de amostras, com distribuição regular que pouco corresponde as variações do solo e influencia diretamente os valores interpolados. Neste sentido, as informações de CE_a foram decisivas nas interpretações, indicando a relevância do cálculo de S_i nos processos decisórios de adoção da AP.

A complexidade da análise da oportunidade de adoção ratifica a necessidade do desenvolvimento de métodos eficientes no apoio a decisão nos processos de MCSE.

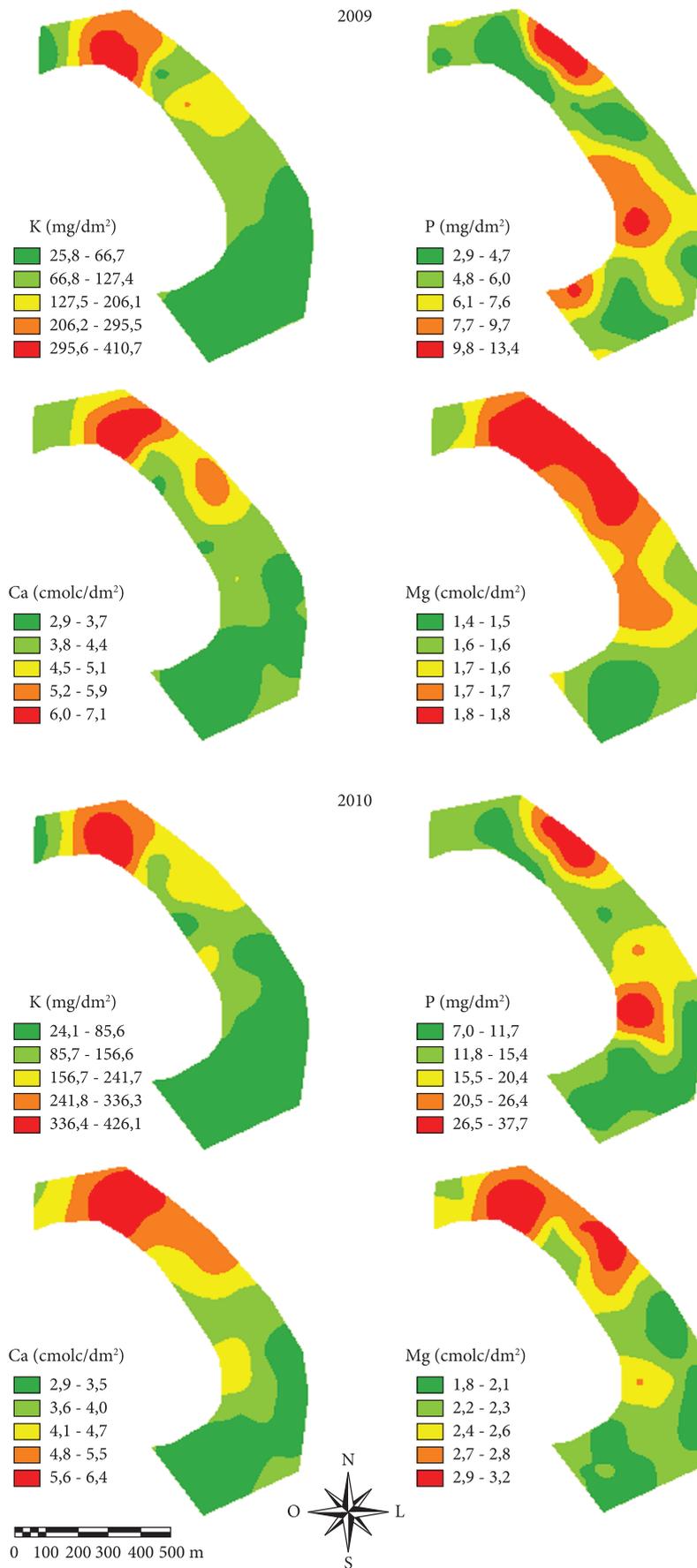


Figura 3. Mapas interpolados por krigagem, a partir da grade regular, ilustrando a variabilidade espaço-temporal de atributos indicadores da oportunidade para o MCSE.

Referências

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 1501-1511, 1994. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>

OLIVEIRA, R. P.; WHELAN, B. M.; MCBRATNEY, A.; TAYLOR, J. Yield variability as an index supporting management decisions: YIELDex. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE - ECPA, 6., 2007, Skiathos. **Proceedings...** Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2007. p. 281-288.

MCBRATNEY, A. B.; PRINGLE, M. J. Estimating average and proportional variograms of soil properties and their potential use in precision agriculture. **Precision Agriculture**, v. 1, p. 219-236, 1999. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1009995404447>

WHELAN, B. M.; MCBRATNEY, A. B.; MINASNY, B. Vesper - Spatial Prediction Software for Precision Agriculture. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE - ECPA, 3., 2001, Montpellier, France. **Proceedings...** Montpellier, 2001. p. 139-144.

Status atual da pesquisa de viticultura de precisão no Rio Grande do Sul: primeiros resultados da UP Uva para Vinho

Alberto Miele^{1*}, Carlos Alberto Flores^{2*}, José Maria Filippini Alba^{2*}

¹ Pesquisador da Embrapa Uva e Vinho, CEP 95700-000, Bento Gonçalves, RS, Brasil

² Pesquisador da Embrapa Clima Temperado, CEP 96010-971, Pelotas, RS, Brasil

*e-mail: miele@cnpuv.embrapa.br; carlos.flores@cpact.embrapa.br; jose.filippini@cpact.embrapa.br

Resumo: Tecnologias relacionadas à viticultura de precisão (VP) ainda não estão sendo contempladas pelo setor primário para aumentar a competitividade do vinho brasileiro em relação ao importado. Para sanar essa lacuna, está-se conduzindo esta pesquisa utilizando várias tecnologias de VP num vinhedo do cv. Merlot, clone 347. As atividades realizadas durante o ciclo vegetativo de 2010/2011 foram relacionadas à determinação das coordenadas da UP Uva para Vinho, georreferenciamento das videiras que formam os vinhedos, determinação dos perfis dos solos, análises de amostras de solos, NDVI, CE do solo, clorofila das folhas, análise de minerais dos pecíolos, composição físico-química do mosto da uva, elaboração de vinho em pequena escala e vigor da planta. Os dados ainda estão sendo espacializados, entretanto na UP Uva para Vinho foram determinadas três classes taxonômicas de solo (Argissolos, Cambissolos e Neossolos), as quais compõem 10 unidades de mapeamento. Além disso, a Análise de Componentes Principais discriminou as classes taxonômicas e as unidades de mapeamento em função das variáveis relacionadas à composição do mosto da uva e à composição mineral dos pecíolos das folhas.

Palavras-chave: agricultura de precisão, uva, videira, vinho, viticultura de precisão.

Present status of precision viticulture in the State of Rio Grande do Sul: first results of the Wine Grape PU

Abstract: Technologies related to precision viticulture (PV) are not yet being used by growers and wineries to improve Brazilian wine competitiveness related to import wines. To overcome this situation, a research is being carried out using many PV technologies in a vineyard of Merlot, clone 347. The activities conducted during the vegetative cycle of 2010/2011 were related to the coordinates of the Wine Grape PU, grapevines georeferencing, determination of the soil profiles, soil analyses, NDVI, soil EC, leaf chlorophyll, petiole mineral composition, grape must physicochemical composition, microvinification and plant vigor. Data are still being spatialized, however three soil taxonomic classes were determined in the Wine Grape PU, comprising 10 mapping unities. Furthermore, Principal Component Analysis discriminated the taxonomic classes and mapping unities related to the must and petiole mineral composition.

Keywords: grape, grapevine, precision agriculture, precision viticulture, wine



1. Introdução

A produção e comercialização de vinhos finos brasileiros têm sofrido séria concorrência de produtos importados, especialmente de países da América do Sul e europeus. A fim de mitigar essa situação, o setor vitivinícola nacional tem desenvolvido ações nas mais diversas áreas. Dessa forma, tem-se verificado um empenho acentuado das instituições ligadas ao setor e de algumas empresas líderes na busca de uma melhor qualidade, através da adoção de tecnologias vitícolas e enológicas modernas.

Dentre as tecnologias vitícolas, há uma preocupação constante com o manejo dos solos. Na Serra Gaúcha, eles têm estrutura, textura e composição físico-química que podem variar em espaços diminutos, as quais podem ter efeito considerável na produtividade e na qualidade da uva e do vinho. E esse é um tópico abordado pela agricultura de precisão (AP), que pode ser definida como o manejo de uma cultura numa área com escala espacial e temporal menor que a área dessa cultura como um todo (PLANT et al., 2000). O emprego da AP é uma tecnologia relativamente nova no cultivo da videira, então denominada de viticultura de precisão (VP), destacando-se os trabalhos pioneiros conduzidos nos Estados Unidos (WAMPLE et al., 1998) e na Austrália (BRAMLEY; PROFFITT, 1999; PROFFITT et al., 2006). Portanto, a utilização de tecnologias de VP constitui-se em importante ferramenta para melhorar a qualidade e a competitividade do vinho brasileiro.

2. Material e métodos

Os trabalhos de pesquisa em viticultura de precisão estão sendo realizados em três vinhedos do cv. Merlot, clone 347, enxertado sobre o porta-enxerto Paulsen 1103, dois deles formados em 2005 (Vinhedos 1 e 3) e um em 2006 (Vinhedo 2). Esses vinhedos pertencem à Vinícola Miolo, localizada no Vale dos Vinhedos, município de Bento Gonçalves, RS. No total, são 2,42 ha de videiras conduzidas em espaldeira e podadas em cordão esporonado.

As ações de pesquisa desenvolvidas na Unidade-Piloto - UP Uva para Vinho, no ciclo vegetativo de 2010-2011, são descritas a seguir:

2.1. Georreferenciamento dos vinhedos

Os vinhedos foram numerados de 1 a 3. Em cada um deles foram estabelecidas, em janeiro de 2011, as coordenadas (latitude, longitude e altitude). O georreferenciamento da área foi feito com estação total (Sokkia SET 610) e GPS Geodésico (Sokkia GSR 2600), o qual serviu de base para a criação de cartas de altimetria, declividade e malha (10 × 10 m) de coordenadas para o mapeamento dos solos. No conjunto dos três vinhedos foram registradas as linhas de videiras, nas quais foram georreferenciadas 257 plantas.

2.2. Determinação dos perfis dos solos

Para a determinação dos perfis dos solos foram abertas quatro trincheiras, uma no Vinhedo 1, duas no 2 e uma no 3. As amostras de solo foram coletadas em todos os horizontes até a profundidade de 150 cm. Isto foi feito para descrever morfologicamente e caracterizar analiticamente os solos. Para sua classificação, utilizou-se o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2006). As análises foram realizadas no Laboratório de Solos da UFRGS, avaliando-se as seguintes variáveis: a) P_2O_5 , Fe_2O_3 , MnO, TiO_2 , Al_2O_3 , SiO_2 , Ki, Kr, Al_2O_3/Fe_2O_3 (ataque sulfúrico) e b) pH (em H_2O e KCl), Al^{3+} , Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , H^+ , $H^+ + Al^{3+}$, P^{5+} , S, T, V, fração da amostra total (calhau, cascalho e terra fina), composição granulométrica (areia grossa, areia fina, silte e argila), argila dispersa em água, grau de floculação, relação silte/argila, C orgânico, N e relação C/N.

2.3. Coleta e análise físico-química de amostras de solo

Nos três vinhedos coletaram-se 125 amostras de solo em janeiro de 2011 na profundidade de 0 a 20 cm. Essas amostradas foram coletadas de solos próximos às videiras georreferenciadas, avaliando-se variáveis físico-químicas. As análises

foram realizadas no Laboratório de Solos da UFRGS, sendo as variáveis avaliadas as mesmas feitas para a determinação dos perfis dos solos.

2.4. Espacialização dos dados

Os dados relacionados ao item 3 foram espacializados por meio dos aplicativos Surfer e ArcGis considerando os vinhedos individualmente, sendo elaborados os semi-variogramas da maior parte das variáveis e os respectivos mapas.

2.5. Coleta e análise físico-química de amostras de solo

Nos três vinhedos coletaram-se 124 amostras de solo em janeiro de 2011, malha de 20 × 20 m, profundidade de 0 a 20 cm e de 50 a 80 cm. Essas amostras foram coletadas de solos próximos às videiras georreferenciadas, avaliando-se variáveis físico-químicas. As análises dos solos foram realizadas no Laboratório de Solos da UFRGS, sendo as variáveis avaliadas as mesmas feitas para a determinação dos perfis dos solos.

2.6. Determinação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI

O NDVI foi determinado em janeiro de 2011, a cada cinco fileiras de videiras, por meio de um sensor que emite luz nas bandas vermelho e infravermelho, marca CropCircle, modelo CS 210, equipado com um aparelho Trimble e um datalog GeoSCOUT GLS 400. Foram feitas 6.238 leituras.

2.7. Determinação da condutividade elétrica do solo - CE

A condutividade elétrica do solo foi determinada em janeiro de 2011, utilizando um sensor manual adaptado pela Embrapa Instrumentação especialmente para este tipo de cultura. Foram feitas 257 leituras, todas elas entre as fileiras de videira próximas às plantas georreferenciadas.

2.8. Determinação de clorofila

A clorofila das folhas de videira foi determinada em janeiro de 2011, fazendo-se leituras em 10 folhas de cada uma das 257 plantas georreferenciadas, sempre na mesma região de cada limbo. Determinaram-se as clorofilas *a* e *b*, a relação a/b e $a+b$. Para isso, utilizou-se um medidor eletrônico de clorofila, o ClorifiLOG CFL 1030, da Falker.

2.9. Determinação da composição mineral dos pecíolos

Coletaram-se 10 folhas/planta georreferenciada e, a seguir, separaram-se os pecíolos dos limbos. Secaram-se os pecíolos em estufa com circulação forçada a 60 °C, moendo-os logo após e colocando-os em sacos de plástico. A análise de nutrientes foi feita no Laboratório de Solos da UFRGS, avaliando-se os minerais N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Fe, Mn, Na, Al e B.

2.10. Amostragem de uva, extração e análise do mosto

Precedendo a colheita da uva, em março de 2011 amostraram-se ao acaso 100 bagas de 146 plantas georreferenciadas, as quais foram colocadas em um saco de plástico e esmagadas. Do mosto obtido, avaliaram-se as variáveis: °Brix, acidez titulável, pH e relação °Brix/acidez titulável.

2.11. Colheita e pesagem da uva

Após a amostragem de uva para extração do mosto, colheu-se e pesou-se a produção de uva de cada uma das 257 plantas georreferenciadas.

2.12. Microvinificação

Colheram-se 50 kg de uva de cada unidade de mapeamento, ou seja, PBACal 2 e 3 (Argissolo - Vinhedo 1), CXVe 2 e 3 (Cambissolo - Vinhedo 2), RRh 4 (Neossolo - Vinhedo 2), RRh 1, 2 e 3 (Neossolo - Vinhedo 3) e PBACal 1 (Argissolo - Vinhedo 3). De cada unidade de mapeamento, separaram-se 40 kg de uva, das quais fizeram-se duas microvinificações de 20 kg cada, em recipientes

de vidro. Após a conclusão das fermentações alcoólica e malolática, estabilizaram-se os vinhos e adicionou-se SO_2 . Logo depois, eles foram engarrafados e rotulados. A análise físico-química e a sensorial serão realizadas no segundo semestre de 2011. As variáveis a ser avaliadas são – *Análise físico-química do vinho* – densidade, álcool, acidez titulável, acidez volátil, extrato seco, açúcares redutores, extrato seco reduzido, relação álcool em peso/extrato seco reduzido, cinzas, alcalinidade das cinzas, N, polifenóis totais, taninos, antocianinas, DO 420 nm, DO 520 nm, DO 620 nm, intensidade de cor, matiz, etanal, acetato de etila, metanol, 1-propanol, 2-metil-1-propanol, 2-metil-1-butanol, 3-metil-1-butanol, soma dos alcoóis superiores e minerais (N, P, K, Ca, Mg, Na, Mn, Cu, Fe, Zn, Li e Rb); *Características sensoriais do vinho* – após prontos, os vinhos serão avaliados quanto às suas características sensoriais. As condições do laboratório e os procedimentos a ser adotados durante as sessões de análise sensorial seguirão os padrões internacionais.

2.13. Peso da poda seca e relação peso da poda/peso fresco do fruto

Em setembro de 2011 fez-se a poda seca das 257 plantas georreferenciadas, pesando o material vegetal proveniente da poda. Com isso, gerou-se a variável peso da poda seca/peso fresco do fruto.

2.14. Fotografia aérea com helicóptero semiautônomo de controle remoto

Em dezembro de 2011/janeiro de 2012 está prevista uma tomada de fotografia aérea com um helicóptero semiautônomo de controle remoto dos três vinhedos que compõem a UP Uva para Vinho.

2.15. Registro de dados climáticos

Os dados de temperatura do ar – mínima, média e máxima –, precipitação e umidade relativa do ar estão sendo registrados diariamente pela Estação Meteorológica da Embrapa Uva e Vinho localizada próxima à Vinícola Miolo. As variáveis insolação e radiação solar também estão sendo

registradas diariamente, mas estas pela Estação Agroclimatológica da Embrapa Uva e Vinho, localizada em sua sede, em Bento Gonçalves.

3. Resultados

As atividades de pesquisa do projeto viticultura de precisão planejadas para 2011 (MIELE et al., 2010) foram realizadas integralmente. Alguns resultados já foram estabelecidos e outros são preliminares, pois eles dependem da espacialização dos dados, o que está sendo feito por meio da Geoestatística. Entretanto, devido ao grande número de variáveis avaliadas o trabalho de espacialização dos resultados é minucioso e exige tempo para sua elaboração.

Os resultados finalizados relacionam-se à determinação das coordenadas da UP Uva para Vinho, do georreferenciamento das videiras que formam esta UP e da identificação de três classes taxonômicas de solos, as quais são compostas de dez unidades de mapeamento. A partir das classes e unidades de solo, e conhecendo-se as coordenadas pré-estabelecidas, estabeleceram-se seus limites na área da UP Uva para Vinho. Assim, segundo Flores et al. (2011), esta UP é constituída por Cambissolos (CXve), que apresentam alta saturação de base; Argissolos (PBACal), alta saturação por alumínio; e Neossolos (RRh), alto teor de carbono orgânico e muito pedregosos (Figura 1).

Conforme já mencionado, a espacialização dos dados está sendo processada. Face a isso, submetem-se os dados à ACP das variáveis da análise físico-química do mosto da uva Merlot, clone 347, e da composição mineral dos pecíolos das videiras georreferenciadas.

Os componentes principais (CPs) 1 e 2 das variáveis do mosto explicam 98,57% da variação total, sendo 80,34% pelo CP1 e 18,23% pelo CP2. O pH e a relação °Brix/acidez titulável foram mais expressivos nos Argissolos (PBACal 2 e 3) e Cambissolos (CXve 2 e 3); o °Brix, nos Argissolos (PBACal 1, 2 e 3); e a acidez titulável nos Neossolos (RRh 1, 2, 3, 4) (Figura 2).

Com relação à composição mineral dos pecíolos, os CPs 1 e 2 explicam 72,51% da variação total, sendo 43,19% pelo CP1 e 29,32% pelo CP2. O

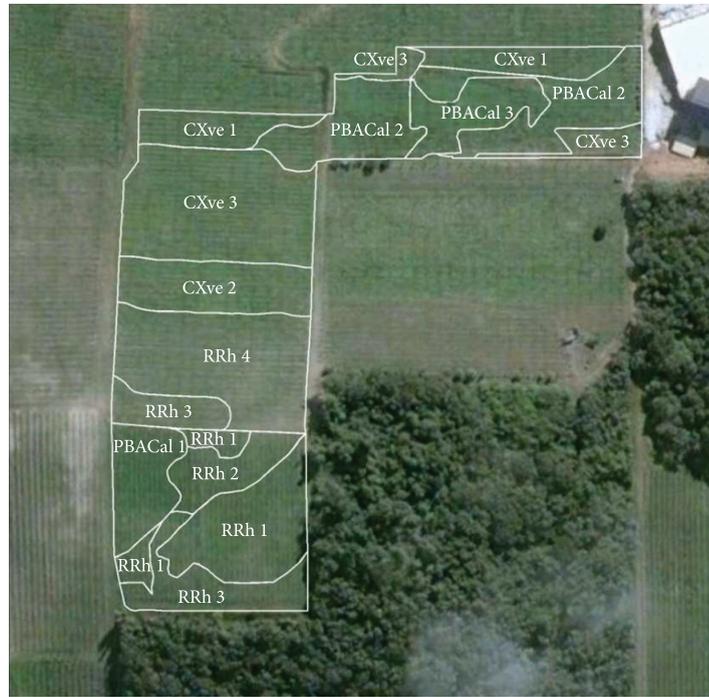


Figura 1. Mapa dos solos da UP Uva para Vinho mostrando as três classes taxonômicas e dez unidades de solo determinadas em 2011 (FLORES et al., 2011). (Foto: Google Earth, julho de 2007).

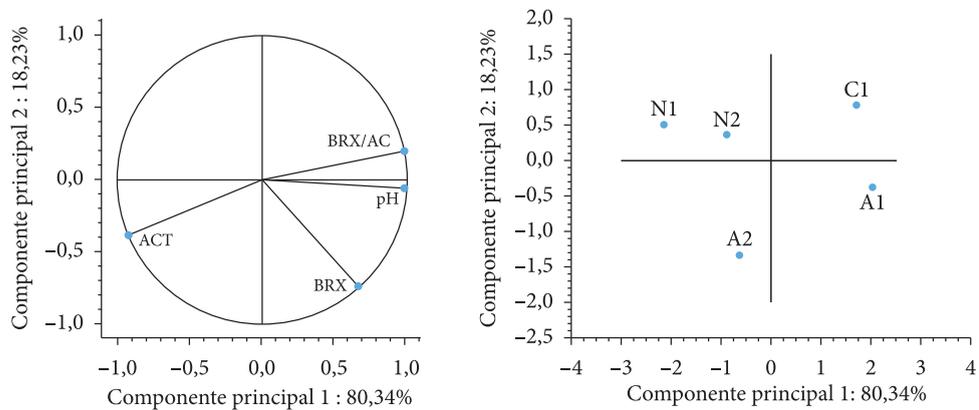


Figura 2. Projeção das variáveis relacionadas à composição do mosto da uva e dos solos no plano formado pelos componentes principais 1 x 2. Legenda: BRX = °Brix, ACT = acidez titulável, PH = pH, BRX/ACT = relação °Brix/acidez titulável; A1 = Argissolo (PBACal 2 e 3), A2 = Argissolo (PBACal 1), C1 = Cambissolo (CXve 2 e 3), N1 = Neossolo (RRh 4), N2 = Neossolo (RRh 1, 2 e 3).

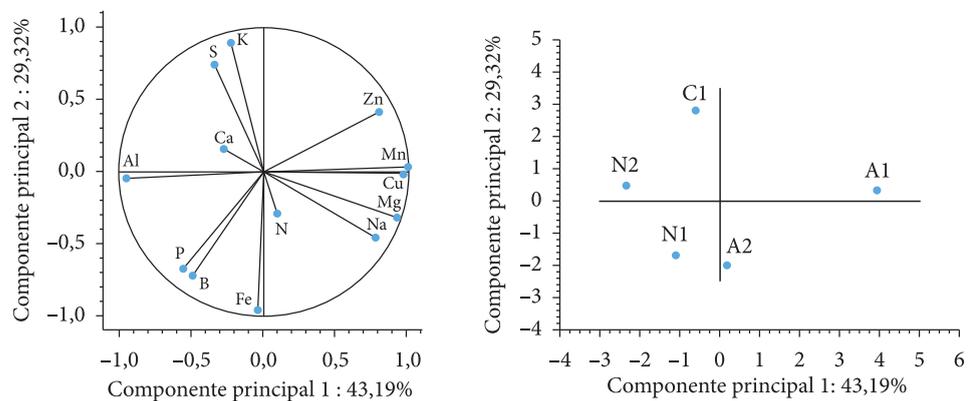


Figura 3. Projeção das variáveis relacionadas à composição mineral do pecíolo e dos solos no plano formado pelos componentes principais 1 x 2. Legenda: N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Fe, Mn, Na, Al, B; A1 = Argissolo (PBACal 2 e 3), A2 = Argissolo (PBACal 1), C1 = Cambissolo (CXve 2 e 3), N1 = Neossolo (RRh 4), N2 = Neossolo (RRh 1, 2 e 3).

Cu, Mn, Mg e Zn foram mais expressivos no Argissolo (PBACal 2 e 3); o Fe, Na e B no Argissolo (PBACal 3); o K e S, no Cambissolo (CXve 2 e 3); o Al, no Neossolo (RRh 1, 2 e 3); o P, no Argissolo (PBACal 3) e Neossolo (RRh 1, 2 e 3); o N e o Ca não foram discriminados pelos diferentes tipos de solo (Figura 3).

4. Conclusões

A tecnologia de viticultura de precisão que está sendo desenvolvida na UP Uva para Vinho é inovadora e, certamente, contribuirá para melhorar a qualidade do vinho brasileiro e aumentar sua competitividade em relação ao produto importado. Ao finalizar o projeto, ter-se-á condições de definir as metodologias mais indicadas para a viticultura de precisão, seja em função da tecnologia *per se* ou de seu custo/benefício. A participação da Vinícola Miolo, colocando à disposição seus vinhedos e seus engenheiros agrônomos, foi fundamental para o êxito dos resultados alcançados.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Dr. Ricardo Y. Inamasu e ao Dr. Ladislau M. Rabello, da Embrapa Instrumentação; ao Prof. Dr. Clésio Gianello, da UFRGS; aos engenheiros agrônomos Ciro Pavan e Mário L. Fochesato, da Vinícola Miolo; ao doutorando Rubens Tabile, da Faculdade de Engenharia de São Carlos-USP; ao geógrafo André R. Farias, da Embrapa Uva e Vinho; ao enólogo Guilherme da C. Meneses, ex-bolsista da Embrapa Uva e Vinho; ao técnico agropecuário Henrique F. Levien e à técnica agroindustrial Daiane Hellnvig Zarnott, bolsistas da Embrapa Clima Temperado, convênio Fapeg-Embrapa-MDA; à estudante Cristiane B. Badalotti, do IFRS Bento Gonçalves

e bolsista IC do CNPq; e aos anônimos colegas da Embrapa Uva e Vinho pelo inestimável apoio e colaboração prestados na execução das atividades de pesquisa deste projeto.

Referências

- BRAMLEY, R. G. V.; PROFFITT, A. P. B. Managing variability in viticultural production. **The Australian & New Zealand Grapegrower & Winemaker**, n. 427, p. 11-16, 1999.
- FLORES, C. A.; FILIPPINI ALBA, J. M.; LEVIEN, H. F.; ZARNOTT, D. H.; MIELE, A.; PAVAN, C. Levantamento detalhado dos solos e a viticultura de precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. 4 p. 1 CD-ROM. Resumo expandido.
- MIELE, A.; LAZZAROTTO, M.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. Viticultura de precisão: uma ferramenta tecnológica para melhorar a qualidade e a competitividade do vinho brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 4., 2010, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2010. 3 p. 1 CD-ROM. Resumo expandido.
- PLANT, E.; PETTYGROVE, G. S.; REINERT, W. R. Precision agriculture can increase profits and limit environmental impacts. **California Agriculture**, v. 54, n. 4, p. 66-71, 2000. <http://dx.doi.org/10.3733/ca.v054n04p66>
- PROFFITT, T.; BRAMLEY, R.; LAMB, D.; WINTER, E. **Precision viticulture: a new era in vineyard management and wine production**. Ashford: Winetitles, 2006. 90 p.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Eds.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.
- WAMPLE, R. L.; MILLS, L.; DAVENPORT, J. R. Use of precision farming practices in grape production. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., 1998, Saint Paul, Estados Unidos. **Proceedings...** Minneapolis: University of Minnesota, 1999. p. 897-905.

Geotecnologias para suporte à Agricultura de Precisão nos Sistemas Produtivos de Terras Baixas

José Maria Filippini Alba^{1*}, Lúcia E. Coelho da Cruz^{2*}, Giovani Theisen^{1*}, José Maria B. Parfitt^{1*}, Jamir L. Silva da Silva^{1*}, Enrique Levien^{2*}, Daiane H. Zarnott^{3*}, Marília Alves Brito Pinto^{3*}

¹ Pesquisador, Embrapa Clima Temperado

² Profissional autônomo, Pelotas, RS, Brasil

³ Pós-graduando, Universidade Federal de Pelotas – UFPel, Pelotas, RS, Brasil

*e-mail: jose.filippini@cpact.embrapa.br; giovani.theisen@cpact.embrapa.br; jose.parfitt@cpact.embrapa.br; jamir.silva@cpact.embrapa.br; luciaecruz@yahoo.com.br; henriquelevien@gmail.com; daiahzar@gmail.com; ma.agro@gmail.com

Resumo: Se discutem as atividades e resultados preliminares da Embrapa Clima Temperado no contexto de arroz irrigado no projeto componente 3 do projeto “Agricultura de Precisão para a Sustentabilidade de Sistemas Produtivos do Agronegócio Brasileiro”. Se consideraram duas áreas piloto, uma sistematizada (e a outra convencional), como forma de comparação. A altitude foi modelada nas duas áreas, sendo levantadas amostras de solo e de matéria seca aérea (produtividade). Os resultados preliminares demonstram a necessidade de trabalhar em forma coordenada, mantendo uma malha regular fixa para executar as ações. A produtividade apresenta significativa variabilidade espacial.

Palavras-chave: geotecnologias, Agricultura de Precisão, SIG, Sistemas Produtivos, Terras baixas.

Geotechnologies as support for Precision Agriculture in Lowland Productive Systems

Abstract: The activities and preliminary results of the project “Precision Agriculture for the sustainability of Productive Systems of Brazilian agribusiness” for irrigated rice are showed and discussed as part of component project number 3. Two pilot areas were considered, one of them leveled and the other with conventional management as way of comparison. The altitude was modeling in both areas and soil samples and aerial dry material (productivity) were collected. Preliminary results show the necessity of coordinated actions considering a fixed regular network in field. Productivity shows a significant spatial variability.

Keywords: geotechnologies, Precision Agriculture, GIS, Productive Systems, Lowlands.

1. Introdução

Na década de noventa a Agricultura de Precisão (AP) surgiu como uma alternativa ao cultivo, principalmente de culturas de grãos, envolvendo o uso de instrumentação em campo para aplicação de fertilizantes e pesticidas (WERNER et al., 2007), realizar amostragem e preparo do solo (MACHADO et al., 2004), aperfeiçoar o processo de colheita e avaliar a produtividade (FARACO et al., 2008). Nesse contexto são utilizados sistemas de navegação global orientados por satélites (SNGOS) para posicionamento a campo; sensores para avaliar as características do solo, das plantas ou a produtividade; equipamento específico para amostragem ou aplicação à taxa variável, piloto automático, dentre outros.

As geotecnologias podem ser definidas como softwares, instrumentos ou processos que envolvem o uso de aplicações de sensoriamento remoto, modelagem com sistemas de informação geográfica, geoestatística e os SNGOS, que derivam na análise da variabilidade espacial e temporal da informação, assim como na integração de vários níveis temáticos. Os SNGOS representam um ponto de encontro entre a AP e as Geotecnologias, cujo aperfeiçoamento derivou em um avanço significativo, entretanto, diferenciado de ambas as disciplinas. A AP envolve equipamentos agrícolas segundo duas tendências, uma de pequena escala, com instrumentos de uso manual, orientados para pesquisa e outra com sensores acoplados a máquinas de grande porte, direcionadas para agricultura empresarial. Essa última tendência induz um investimento inicial, o que pode dificultar o uso por produtores de pequeno porte. Assim, as geotecnologias representam procedimentos versáteis e de baixo custo, que viabilizam a aplicação da AP nessa condição.

A Embrapa lançou no fim de 2009, o projeto “Agricultura de Precisão para a Sustentabilidade de Sistemas Produtivos do Agronegócio Brasileiro (AP2)”, que substituiu o projeto anterior sobre o tema, direcionado para grãos. O projeto AP2 representa um grande desafio, integrando uma rede de mais de 100 pesquisadores, 20 centros da Embrapa, 15 unidades pilotos, universidades e empresas parceiras. As Unidades Piloto (UPs) são as

principais áreas direcionadas para experimentação, envolvendo grãos, frutas, pastagens e florestas. Neste resumo se apresentam as atividades realizadas e se discute a aplicação de geotecnologias relacionadas às atividades de pesquisa desenvolvidas nas UPs do projeto AP2, na Estação Experimental Terras Baixas (ETB) da Embrapa Clima Temperado, envolvendo o uso de imagens orbitais de baixo custo, manuseio de GPS para efetivar modelos digitais de elevação e processamento dos dados segundo malha regular, sendo disponibilizados resultados preliminares relacionados ao primeiro ano de plantio.

2. Material e métodos

Para suporte ao projeto, no contexto da ETB, foram escolhidas duas áreas pilotos (Figura 1), uma não sistematizada (AR1) e a outra sistematizada (AR2), localizadas próximas às coordenadas 31° 48' 45,53" S – 52° 28' 35,20" O e 31° 49' 12,34" S – 52° 27' 57,78" O, respectivamente, de maneira que os resultados sejam comparados para ambas as condições.

- Unidade Piloto AR1: Trata-se da área piloto original do projeto (área total = 10,5 ha), inserida no sistema de plantio da ETB, isto é, três anos de arroz, dois anos de pousio. Em 2009, foi plantado arroz irrigado segundo o sistema convencional (dados não disponíveis). Em 2010 o solo foi nivelado e modificada a rede de drenagem, com introdução de gado no inverno, segundo carga animal baixa; em setembro foi realizado levantamento a campo com estação total que permitiu elaborar um modelo digital de elevação com precisão centimétrica, segundo uma grade de 30 × 30 m. Antes do plantio foram coletadas 3 amostras de solos na porção central da área, localizadas a 17,5 m de distância uma da outra. O plantio de arroz (novembro 2010) considerou um quadrado de 25 m de lado no centro da área com “plantio direto” e o restante no sistema convencional. A produtividade foi avaliada manualmente, em abril de 2011, segundo doze pontos irregularmente espalhados na área, localizados com receptor Garmin GPSmap



Figura 1. Localização das unidades piloto do arroz irrigado (AR1 e AR2). Fonte: Google Earth (2011).

76CSx. A parte aérea das plantas foi retirada considerando uma quadrícula de madeira de meio metro de lado, sendo guardada em sacos plásticos, processada e pesada, para determinar matéria seca aérea.

- Unidade Piloto AR2: Trata-se de uma área sistematizada; processo de nivelamento do terreno de maneira a transformar a superfície em um plano, prática que facilita o manejo da lavoura, principalmente quanto a uniformidade da irrigação no sistema de arroz irrigado. Parfitt (2009) desenvolveu trabalho acadêmico, quando foram analisados diversos parâmetros físicos e químicos do solo (Área total = 7,4 ha). Foi realizada uma amostragem de solos superficial em malha regular em uma área de 1 ha, que coincide com o estudo anterior, considerando amostras em malha regular com passo de 10 m, retiradas em duplicata, com pá e com anel metálico, isto é, sem conservar a estrutura e mantendo ela intacta, respectivamente. Paralelamente foram amostradas, aleatoriamente, 10 duplicatas afastadas 5 m do ponto de coleta determinado

pela malha, visando avaliar a variabilidade espacial em curta distância e possíveis erros metodológicos relativos a amostragem. As amostras foram processadas e guardadas em local apropriado para realizar as determinações físicas e químicas: granulometria, densidade, teor de fósforo, teor de nitrogênio, teor de potássio e matéria orgânica. O plantio de arroz cobriu parte da área em novembro de 2010, sendo avaliada matéria seca aérea de arroz de maneira análoga a mencionada, segundo a mesma malha regular. Alguns dados foram espacializados por meio dos aplicativos Surfer e ArcGis, considerando os dados de Parfitt (2009).

3. Resultados e discussão

Os resultados apresentados neste resumo são preliminares. A matéria seca aérea de arroz variou no intervalo 1904-8628 kg/ha em AR1, com média de 5305 kg/ha e desvio padrão de 1858 kg/ha, sugerindo pouca correlação espacial com a altitude do terreno. A mesma consideração poderia se levantada para a AR2 (Figura 2), porém, quando

os dados são trabalhados por faixas de altitude semelhante, a produtividade média variou de forma inversamente proporcional com a altitude no intervalo 17,76-17,97 m. Os mapas de distribuição

especial do teor de K, N e P, para o local de execução da malha regular (Figura 3), sugerem uma queda de produtividade nas linhas superiores devido ao baixo teor desses nutrientes (Figura 2).

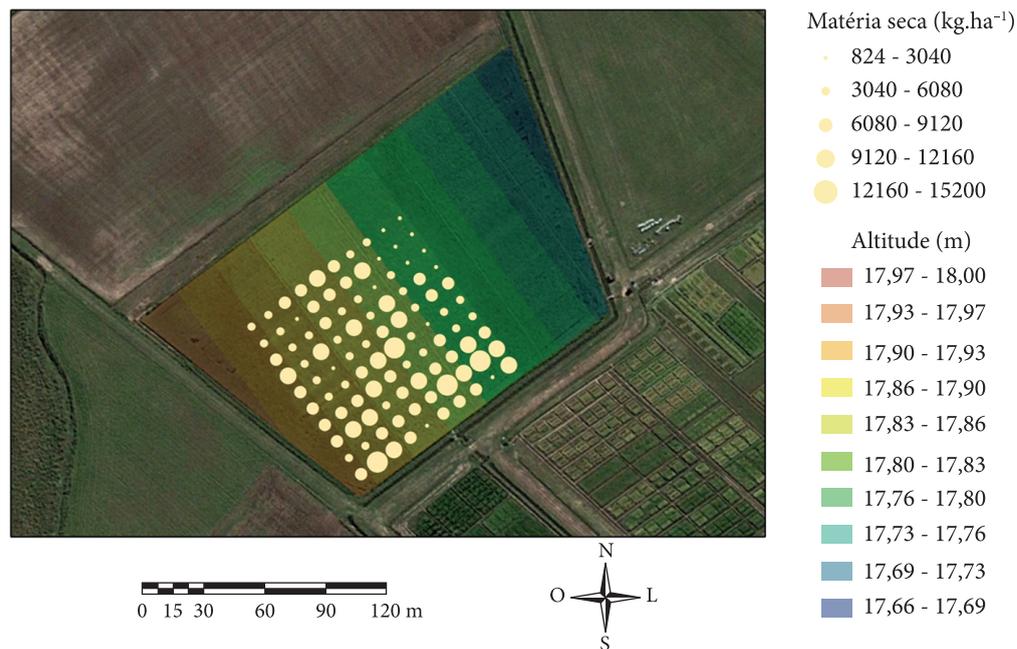


Figura 2. Modelo digital de elevação simulado considerando dados de campo e os canais de drenagem em AR2, com avaliação de matéria seca aérea de arroz (ETB, Embrapa Clima Temperado, 7 de abril de 2011) sobrepostos a imagem de alta resolução (GOOGLE EARTH, 2011).

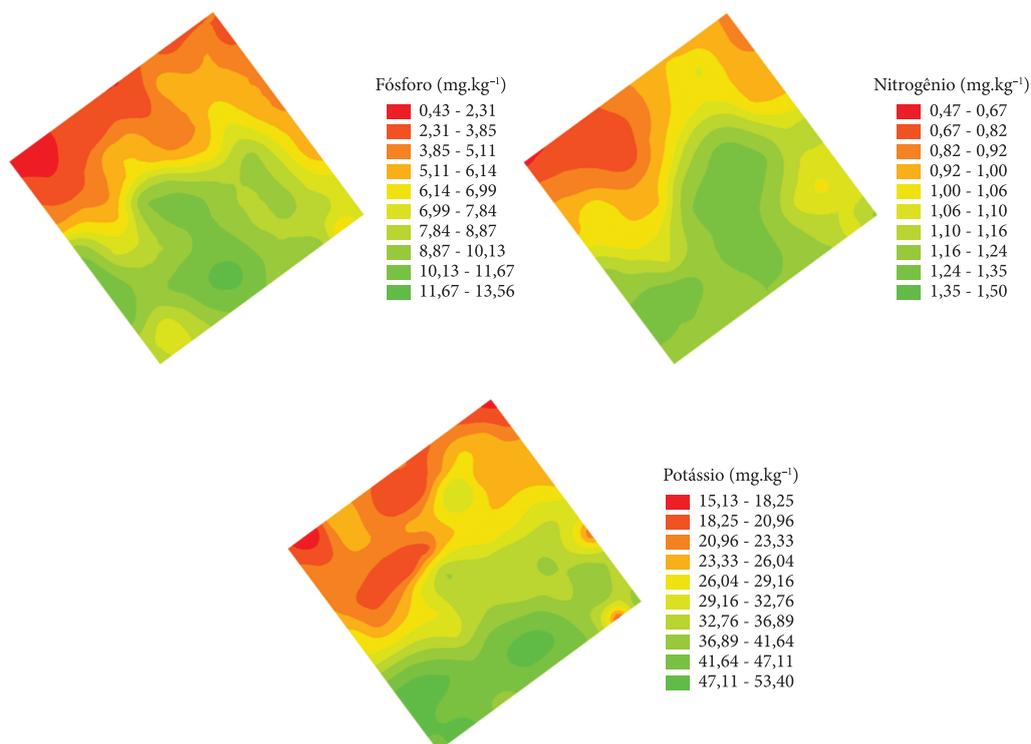


Figura 3. Mapas da distribuição espacial de teor de fósforo, nitrogênio e potássio na AR2 (PARFITT, 2009). Ajuste do modelo acima de 98%. Parâmetros do semivariograma (efeito pepita – patamar - alcance): K = 0-166-123,5 m; N = 0,01-0,053-123,5 m; P = 1,4-14,8-123,5 m.

4. Conclusão

Ambas lavouras AR1 e AR2 apresentam variabilidade espacial significativa, principalmente para produtividade. No entanto, no segundo caso houve indicações de associação com outras variáveis analisadas.

A combinação de levantamentos de campo com procedimentos de geoprocessamento parece essencial para o aperfeiçoamento das técnicas de AP, redução de custos e otimização dos procedimentos de intervenção, principalmente em trabalhos de pequena escala.

A AP envolve uma densificação de pontos a ser avaliados no interior da lavoura, derivando em incremento de mão de obra ou equipamentos, de determinações analíticas e finalmente, numa maior rigorosidade para o planejamento e gerenciamento das ações.

Agradecimentos

Aos bolsistas João Tomaz Barcellos Junior e Mauro Ricardo R. Nóbrega pelo apoio para o levantamento dos dados de produtividade.

Referências

- GOOGLE EARTH. **Google Earth Pro**. Google, 2011. Disponível em: <<http://earth.google.com.br/download-earth.html>>. Acesso em: 11 maio 2011.
- FARACO, M. A.; URIBE-OPAZO, M. A.; SILVA, E. A.; JOHANN, J. A.; BOSSOI, J. A. Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e de produtividade de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 463-476, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000200001>
- MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDI, A. C. C.; SILVA, C. A. (Eds.). **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 209 p.
- PARFITT, J. M. B. **Impacto da sistematização sobre atributos físicos, químicos e biológicos em solos de várzea**. 2009. 92 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2009.
- WERNER, V.; SCHOSSER, J. F.; ROZIN, D.; PINHEIRO, E.; DORNELLES, M. E. Aplicação de fertilizantes a taxa variável em agricultura de precisão variando a velocidade de deslocamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 6, p. 658-663, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662007000600016>

Aplicação de processamento digital de imagens orbitais e SIG para apoio à agricultura de precisão nas culturas da videira e macieira no Rio Grande do Sul**

Rosemary Hoff^{1*}, André Rodrigo Farias^{1*}, Jorge Ricardo Ducati^{2*},
Gustavo Rodrigues Toniolo^{3*}

¹ Embrapa Uva e Vinho, RS, Brasil

² Professor do Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento remoto e meteorologia – CEPSRM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

³ Bolsista Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul – FAPERGS, Embrapa, RS, Brasil

*e-mail: rosehoff@cnpuv.embrapa.br; afarias@cnpuv.embrapa.br; jorge.ducati@ufrgs.br; gustavo@cnpuv.embrapa.br

**Rede AP, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Resumo: O estudo por sensoriamento remoto e SIG para as culturas de videira e macieira no Brasil requereu a busca por imagens de satélite adequadas à aplicação de índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). Dados ALOS (Advanced Land Observing Satellite) foram testados em duas áreas experimentais no Estado do Rio Grande do Sul. Os resultados apontam que a diferenciação de índices no âmbito inter e intra parcelas podem auxiliar no manejo da cultura.

Palavras-chave: imagem ALOS, macieira, NDVI, videira.

Application of digital processing on satellite images and GIS to support for precision agriculture in the cultures of vine and apple in Rio Grande do Sul

Abstract: The study by remote sensing and GIS for the vine and apple crop in Brazil has requested the search for satellite images to the appropriate application of normalized difference vegetation index (NDVI). Data ALOS (Advanced Land Observing Satellite) were tested in two experimental areas in Rio Grande do Sul State. The results suggest that differential index in inter and intra areas can assist in crop management.

Keywords: ALOS image, apple, NDVI, vine.



1. Introdução

O estudo por sensoriamento remoto da Rede de Agricultura de Precisão da Embrapa para as culturas de videira e macieira no Brasil requereu a busca por imagens de satélite adequadas à aplicação de índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) em duas áreas experimentais em Flores da Cunha na Serra Gaúcha e em Vacaria nos Campos de Cima da Serra, no Estado do Rio Grande do Sul (Figura 1).

O Índice de Vegetação (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) tem sido usado para medir e monitorar o crescimento da planta (vigor), cobertura vegetal e produção de biomassa a partir de dados de satélite multiespectrais. O princípio do NDVI se baseia no fato de que na região vermelha do espectro eletromagnético a clorofila absorve luz solar, enquanto que na região do infravermelho próximo a estrutura das folhas (mesofilo) fornece considerável reflectância (TUCKER et al., 2001).

O estudo do relevo onde se desenvolvem as atividades agrícolas é a base para implantação de métodos de manejo, observações microclimáticas e análises multicritério com dados secundários, podendo apoiar a agricultura de precisão. O detalhamento do relevo pode destacar atributos como hipsometria, declividade e exposição, importantes para a planta e aspectos do solo onde se desenvolve e as imagens ALOS tem sido bastante empregadas em estudos de indicação geográfica de vinhedos e gestão ambiental da Embrapa Uva e Vinho (HOFF et al., 2011).

O objetivo deste trabalho é mostrar o emprego de NDVI no contexto da parcela de vinhedo e da macieira, após testados todos dados de satélite disponíveis, adequados em resolução espacial e acessíveis economicamente ao emprego para agricultura de precisão.

2. Material e métodos

O material utilizado para o estudo de regiões vitivinícolas e de maçã no Brasil é formado por um conjunto de imagens de satélite: 1) MDE SRTM de baixa resolução (90 m); 2) imagem multiespectral ASTER e respectivo MDE de média resolução (15 m); 3) imagem multiespectral IKONOS de

alta resolução espacial (1 a 4 m); 4) imagem ALOS multiespectral e MDE (10 e 2,5 m).

Os softwares utilizados, para o processamento digital de imagens foi ENVI 4.7 (ITT, 2011) e para geoprocessamento foi o gvSIG (2010). As principais técnicas empregadas foram ortorretificação, registro de imagem, aumento linear de contraste e determinação de NDVI por matemática de bandas. A primeira área estudada está na situada nos vinhedos pertencentes à Vinhos Argenta Ltda. E a segunda área está localizada nos pomares da Agropecuária Schio Ltda.

As imagens NDVI foram geradas a partir dos canais 3 (Red) e 4 (NIR) do conjunto ALOS AVNIR-2, na faixa espectral no visível (0,58-0,68 μ) e infravermelho próximo (0,725-1,10 μ , regiões do espectro eletromagnético. Para cálculo do NDVI, aplicou-se a seguinte operação matemática entre as bandas:

$$\text{NDVI} = (\text{Nir} - \text{red}) / (\text{Nir} + \text{Red}) \quad (1)$$

3. Resultados e discussão

Dentre muitos dados de imagens multiespectrais e pancromáticas disponíveis no acervo da Embrapa Uva e Vinho, acessíveis aos estudos, aponta-se a imagem ALOS em seu conjunto pancromático e multiespectral, como a melhor neste momento para construir-se o modelo digital de elevação para estudo detalhado do relevo e a observação do vigor da planta, dentro da escala de parcela de vinhedo e também de cultura de maçã.

A Figura 2 mostra o sistema de informações geográficas do vinhedo da empresa Vinhos Argenta Ltda., onde tem-se na tela em destaque uma composição colorida bandas RGB321 fusionadas com banda pancromática da imagem ALOS, tendo-se um resultado final com resolução 2,5 m, possibilitando a definição exata dos vinhedos. No SIG, é possível estabelecer sobreposição de camadas como altimetria, declividade, exposição solar, NDVI.

A Figura 3 mostra uma imagem NDVI gerada a partir da operação entre bandas 3 e 4 AVNIR-2 de outubro de 2009, observando-se os altos índices nas parcelas de macieira em geral, porém, passíveis de



Figura 1. Localização das unidades piloto de Flores da Cunha (vinhedo) e Vacaria (macieira) no Estado do Rio Grande do Sul.

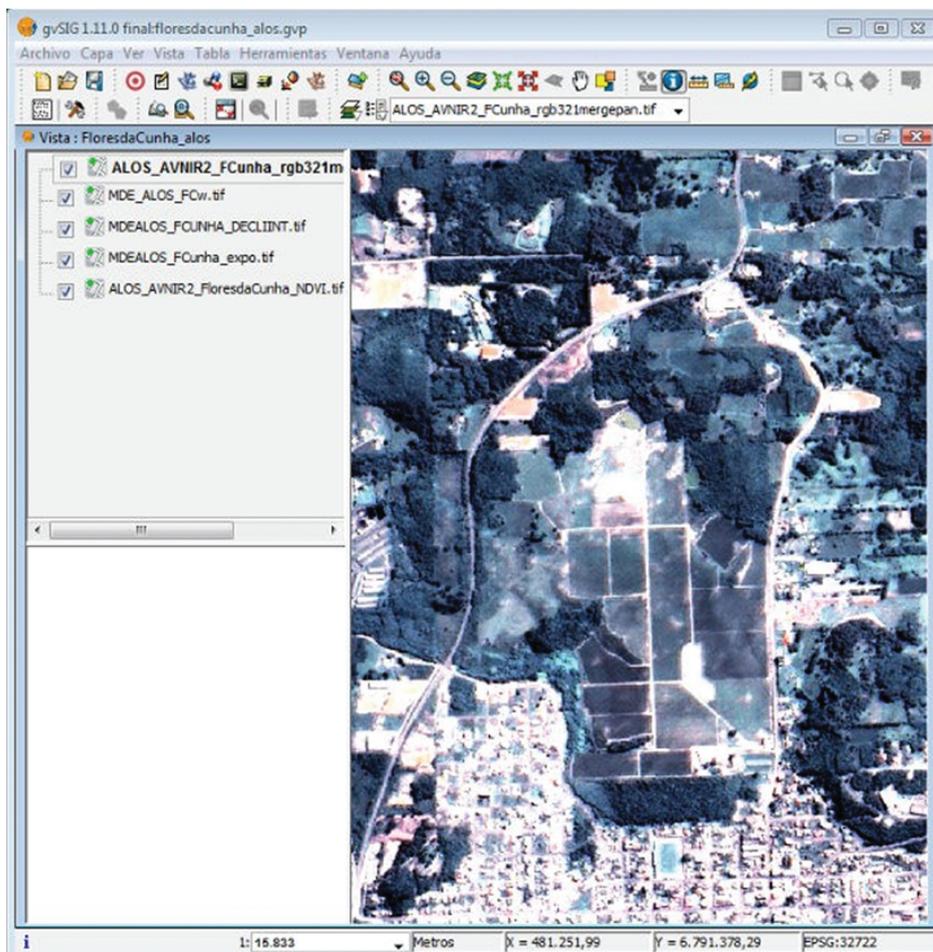


Figura 2. Sistema de informações geográficas (gvSIG) da unidade piloto de Flores da Cunha (RS) em vinhedos, mostrando composição colorida bandas RGB321 fusionadas com banda pan cromática da imagem ALOS.



Figura 3. Imagem NDVI da unidade piloto de Vacaria (RS) num pomar de maçãs, resultante da operação entre bandas multiespectrais da imagem ALOS.

diferenciação entre as parcelas para permitir um manejo diferenciado entre elas, seja na época de colheita, seja para irrigação, entre outras práticas. No âmbito intraparcelsa, os dados diferenciados de NDVI podem colaborar para o manejo das mesmas.

4. Conclusões e recomendações

Ao longo do Projeto da Rede de Agricultura de Precisão da Embrapa, a realização de testes com imagens de satélite com resoluções diferenciadas possibilitou optar por produto de custo baixo. Este produto forneceu, além de características espectrais, dados de relevo do ambiente da cultura da videira e pomicultura. No entanto, o fornecimento das imagens ALOS foi suspenso pelo seu desenvolvedor internacional, podendo-se adquirir estas imagens e utilizá-las para geração de modelos digitais de altimetria, o que ainda constituiu um ganho para agricultura. Apesar da Embrapa ter em seu acervo imagens orbitais de diversos sensores, há necessidade de obtenção de dados sazonais conforme a safra. No caso da videira na Região Sul recomenda-se adquirir imagens pouco antes e no período de colheita, a fim de relacionar a refletância às condições de sanidade e quantidade de água no sistema.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CEPARM/UFRGS, às empresas Vinhos Argenta Ltda. e Agropecuária Schio Ltda.

Referências

- ADVANCED AND OBSERVING SATELLITE - ALOS. 2009. Disponível em: <<https://ursa.aadn.alaska.edu/>>.
- GVSIG. **Sistema de Información Geográfica**. Valencia: Conselleria d'Infraestructuras y Transportes. Disponível em: <<http://www.gvsig.gva.es/>>.
- HOFF, R.; MENEZES, G. C.; FARIAS, A. R.; TONIETTO, J. O uso de SR/SIG: informação espacial de indicações geográficas no Brasil. In: WORLD CONGRESS OF VINE AND WINE, 34.; General Assembly Of Oiv, 9., 2011, Porto. **Proceedings...** Porto: OIV, 2011. CD-ROM, p. 1-6.
- ITT VISUAL INFORMATION SOLUTIONS - ITT VIS. Disponível em: <<http://www.itvis.com/>>.
- TUCKER, C. J.; SLAYBACK, D. A.; PINZON, J. E.; LOS, S. O.; MYNENI, R. B.; TAYLOR, M. G. Higher northern latitude normalized difference vegetation index and growing season trends from 1982 to 1999. **International Journal of Biometeorology**, v. 45, n. 4, p.184-190, 2001. <http://dx.doi.org/10.1007/s00484-001-0109-8>

Variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos de solo e planta na UP Uva para Vinho, Bento Gonçalves, RS

José Maria Filippini Alba^{1*}, Alberto Miele^{2*}, Carlos Alberto Flores^{1*}, Ciro Pavan^{3*}, Mário L. Fochesato^{3*}, Enrique Levien^{4*}, Daiane H. Zarnott^{5*}

¹ Pesquisador, Embrapa Clima Temperado, CEP 96010-971, Pelotas, RS, Brasil

² Pesquisador da Embrapa Uva e Vinho, CEP 95700-000, Bento Gonçalves, RS, Brasil

³ Engenheiro Agrônomo da Vinícola Miolo, CEP 95700-000, Bento Gonçalves, RS, Brasil

⁴ Técnico Agropecuário, Autônomo, CEP 96010-971, Pelotas, RS, Brasil

⁵ Técnica Agroindustrial, Pós-graduanda da UFPel, CEP 96001-970, Pelotas, RS, Brasil

*e-mail: jose.filippini@cpact.embrapa.br; miele@cnpuv.embrapa.br; carlos.flores@cpact.embrapa.br; ciro@miolo.com.br; mario@miolo.com.br; henriquelevien@gmail.com; daiahzar@gmail.com

Resumo: Tecnologias de agricultura de precisão (AP) são pouco contempladas pelo setor primário para aumentar a qualidade e competitividade do vinho brasileiro. Por isso, esta pesquisa considera várias tecnologias de AP num vinhedo do cv. Merlot, clone 347, UP Uva para Vinho, localizado em Bento Gonçalves, RS. Neste resumo apresentam-se resultados preliminares relacionados à análise da variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos de solo e planta, complementando o trabalho de Miele et al. (2011), também apresentado neste workshop. Os dados sugerem haver variabilidade espacial significativa para vários atributos, com boa correlação com as classes taxonômicas de solo (Argissolos, Cambissolos e Neossolos) e, em certos casos, dependência com o manejo realizado no vinhedo. Os próximos passos consistem em afinar a espacialização dos dados e definir métodos adequados de integração.

Palavras-chave: agricultura de precisão, geoestatística, uva, videira, vinho, viticultura de precisão.

Spatial variation of soil and plant physical and chemical properties in a Wine Grape Pilot Unity, in Bento Gonçalves, State of Rio Grande do Sul, Brazil

Abstract: The use of precision agriculture (PA) technologies by growers and wineries in Brazil to improve wine quality and competitiveness is limited. Thus, the current research encompass several PA technologies in a vineyard of cv. Merlot, clone 347, Wine Grape Pilot Unit, established in Bento Gonçalves, RS, Brazil. This summary presents preliminary results from the analysis of the spatial variability of physical and chemical properties of soils and plants, complementing the work of Miele et al. (2011) also presented in this workshop. The data indicate the presence of significant spatial variability for several attributes, correlated to the soils taxonomic classification and for certain attributes, dependence on vineyard management practices. The subsequent stages of the project will include the improvement of spatial data and definition of appropriate integration methods.

Keywords: geostatistic, grape, grapevine, precision agriculture, precision viticulture, wine.



1. Introdução

Os sistemas de posicionamento global orientados por satélites e a geoestatística são geotecnologias estreitamente relacionadas à agricultura de precisão (AP). Os primeiros permitem localizar amostragens, avaliar perímetro e área de lavoura e implementar modelos de elevação em microescala. Já a geoestatística se associa ao estudo da variabilidade espacial, requisito imprescindível para aplicação da AP (MOLIN, 2011). Neste resumo se discute a variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos de solo e planta, realizados na UP Uva para Vinho (Unidade-Piloto Uva para Vinho), no contexto do projeto “Agricultura de Precisão para a Sustentabilidade de Sistemas Produtivos do Agronegócio Brasileiro”. Trata-se de uma atividade complementar a dos trabalhos de Flores et al. (2011) e Miele et al. (2011), que também está sendo apresentado no presente workshop.

2. Material e métodos

Os trabalhos de pesquisa em viticultura de precisão (VP) estão sendo realizados em três vinhedos do cv. Merlot, clone 347, enxertado sobre o porta-enxerto Paulsen 1103, dois deles formados em 2005 (Vinhedos 1 e 3) e um em 2006 (Vinhedo 2). Esses vinhedos pertencem à Vinícola Miolo, localizada no Vale dos Vinhedos, município de Bento Gonçalves, RS. No total, são 2,42 ha de videiras conduzidas em espaldeira e podadas em cordão esporonado. As ações de pesquisa relativas ao presente trabalho foram: **1) Georreferenciamento dos vinhedos:** o georreferenciamento da área foi feito com estação total (Sokkia SET 610) e GPS Geodésico (Sokkia GSR 2600), o qual serviu de base para a criação de cartas de altimetria, declividade e malha (10 × 10 m) de coordenadas para o mapeamento dos solos. No conjunto dos três vinhedos foram registradas as linhas de videiras, nas quais foram georreferenciadas 257 plantas; **2) Determinação dos perfis dos solos:** para a determinação dos perfis dos solos foram abertas quatro trincheiras. As amostras de solo foram coletadas em todos

os horizontes até a profundidade de 150 cm. Os solos foram classificados segundo Santos et al. (2006). Realizaram-se as seguintes determinações analíticas, as quais foram feitas no Laboratório de Solos da UFRGS: a) P_2O_5 , Fe_2O_3 , MnO, TiO_2 , Al_2O_3 , SiO_2 (ataque sulfúrico) e b) pH, Al^{3+} , Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , P^{5+} , fração da amostra total (calhau, cascalho e terra fina), composição granulométrica (areia grossa, areia fina, silte e argila), argila dispersa em água, grau de flocculação, C orgânico, N e relação C/N; **3) Coleta e análise físico-química de amostras do solo:** no Vinhedo 2 coletaram-se 54 amostras de solo, próximos às videiras georreferenciadas, em janeiro de 2011 e na profundidade de 0 a 20 cm. As análises dos solos foram realizadas sem o ataque sulfúrico; **4) Espacialização dos dados:** os dados relacionados às amostras de solos foram espacializados por métodos geoestatísticos para cada vinhedo. No presente resumo, apresentam-se somente os resultados relativos ao Vinhedo 2; **5) Determinação de clorofila:** a clorofila das folhas de videira foi determinada em janeiro de 2011, fazendo-se leituras em 10 folhas de cada uma das 257 plantas georreferenciadas, ou seja, a leitura foi feita em 2.480 folhas, sempre na mesma região de cada limbo. Determinaram-se os índices das clorofilas *a* e *b*, da relação *a/b* e da soma *a + b*. Para isso, utilizou-se um medidor eletrônico de clorofila, o ClorifiLOG CFL 1030, da Falker.

3. Resultados

As frações granulométricas apresentaram médias semelhantes para argila, silte e areia grossa, devido a sua característica complementar, ou seja, a soma de frações foi fixa (Tabela 1). As variáveis químicas, teor de Al e P, assim como pH, não mostraram variabilidade espacial. As restantes variáveis se ajustaram ao modelo esférico, com alcance diferente para silte e índice de clorofila *b*. Depois da krigagem, as variáveis relacionadas às frações granulométricas apresentam distribuições espaciais diferentes e provavelmente relacionadas com a altimetria do terreno (Figura 1). As variáveis químicas apresentam associação espacial no caso

Tabela 1. Parâmetros estatísticos e geoestatísticos das variáveis indicadas para as 54 amostras de solo ou de 257 plantas (clorofila) do Vinhedo 2.

Variável	Média	Desvio padrão	C ₀ *	C ₁ **	a***	Modelo de ajuste
Argila, <0,002 mm, g/kg	300	119	8435	9388	129	Esférico
Silte, 0,002-0,05 mm, g/kg	289	83	5100	2300	81	Esférico
Areia fina, 0,05-0,20 mm, g/kg	111	35	4800	10900	129	Esférico
Areia grossa, 0,20-2 mm, g/kg	297	70	3000	3100	129	Esférico
Al, cmol _c /kg	0,01	0,07				EPP
Ca, cmol _c /kg	9,9	1,4	1,5	1,0	129	Esférico
Índice de clorofila <i>b</i>	12,2	0,9	0,73	0,57	64	Esférico
C orgânico, g/kg	17,7	4,3	11	14	129	Esférico
K, cmol _c /kg	0,6	0,2	0,021	0,0098	129	Esférico
Mg, cmol _c /kg	2,4	0,4	0,15	0,24	129	Esférico
N, g/kg	1,9	0,4	0,16	0,39	129	Esférico
P, mg/kg	99	82				EPP
pH em H ₂ O	5,0	0,3				EPP

*C₀ = efeito pepita; **C₁ = variância estrutural; ***a = alcance, EPP = Efeito pepita puro.

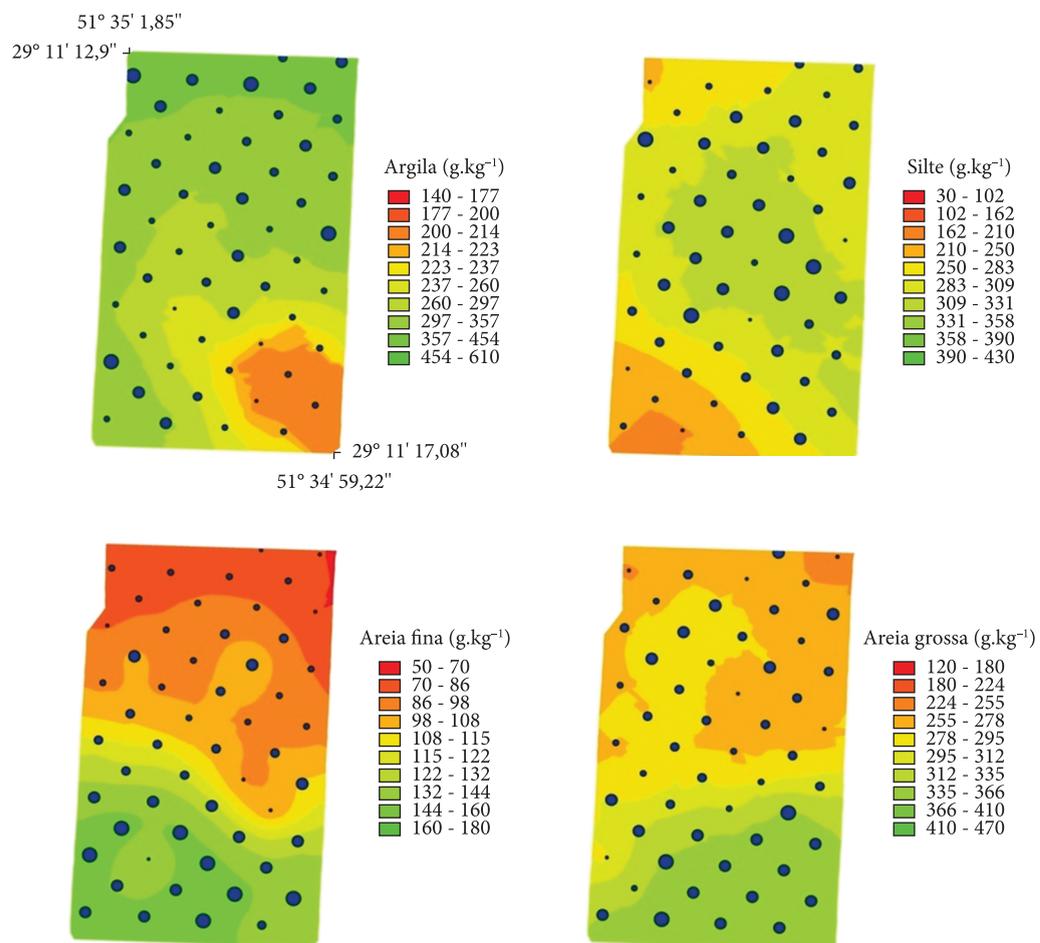


Figura 1. Distribuição espacial derivada da krigagem de variáveis derivadas das frações granulométricas no Vinhedo 2 (Bento Gonçalves, RS). Os círculos representam o valor real dos valores observados.

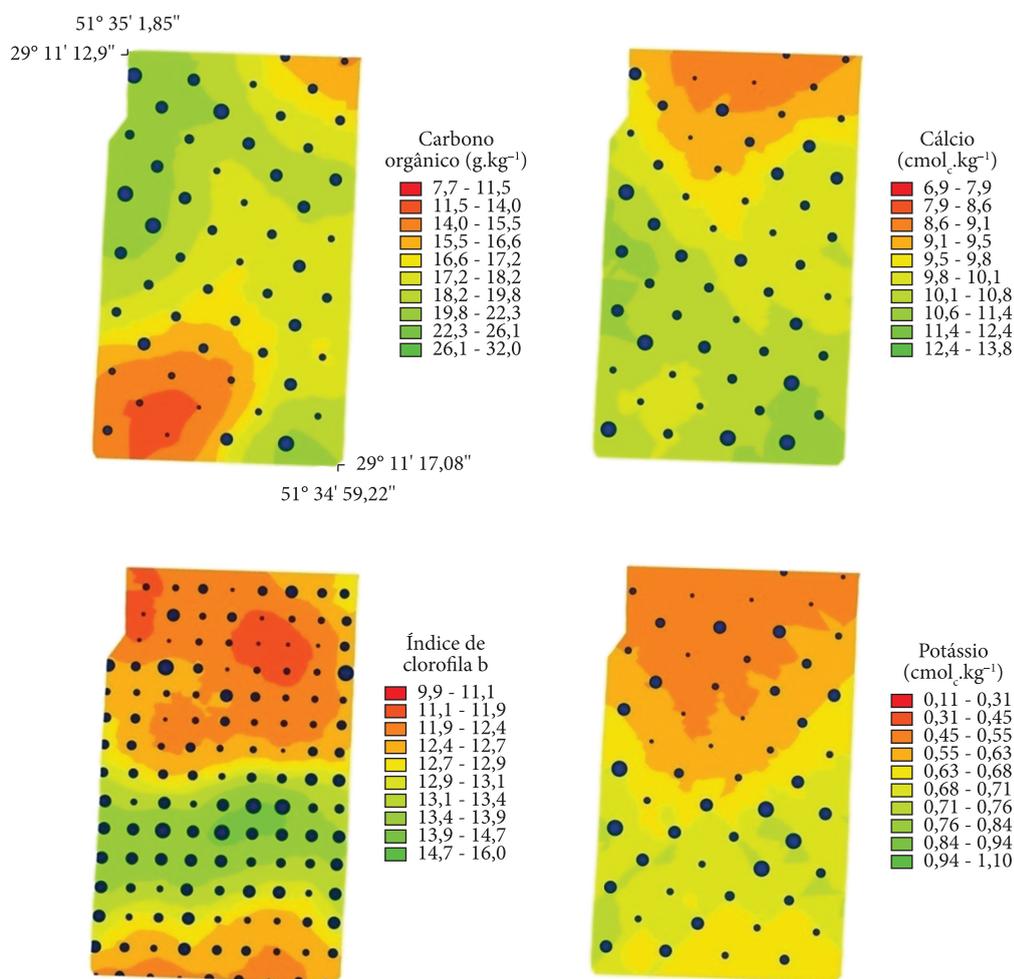


Figura 2. Distribuição espacial derivada da krigagem de variáveis químicas no Vinhedo 2 (Bento Gonçalves, RS). Os círculos representam o valor real dos valores observados.

de Ca e K (Figura 2), com boa variabilidade espacial nos casos apresentados. Os tamanho dos círculos representam o teor observado para cada variável em cada ponto, permitindo visualizar, de maneira aproximada, o grau de ajuste do processo de krigagem.

4. Conclusões

Os dados apresentam variabilidade espacial significativa, porém os mapas deverão ser aperfeiçoados ainda, sendo necessário desenvolver um método de integração multicritério, assim como articular as tarefas de intervenção a campo.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos Drs. Ricardo Y. Inamasu e Ladislau M. Rabello; ao Prof. Clésio Gianello; ao

doutorando Rubens Tabile; ao geógrafo André R. Farias; ao enólogo Guilherme da C. Meneses; e à estudante Cristiane B. Badalotti, pelo inestimável apoio e colaboração prestados na execução das atividades de pesquisa desenvolvidas.

Referências

FLORES, C. A.; FILIPPINI ALBA, J. M.; LEVIEN, H. E.; ZARNOTT, D. H.; MIELE, A.; PAVAN, C. Levantamento detalhado dos solos e a viticultura de precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. *Anais...* Uberlândia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. 4 p. 1 CD-ROM. Resumo expandido.

MIELE, A.; FLORES, C. A.; FILIPPINI ALBA, J. M. Status atual da pesquisa de viticultura de precisão no Rio Grande do Sul: primeiros resultados da UP Uva para Vinho. In: CONVENÇÃO DA REDE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2., 2011, São Carlos. *Anais...* São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. No Prelo.

MOLIN, J. P. **Agricultura de precisão. Parte II: Diagnóstico, aplicação localizada e considerações econômicas.** Disponível em: <<http://br.monografias.com/trabalhos901/agricultura-precisao-diagnostico/agricultura-precisao-diagnostico.pdf>>. Acesso em: 19 set. 2011.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Eds.). **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

Visualização espacial do teor foliar de N total em videira com uso do medidor portátil de clorofila na folha**

Patricia dos Santos Nascimento^{1*}, Juliano Athayde Silva^{2*},
Bruno Ricardo Silva Costa^{3*}, Luís Henrique Bassoi^{4*}

¹ Pós-graduando, Bolsista do CNPq, Departamento de Engenharia Rural, Universidade Estadual Paulista – FCA/UNESP, CP 237, CEP 18603-970, Botucatu, SP, Brasil

² Pós-graduando, Bolsista da CAPES, Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, Av. Antonio Carlos Magalhães, 510, CEP 48902-300, Juazeiro, BA, Brasil

³ Bolsista do CNPq, Embrapa Semiárido, CP 23, CEP 56302-970, Petrolina, PE, Brasil

⁴ Pesquisador, Embrapa Semiárido

*e-mail: patyysn@yahoo.com.br; juliano.athayde@cpatsa.embrapa.br; bruno.bolsista@cpatsa.embrapa.br; lhbassoi@cpatsa.embrapa.br

**Trabalho financiado pela Embrapa e FACEPE

Resumo: O uso do clorofilômetro portátil pode permitir a determinação rápida e em campo do teor foliar de N. Assim, este estudo foi realizado para determinar zonas homogêneas quanto ao teor foliar de N em videira de mesa em Petrolina - PE. As leituras com o clorofilômetro foram realizadas em cada fileira de planta e a cada duas plantas, em um grid de amostragem de 5 x 4 m. Os dados foram submetidos a análise pela geoestatística para análise da dependência espacial e delimitação das zonas homogêneas. Posteriormente, as mesmas zonas serviram de subsídio para a avaliação qualitativa da uva na área de cultivo. Em cada zona delimitada foram coletadas 20 bagas de uva, em 3 repetições, para análise de teor de sólidos solúveis totais, acidez total titulável e pH em laboratório. Os resultados apresentaram uma correlação direta desses parâmetros com o teor foliar de N total. A determinação das zonas homogêneas possibilitou a orientação da amostragem de bagas na área para a análise de qualidade antes da colheita.

Palavras-chave: agricultura de precisão, teor de sólidos solúveis totais, uva.

Spatial visualization of foliar total N content in grapevines by using portable leaf chlorophyll meter

Abstract: The use of portable chlorophyll meter can provide the in field and quick determination of foliar N content. This work was carried out to determine foliar N content homogeneous zones in grapevines in Petrolina, Pernambuco State, Brazil. The measurements with the chlorophyll meter were performed in every plant row and in every two plants inside the rows, compounding a 5 x 4 m sampling grid. Data were analyzed by geostatistics to analyze the spatial dependence and to determine homogeneous zones. After that, the same zones were used as reference to the berry qualitative analysis in the cropping area. In every homogeneous zones 20 berries were harvested, in 3 replications, to the total soluble solid content, total titratable acidity and pH determination in laboratory. Results showed a direct correlation among these parameters with foliar total N content. The determination of homogeneous zones was suitable to guide the berries sampling in the orchard for the quality analysis before harvesting.

Keywords: precision agriculture, total soluble solid content, grape.

1. Introdução

A presença de nitrogênio nas plantas é o principal indicativo do teor de clorofila no tecido foliar, o qual é amplamente utilizado na avaliação do estado nutricional em algumas culturas. Com o desenvolvimento do clorofilômetro tornou-se possível a determinação do teor de clorofila em nível de campo, proporcionando leituras instantâneas, de uma maneira não destrutiva de folhas. A utilização de medidores portáteis, que utilizam princípios ópticos não destrutivos, baseados na absorvância e/ou refletância da luz pelas folhas para a determinação de clorofilas, é um processo fácil e rápido, podendo ser realizado em campo (RICHARDSON et al., 2002). O teor de clorofilas nas folhas é influenciado por diversos fatores, estando diretamente relacionado com o potencial de atividade fotossintética das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2002).

Assim, este estudo foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o teor foliar de N em videira de mesa em Petrolina - PE, medido com um clorofilômetro portátil e determinar as zonas homogêneas de seus teores.

2. Material e métodos

O experimento foi conduzido em área de produção comercial, localizada no Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho, Núcleo 5, em Petrolina-PE (latitude 9° 23' S, longitude 40° 39' O, altitude 394 m). O solo da área é um Neossolo Quartzarênico (EMBRAPA, 2006).

Para a realização do estudo foi selecionada uma área com 20 fileiras de plantas e 81 plantas por fileira, em um pomar de videira cultivar Thompson Seedless sobre o porta-enxerto SO4, plantada em maio de 2004, no espaçamento de 4 x 2,5 m, conduzida no sistema de latada, e irrigada por microaspersão, com 1 difusor por planta.

Para a avaliação do teor foliar de N total foi utilizado um clorofilômetro portátil KONICA SPAD 502 Plus. As leituras foram realizadas em folhas completamente expandidas e com bom aspecto fitossanitário, em 18 de julho de 2011 (91 dias após a poda de produção). A colheita dos

cachos de uva foi iniciada em 9 de agosto de 2011 (113 dias após a poda de produção).

O clorofilômetro foi previamente calibrado na mesma área, em função da leitura do equipamento em folhas com diferentes tonalidades de cor verde, nos dias 18, 25 e 31 de maio de 2011 (respectivamente 30, 37 e 43 dias após a poda). As folhas utilizadas foram coletadas e enviadas para a determinação do teor foliar de N total no Laboratório de Solo, Água e Planta da Embrapa Semiárido. Assim, a relação linear entre a leitura do clorofilômetro e o teor foliar total de N foi determinada.

Os dados foram submetidos a análise por meio do software GS+ 7,0 com o objetivo de determinar a dependência espacial. O índice de dependência espacial dos atributos (IDE), que é dado por $[C/(C_0+C)]*100$, foi determinado e classificado, segundo Zimback (2001), assumindo, assim, os seguintes intervalos: dependência espacial baixa para IDE < 25%, moderada para 25% < IDE < 75% e forte para IDE > 75%. Posteriormente, as zonas homogêneas quanto ao teor foliar de N total foram determinadas.

Posteriormente, em cada zona delimitada foram coletadas aleatoriamente 20 bagas de uva, em 3 repetições. As bagas foram acondicionadas em sacos plásticos e em isopor com gelo e encaminhadas ao Laboratório de Enologia da Embrapa Semiárido, onde foram determinados o teor de sólidos solúveis totais (SST, °Brix), com o auxílio de um refratômetro digital de bancada calibrado a 20 °C; pH, com medidor digital e acidez total titulável (ATT, g.L de ácido tartárico⁻¹), por titulação em uma alíquota de 5 mL do mosto com NaOH 0,1N.

3. Resultados e discussão

O teor foliar de N total apresentou dependência espacial, seguindo um modelo exponencial, com alcance de 51,30 m e IDE moderado (41).

Na Figura 1 é possível observar a distribuição espacial do teor foliar de N total na área de cultivo da videira. O mapa de superfície possibilitou a delimitação de 3 zonas homogêneas, com intervalos maiores (azul), intermediários (vermelho) e menores (verde).

Tabela 1. Acidez total titulável (ATT, g.L de ácido tartárico⁻¹), pH e teor de sólidos solúveis totais (SST, °Brix) em diferentes zonas homogêneas de teor foliar de N total na videira cv. Thompson Seedless.

Zonas Homogêneas	pH	ATT	SST
Azul - 78,9 a 80,4 g N.kg ⁻¹	3,53 ± 0,058	8,20 ± 0,087	18,60 ± 0,819
Vermelha - 77,2 a 78,8 g N.kg ⁻¹	3,53 ± 0,115	8,74 ± 0,433	16,23 ± 1,210
Verde - 75,5 a 77,1 g N.kg ⁻¹	3,43 ± 0,058	9,34 ± 0,568	14,80 ± 0,173

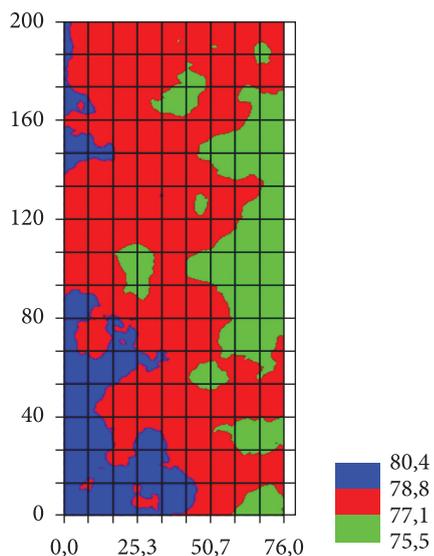


Figura 1. Mapa de zonas homogêneas do teor foliar de N total (g.kg⁻¹) na videira Thompson Seedless, aos 91 dias após a poda.

A Tabela 1 apresenta o resultado da análise qualitativa realizada nas bagas provenientes da amostragem com base nas zonas homogêneas de teor foliar de N. Maiores valores indicam uma maior presença de clorofila, que por sua vez podem indicar uma maior taxa fotossintética da videira e, conseqüentemente, maior teor de carboidratos. Tais fotoassimilados são transportados para as bagas durante a fase de maturação dos frutos. A análise dos dados coletados revelou que a acidez total titulável aumentou da zona azul (maior teor de N) para a zona verde (menor teor de N), comportamento inverso ao verificado pelo teor de sólido solúveis totais e pH, que teve um crescimento decrescente da zona azul (maior teor de N) para a zona verde (menor teor de N). Brunetto et al. (2009), trabalhando com a videira cv. Cabernet Sauvignon, observaram que a aplicação de doses de N aumentou de forma linear os valores de sólidos solúveis (°Brix) e pH do mosto. Busato et al. (2011), ao testarem diferentes doses de nitrogênio em videira cv. Niagara Rosada, observaram um

aumento linear do teor de sólidos solúveis e pH e uma redução linear da acidez total titulável nas bagas.

A utilização do mapa com base no teor de clorofila proporcionou a identificação de zonas homogêneas, e as mesmas foram utilizadas para orientar a coleta de bagas para a determinação de parâmetros de qualidade, que auxiliam o produtor na identificação do momento da colheita, especificamente quanto aos valores de SST e ATT. A relação entre o teor foliar de N e a qualidade da baga será abordada de modo mais detalhado na continuidade do experimento no próximo ano.

4. Conclusões

A aplicação da ferramenta geostatística possibilitou a identificação de zonas homogêneas quanto ao teor foliar de N em videira, e serviu como referência para a amostragem localizada de bagas para análise qualitativa antes da colheita.

Agradecimentos

À Fazenda Sasaki, pela cessão da área para a realização do experimento, e à FACEPE, pelo financiamento do projeto.

Referências

- BRUNETTO, G.; CERETTA, C. A.; KAMINSKI, J.; MELO, G. W.; GIROTTO, E.; TRENTIN, E. E.; LOURENZI, C. R.; VIEIRA, R. C. B.; GATIBONI, L. C. Produção e composição química da uva de videiras Cabernet Sauvignon submetidas à adubação nitrogenada. *Ciência Rural*, v. 39, n. 7, p. 2035-2041, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009005000162>
- BUSATO, C. C. M.; SOARES, A. A.; SEDIYAMA, G. C.; MOTOIKE, S. Y.; REIS, E. F. Manejo da irrigação e fertirrigação com nitrogênio sobre as características químicas da videira 'Niágara Rosada'. *Ciência Rural*, v. 41, n. 7, p. 1183-1188, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782011005000085>

EMBRAPA. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa SPI, Embrapa Solos, 2006. 306 p.

RICHARDSON, A. D.; DUIGAN, S. P.; BERLYN, G. P. An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content. **New Phytologist**, v. 153, n. 1, p. 185-194, 2002. <http://dx.doi.org/10.1046/j.0028-646X.2001.00289.x>

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 3. ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2002. 690 p.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. 2001. 114f. Tese (Livre-Docência em Levantamento do solo e Fotopedologia)-Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.