

Oportunidades de Aplicação das Tecnologias Adaptativas para a Modelagem em Agricultura de Precisão

Fabiana S. Santana, Antonio M. Saraiva e Renata L. Stange

Resumo — A agricultura de precisão tem o objetivo de identificar áreas com diferentes níveis de produtividade, a fim de permitir a aplicação otimizada de insumos, o gerenciamento dos recursos agrícolas, a manutenção da qualidade da produção e também promover a sustentabilidade em campo. A agricultura de precisão depende da aplicação de tecnologias sofisticadas e do uso de sistemas de informação. As unidades de gerenciamento diferenciado permitem agrupar áreas de uma fazenda ou propriedade de forma contínua, auxiliando o seu gerenciamento. O resultado da aplicação do algoritmo *k-means* para identificar unidades de gerenciamento diferenciado é apresentado, discutindo os testes realizados e a sua versão adaptativa. Também são apresentados outros problemas de modelagem em agricultura de precisão onde a aplicação de tecnologias adaptativas parece ser um importante caminho a ser explorado.

Palavras-chave — Tecnologias adaptativas (*adaptive technology*), algoritmos adaptativos (*adaptive algorithms*), agricultura de precisão (*precision agriculture*), modelagem em agricultura de precisão (*precision agriculture modelling*).

IV. INTRODUÇÃO

A AGRICULTURA de precisão busca identificar áreas com diferentes níveis de produtividade no campo, a fim de oferecer um tratamento individual e diferenciado para cada uma delas [10] e, com isto, uniformizar os resultados obtidos [3]. Desta forma, é possível realizar a aplicação de insumos de maneira otimizada, a fim de uniformizar as condições do solo e procurar uniformizar a produtividade no campo.

Como potenciais resultados, destacam-se o melhor gerenciamento dos recursos agrícolas, o aumento da produtividade, o uso sustentável dos recursos disponíveis, a manutenção da qualidade da colheita, a segurança alimentar, a prosperidade agrícola e o desenvolvimento econômico [6].

A variabilidade sempre deve ser estudada considerando variáveis pré-definidas. A definição depende de diversos fatores, incluindo dados das culturas que estão sendo analisadas, aspectos químicos ou físicos do solo, dados climatológicos, aspectos específicos do ponto de vista agrônomo e aspectos econômicos, ou de mercado.

A agricultura de precisão [4] [16] também deve oferecer suporte para a tomada de decisão aos produtores agrícolas, considerando aspectos gerenciais e técnicos. São muitos os aspectos a serem analisados em agricultura de precisão, bem como as variáveis envolvidas, o que resulta na necessidade de aplicação de tecnologias sofisticadas para tratá-las adequadamente [9] [19]. Por exemplo, pode ser necessário interpretar grandes quantidades de dados coletados em campo por sensores instalados em tratores e outros equipamentos, comparados a dados climáticos obtidos de provedores de dados na Internet, como o portal WorldClim [<http://www.worldclim.org/>].

A Tecnologia da Informação, TI, pode ser aplicada em agricultura de precisão para suportar as decisões associadas à produção agrícola [15]. A TI deve ser utilizada para coletar, armazenar, processar e analisar as variáveis e os dados envolvidos em seus processos. Para que a tomada de decisão seja ágil, recomenda-se o desenvolvimento de sistemas de informação capazes de tratar as grandes quantidades de dados e as variáveis necessárias [10].

Como os dados podem vir de fontes distintas e obedecer a diferentes padrões ou formatos, é necessário um esforço adicional para prover a interoperabilidade e a integração entre as fontes de dados e os sistemas relacionados à tomada de decisão.

Considerando que a tendência atual da computação é utilizar sistemas baseados em Internet [8] e orientados a serviços para viabilizar a troca de dados, a integração e a interoperabilidade entre máquinas, equipamentos e sistemas [17] e que as funcionalidades da agricultura de precisão devem evoluir com a tecnologia, uma solução que permita a fácil integração de novas funcionalidades é extremamente desejável [6].

Em [12], foi proposta uma infraestrutura para a solução de um problema em biodiversidade, denominado modelagem de nicho ecológico. A partir dos estudos para agricultura de precisão feitos por [14], [6] e [5] e, a partir da grande similaridade encontrada entre estes problemas [13], foi

Fabiana S. Santana é professora do Centro de Matemática, Computação e Cognição da Universidade Federal do ABC (fabiana.santana@gmail.com).

Antonio M. Saraiva é professor do Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais da Universidade de São Paulo (saraiva@usp.br).

Renata L. Stange é aluna de mestrado do Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais da Universidade de São Paulo (rlstange@usp.br).

possível estender a infraestrutura, com pequenos ajustes, para o domínio da agricultura de precisão. A Figura 1 apresenta a arquitetura da solução orientada a serviços para agricultura de precisão.

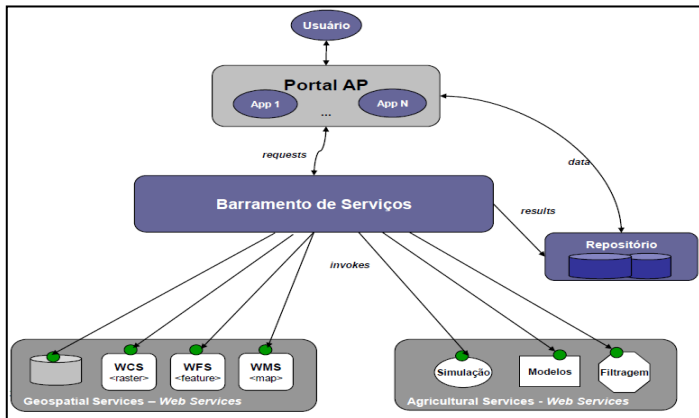


Figura 1 – Arquitetura da solução orientada a serviços para agricultura de precisão.

Uma vez definida a infraestrutura, o próximo passo foi desenvolver o portal para permitir a integração de serviços de interesse para agricultura de precisão. A Figura 2 apresenta o portal com a implementação de um serviço específico, baseado em um algoritmo de filtragem de dados de produtividade de máquina.

Agora, o grande desafio, além de desenvolver métodos e serviços gerenciais para auxiliar a administração da propriedade agrícola, é desenvolver métodos e algoritmos capazes de identificar a variabilidade no campo, identificar suas causas através da análise das variáveis de interesse, e oferecer suporte para a tomada de decisão em agricultura de precisão. Ao conjunto de métodos e algoritmos aplicados ao domínio da agricultura de precisão, denominamos modelagem em agricultura de precisão.

Este trabalho discute aplicações da tecnologia adaptativa para a modelagem em agricultura de precisão e apresenta uma solução preliminar para o problema de identificação de unidades de gerenciamento diferenciado, conhecidas como “zonas de manejo” na terminologia antiga, e que são de extremo interesse para o proprietário rural, quando da definição de culturas a serem produzidas em cada área de sua propriedade.

V. MATERIAL E MÉTODOS

A. O Problema da Modelagem em Agricultura de precisão

A agricultura de precisão, desde o seu surgimento, sempre teve a sua natureza dirigida ao tratamento dos dados e ao uso intensivo de tecnologia em diversas frentes da engenharia, incluindo equipamentos eletrônicos, como tecnologia embarcada em máquinas e equipamentos, e sistemas de informação (ZHANG et al., 2002).

As etapas básicas relacionadas à construção de sistemas de informação para agricultura de precisão estão sendo endereçadas, na medida em que sensores foram ou estão sendo instalados em equipamentos e no campo para a obtenção dos dados necessários, com destaque para os dados de produtividade, de solo e climáticos [6]. Também estão sendo feitos esforços no sentido de se criar padrões e aplicá-los para a coleta dos dados existentes, bem como para o desenvolvimento de sistemas de informação mais preparados para tratá-los [12].

Porém, embora seja possível obter os dados e, com a tecnologia atual, integrá-los na maioria dos casos, ainda não existem métodos satisfatórios para construir modelos confiáveis para agricultura de precisão. Desta forma, os sistemas disponíveis apenas coletam os dados e deixam a critério dos agrônomos a definição, através de métodos não automatizados, como as análises serão feitas. Em geral, aplicam-se fórmulas definidas pelo agrônomo com base em



Figura 2 – Portal para agricultura de precisão, exibindo o resultado do serviço para filtragem de dados de produtividade de máquina.

alguns estudos ou critérios genéricos encontrados na literatura.

B. Unidades de Gerenciamento Diferenciado

Uma fazenda ou unidade produtiva é normalmente dividida em regiões menores, denominadas talhões, a partir dos quais as unidades de gerenciamento diferenciado são identificadas.

Uma unidade de gerenciamento diferenciado é definida em função da similaridade das variáveis estudadas [3]. Por exemplo, se o objetivo for medir a produtividade e se a variável considerada for a quantidade de grãos colhidos, serão consideradas similares, a partir de intervalos pré-estabelecidos, as áreas onde a quantidade de grãos colhidos assumirem valores próximos, considerando o campo de forma contínua.

A partir da definição das unidades de gerenciamento diferenciado, outros problemas interessantes podem ser resolvidos. Entre eles, destaca-se o problema de definir e analisar as variáveis que têm influência sobre estas unidades, para interferir no processo. Por exemplo, no caso da definição de unidades de gerenciamento diferenciado em função da produtividade, como no exemplo anterior, fatores como a quantidade e o tipo de insumos aplicados ao solo, irrigação, quantidade de chuvas e outros fatores climáticos devem ser considerados, pois eles podem interferir diretamente na produtividade.

Estes problemas representam grandes oportunidades para a aplicação de algoritmos adaptativos.

C. Algoritmos de Agrupamento (Clustering)

O agrupamento de dados, também chamado de *clustering*, é um problema fundamental em mineração de dados, e tem o objetivo de determinar um conjunto finito de categorias para descrever um conjunto de dados, de acordo com padrões de objetos similares [7]. Portanto, as técnicas de agrupamento procuram explorar a semelhança entre os objetos, agrupando-os de acordo com padrões semelhantes em grupos ou categorias.

Considerando o problema de identificação das unidades de gerenciamento diferenciado, destaca-se o algoritmo *k-means* [2] [18] dentre os demais algoritmos de agrupamento, pois este método, em sua versão não-adaptativa, já foi utilizado para resolver este tipo de problema e os resultados foram bastante positivos para regiões com predomínio de culturas de café [11].

Basicamente, o *k-means* é um algoritmo de aprendizagem não-supervisionada que divide um conjunto de dados X em k clusters disjuntos, de modo que os dados de um determinado grupo possuam algum grau de similaridade entre eles [18], que é basicamente o que se deseja identificar com as unidades de gerenciamento diferenciado.

VI. RESULTADOS

Para encontrar as unidades de gerenciamento diferenciado e realizar esta etapa da modelagem em agricultura de precisão, foram executados os seguintes passos: 1) Definição do problema: definir a área a ser analisada e os tipos de análise a serem realizados; 2) Identificar as variáveis que podem

interferir na identificação das unidades de gerenciamento diferenciado, sabendo que a escolha destas variáveis depende do objetivo da modelagem; 3) Obter os dados necessários para a modelagem; 4) Executar o algoritmo *k-means* para encontrar as unidades de gerenciamento diferenciado; 5) Projetar os resultados na forma de mapas georreferenciados e tabelas de aplicação, permitindo a análise dos dados obtidos.

A partir de 12016 amostras de dados de produtividade, obtidos a partir de sensores instalados em máquinas utilizadas para a colheita de grãos, e do uso da ferramenta *Weka 3: Data Mining Software in Java* [http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/], foi realizada a simulação para a obtenção das unidades de gerenciamento diferenciado através da aplicação do algoritmo *k-means*. Os resultados da simulação estão nas Figuras 3 e 4.

=== Run information ===		
Scheme: weka.clusterers.XMeans -l 1 -M 1000 -I 1000 -L 2 -H 4 -B 1.0 -C 0.5 -D "weka.core.EuclideanDistance" -R first-last* -S 10	Splits performed : 2	Cluster 2
Relation: produtividade	Cutoff factor : 0.5	13.389391056137013
Instances: 12016	Percentage of splits accepted by cutoff factor : 0 %	0.0064660133206470933 -
Attributes: 4	Cutoff factor : 0.5	22.693911574215036 -
Moisture	Cluster centers : 4 centers	49.99064685823021
Wet_lg_yld		
Latitude		
Longitude		
Test mode: evaluate on training data		
		Cluster 3
		16.99206102117061
		0.008456475716064754 -
		22.69581996450814 -
		49.98873590193035
		Cluster 0
		0.03671562082770364
		9.129506008010667E-4 -
		22.69948079706273 -
		49.984846164218936
		Distortion: 2898.153613
		BIC-Value : 12336.563107
		Clustered Instances
=== Model and evaluation on training set ===		
XMeans	Cluster 1	0 883 (7%)
	17.432303040483788	1 5417 (45%)
Requested iterations : 1	0.009003074080295605 -	2 1969 (16%)
Iterations performed : 1	22.698419836049034 -	3 3747 (31%)
Splits prepared : 2	49.985845654963946	

Figura 3 – Resultado da simulação do algoritmo k-means através da ferramenta WEKA 3 – Data Mining Software in Java.

A Figura 3 apresenta os dados numéricos, que resultaram na identificação de quatro clusters, ou seja, quatro regiões de gerenciamento diferenciado. A Figura 4 apresenta os mesmos resultados de forma gráfica.

Uma versão adaptativa do *k-means* foi proposta em [1]. A diferença entre este algoritmo e o *k-means* tradicional está na inclusão de uma taxa de aprendizagem adaptativa. Porém, os testes preliminares com esta versão adaptativa não apresentaram diferenças significativas em relação aos testes realizados com o *k-means* tradicional, o que ocorreu provavelmente em função do uso de dados com pequenas variações nos valores da amostra utilizada para os testes.

Mesmo que ainda sejam bastante preliminares, o uso de algoritmos de agrupamento para identificação de unidades de gerenciamento diferenciado mostrou-se satisfatório, e novos testes devem ser desenvolvidos com outros conjuntos de dados, mais complexos e mais adequados, buscando avaliar o quanto se pode evoluir com esta técnica na solução deste problema. Da mesma forma, outros algoritmos de agrupamento devem ser avaliados.



Figura 4 – Resultado gráfico da simulação do algoritmo k-means através da ferramenta WEKA 3 – Data Mining

VII. CONCLUSÃO

Embora a aplicação de tecnologias sofisticadas e o uso de sistemas de informação para a agricultura de precisão já sejam aplicados para o gerenciamento da maioria das atividades em campo, o esforço da pesquisa na área nos últimos anos esteve concentrado no desenvolvimento de sistemas integráveis e na interoperabilidade, com o desenvolvimento de padrões para a obtenção e tratamento de dados no campo.

A evolução natural desta tecnologia é a modelagem em agricultura de precisão, que tem o objetivo de construir modelos para identificar as unidades de gerenciamento diferenciado e analisar as causas das diferenças dentro de um mesmo talhão, a fim de suportar a tomada de decisão com base nos dados obtidos.

Este trabalho apresenta uma pequena evolução na solução do problema de identificação de regiões de gerenciamento diferenciado, mas esta ainda é uma área de pesquisa incipiente, onde existem poucos métodos de análise disponíveis e uma série de aspectos do problema ainda não foram abordados.

Portanto, o grande desafio ainda permanece como um problema em aberto, que é utilizar a adaptatividade para obter modelos que permitam a tomada de decisão em agricultura de precisão de forma a interferir na produtividade da colheita. Desta forma, as oportunidades para a aplicação de tecnologias adaptativas para a modelagem em agricultura de precisão são muitas, e devem ser exploradas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Financiadora de Estudos e Projetos do Ministério da Ciência e Tecnologia, FINEP/MCT, pelo suporte ao projeto PROSENSAP, sob o convênio n.º 01.08.0566.00, do qual faz parte a pesquisa realizada neste trabalho.

REFERÊNCIAS

[1] CHINRUNGUENG, C.; SEQUIN, C.H. Optimal adaptive k-means algorithm with dynamic adjustment of learning rate. 2002. IEEE Transactions on neural networks. Vol 6:1, pp 157-169.

[2] MACQUEEN, J.B. Some methods for classification and analysis of multivariate observations, in: Proceedings of 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, volume 1: Statistics, 1967, pp. 281–297.

[3] MOLIN, J. P. Tendências da agricultura de precisão no Brasil. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão – CONBAP, Piracicaba, 2008.

[4] MOLIN, J. P.; MILAN, M.; NESRALLAH, M. G. T.; CASTRO, C. N.; GIMENEZ, L. M. Utilização de dados georreferenciados na determinação de parâmetros de desempenho em colheita mecanizada. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.26-3, p.759-767, set./dez. 2006.

[5] MURAKAMI, E.; SARAIVA, A. M.; RIBEIRO JR., L. C. M.; CUGNASCA, C. E.; HIRAKAWA, A. R.; CORREA, P. L. P. An infrastructure for the development of distributed service-oriented information systems for precision agriculture. Computer Electronics Agriculture, 2007. Doi:10.1016/j.compag.2006.12.010.

[6] MURAKAMI, E. Uma infra-estrutura de desenvolvimento de sistemas de informação orientados a serviços distribuídos para agricultura de precisão. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, Brasil. 2006.

[7] NALDI, M. C., CAMPELLO, R. J. G. B., HRUSCHKA, E. R., CARVALHO, A. C. P. L. F. (2010) "Efficiency issues of evolutionary k-means" Applied Soft Computing 11 (2011), p. 1938-1952.

[8] PASLEY, J. How BPEL and SOA are changing Web Services development. IEEE Internet Computing, v.9-3, p.60-67. 2005.

[9] PLANT, R.E. Site-specific management: the application of information technology to crop production. Computers and Electronics in Agriculture, v.30, p.9–29, 2001

[10] ROBERT, P.C. Precision Agriculture: research needs and status in the USA. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 2., 1999, Denmark. Proceedings. SCI/Sheffield Academic Press, 1999. p.19-33

[11] RODRIGUES JR., F. M. Geração de zonas de manejo para cafeicultura usando sensor spad e análise foliar. Dissertação de Mestrado, 2008, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

[12] SANTANA, F.S. Uma infraestrutura orientada a serviços para a modelagem de nicho ecológico. 141p. Tese (Doutorado), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

[13] SANTANA, F.S.; MURAKAMI, E.; SARAIVA, A.M.; CORREA, P.L.P. A Comparative Study between Precision Agriculture and Biodiversity Modelling Information Systems. Proceedings of the 6th Biennial Conference of the European Federation of IT in Agriculture, EFITA. Glasgow: C. Parker, S. Skerratt, C. Park, J. Shields, v.1, p.1-6, 2007.

[14] SARAIVA, A. M. Tecnologia da Informação na agricultura de precisão e biodiversidade: estudos e proposta de utilização de web services para desenvolvimento e integração de sistemas. Tese de livre docência. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, Brasil. 2003.

[15] SARAIVA, A.M. Um Modelo de Objetos para Sistemas Abertos de Informações de Campo para Agricultura de Precisão – MOSAICO. 1998. 235p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

[16] SORENSSEN, C.G., et al. Information sources and decision making on precision farming. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 6., 2002, Wisconsin. Proceedings. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 2002. p.1683-1695.

[17] STAL, M. Service-Oriented Architecture Principles and Technologies. Has been published as: Using Architectural Patterns and Blueprints for Service-Oriented Architecture. IEEE Software. 2006. V. 23-2, March/April.

[18] STEINLEY, D. K-means clustering: A half-century synthesis, British Journal of Mathematical and Statistical Psychology 59 (34) (May 2006) 1–34.

[19] ZHANG, N.; WANG, M.; WANG, N. Precision agriculture - a worldwide overview. Computers and Electronics in Agriculture, v.36, p. 113-132, 2002.