

AGRICULTURA DE PRECISÃO: MAPAS DE RENDIMENTO E DE ATRIBUTOS DE SOLO ANALISADOS EM TRÊS DIMENSÕES

Paulo José Alba¹, Telmo Jorge Carneiro Amado², Enio Giotto³, Diego Schossler⁴, Jackson Ernani Fiorin⁵

¹ Eng. Agrônomo, Mestrando em Engenharia Agrícola PPGEA/UFSM – Santa Maria – RS Brasil (pjagro@yahoo.com.br)

² Professor Associado do Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM. CEP 97110-900 Santa Maria (RS). Bolsista do CNPq.

³ Prof. Titular, Dr., Departamento de Eng. Rural da UFSM.

⁴ Eng. Agrônomo, Mestrando em Engenharia Agrícola PPGEA/UFSM.

⁵ Doutor, Pesquisador da FUNDACEP - Cruz Alta, RS.

Data de recebimento: 07/10/2011 - Data de aprovação: 14/11/2011

RESUMO

Os modelos digitais utilizados na agricultura de precisão geralmente são representados na forma plana (bidimensional), desconsiderando a altimetria (terceira dimensão). Com o objetivo de avaliar o potencial de aprimorar os mapas pela análise da terceira dimensão foi conduzido este trabalho em uma propriedade agrícola integrante do Projeto Aquarius. Foram utilizados mapas de rendimento de milho e soja e de atributos de solo. A determinação altimétrica foi realizada a partir das imagens do SRTM. As áreas com fluxo concentrado de água resultaram em decréscimo no rendimento. A terceira dimensão foi uma ferramenta eficiente para aprimorar o manejo sob agricultura de precisão.

PALAVRAS-CHAVE: geomorfologia, conservação de precisão, erosão do solo.

PRECISION AGRICULTURE: YIELD AND SOIL MAPS ANALYZED IN THREE-DIMENSIONS

ABSTRACT

The mapped data in precision agriculture usually is expressed in flat shape (bidimensional), regardless the landscape (third dimension). With the objective to assess the potential of improvement in map data by adding third dimension was carried out this research in a farm of Aquarius Project. The soybean and maize yield maps and soil attributes were analyzed. The third dimension was generating using SRTM images. The main runoff areas were associated to low yields. The third dimension was an efficient tool to improve site specific management.

KEYWORDS: geomorphology, precision conservation, soil erosion.

INTRODUÇÃO

Os desafios contemporâneos relacionados à demanda crescente de alimentos, a necessidade de rendimentos competitivos e à preocupação com a preservação ambiental podem encontrar na agricultura de precisão (AP) uma eficiente resposta, uma vez que ela é uma ferramenta de gerenciamento e tomada de decisões que conduz ao aumento da eficiência da utilização dos recursos no

sistema produtivo (AMADO & SANTI, 2007). A AP caracteriza-se pela elevada quantidade de informações disponibilizadas, podendo contribuir para o estabelecimento de relações espaciais de atributos de solo com a produtividade das culturas (AMADO & GIOTTO, 2009). Dentre os fatores de manejo determinantes para a expressão do potencial produtivo de uma cultura, COSTA & THOMAS (2004) destacaram o conhecimento detalhado de áreas cultivadas. Para tanto, DAMPNEY & MOORE (1999) sugeriram que a análise do histórico de desenvolvimento das culturas pode ser uma eficiente estratégia de caracterização da variabilidade espacial existente na área. O mapeamento do rendimento, proporcionado por colhedoras equipadas com sensores de rendimento e de umidade, destaca-se como uma alternativa moderna de gerenciar a variabilidade espacial e temporal de lavouras comerciais, orientando as práticas de manejo (MOLIN, 2002; MILANI et al., 2006).

O gerenciamento de um banco de dados tão complexo como o utilizado pela AP é possível com a utilização de sistemas de informação geográfica (SIG). Um SIG pode ser definido como um sistema destinado à aquisição, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados referidos espacialmente na superfície terrestre, integrando diversas tecnologias (ROSA & BRITO, 2004). O SIG possibilita estabelecer relações entre os atributos de solo e planta georeferenciados, permitindo desenvolver planos de manejo localizado do talhão.

Os mapas de produtividade podem ser utilizados na prospecção das causas da variabilidade e, conseqüentemente, podem ser eficazes na formulação de soluções para os fatores limitantes (MOLIN, 1997; MANTOVANI, 2006). Parte da variabilidade registrada pelos mapas de produtividade pode ser atribuída a fatores constantes, ou que variam pouco temporalmente, enquanto outros fatores são transitórios, variando sua importância de uma safra para outra (CAPELLI, 2003; DURIGON, 2007). A integração de modelos digitais de atributos químicos, físicos e biológicos do solo, combinada com a espacialização da produtividade, é possivelmente a alternativa mais completa para o aprimoramento do manejo do solo (LIMA & SILANS, 1999).

O agroecossistema constitui-se de elementos bióticos e abióticos, com destaque para a flora, fauna, solo, relevo, hidrografia, dentre outros; os quais podem sofrer processos de alteração quando explorados de forma intensiva que resultam na deterioração do ambiente (ALMEIDA, 1993). O processo de degradação do solo decorre de fatores naturais que são intensificados pelas intervenções humanas. A erosão é considerada o principal fator de degradação do solo agrícola (OLDEMAN, 1994; LAL, 2009). O sistema plantio direto tem proporcionado um eficiente controle da erosão, porém não tem a mesma eficiência no controle das perdas de água (CAMARA & KLEIN, 2005). A enxurrada pode ser responsável pelo transporte de nutrientes e sedimentos na paisagem, especialmente em lavouras com ausência de práticas mecânicas de controle da enxurrada (terraços) e com problemas de compactação.

O SIG e a AP são ferramentas modernas que podem contribuir no planejamento conservacionista, uma vez que permitem o registro detalhado de entradas e saídas de insumos e produtos de uma unidade de área definida. BERRY et al. (2003; 2005) e DELGADO et al. (2008) definiram como conservação do solo de precisão, o manejo do solo com base no planejamento definido por relações espaciais dentro e entre mapas de atributos. O enfoque da conservação de precisão é o de conservar o solo e água através da utilização de tecnologias espaciais

integradas (GPS, sensoriamento remoto e SIG) para a seleção de práticas de manejo que maximizem os rendimentos ao mesmo tempo em que reduzem o uso desnecessário de insumos e as perdas de sedimentos e agroquímicos das áreas agrícolas (DELGADO et al., 2008; DELGADO & BERRY, 2008). A determinação da altimetria, dos fluxos preferenciais de água na lavoura e de áreas de risco de erosão pode contribuir para o aprimoramento do manejo localizado do solo. O tema ainda é incipiente no Brasil, mas pode trazer uma importante contribuição para as áreas agrícolas comerciais notadamente naquelas com topografia suave ondulada a ondulada.

Com o objetivo de investigar a importância da altimetria (terceira dimensão) na interpretação de mapas digitais de atributos de solo e planta, utilizados na agricultura de precisão, foi conduzido este trabalho em uma lavoura comercial do Rio Grande do Sul.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi conduzido em uma área agrícola de 50,6 ha, localizada no município de Victor Graeff – RS, situada nas coordenadas geográficas 28°53'S e 52°67'W datum WGS 84 meridiano central 52°. A área de propriedade do Sr Volnei Koech integra o Projeto Aquarius (www.ufsm.br/projetoaquarius), que é uma parceria entre a STARA, AGCO, YARA, COTRIJAL e UFSM para pesquisa e desenvolvimento da agricultura de precisão. Esta área agrícola tem sido manejada sob plantio direto por aproximadamente 15 anos. O solo do local é um Latossolo Vermelho Distrófico típico (EMBRAPA, 1999) com textura argilosa. O clima da região, segundo a classificação de Köppen (1948), é do tipo Cfa subtropical. A temperatura média normal do mês mais quente ocorre em janeiro (24,6°C) e a do mês mais frio em junho (12,9°C). A média normal das máximas é de 30,4°C, em janeiro, e de 19,2°C, em junho. As chuvas são distribuídas regularmente em todos os meses do ano, com precipitação anual entre 1.500 mm a 1.750 mm.

Para a geração dos mapas de colheita, de atributos do solo e altimetria foram utilizados os softwares CR-Campeiro 7 (GIOTTO et al., 2004) e o ArcGIS 9.3 (ESRI, 2008). Para a coleta de amostras georeferenciadas e levantamento de campo utilizou-se um Pocket-PC HP® IPAQ com receptor bluetooth emparelhado com um antena de GPS Garmim® 10 e GPS de navegação portátil Garmim®.

As amostras de solo foram coletadas seguindo uma malha de amostragem 100 x 100 m (1 ponto por ha) com 10 subamostras em torno do ponto central e a profundidade de 0,10 m. As análises dos atributos químicos do solo foram feitas no Laboratório de Manejo e Conservação do Solo da UFSM seguindo metodologia descrita por TEDESCO et al. (1995). Também foi determinado o teor de argila das amostras pelo método do densímetro (EMBRAPA, 1997). Os dados georeferenciados de produtividade das culturas do milho 2007/08 e de soja 2008/09 foram obtidos com o auxílio de uma colhedora da marca Massey Ferguson, modelo MF 34, equipada com o Sistema Fieldstar e com sensor de umidade de grãos.

A determinação altimétrica foi realizada a partir das imagens do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) (MIRANDA, 2005). Estas imagens possuem erros de altimetria, referindo-se à diferença entre a altitude real do terreno e a altitude assinalada na imagem. No entanto, para a América do Sul, segundo estimativas da NASA, o erro absoluto de geolocalização, erro absoluto de altitude e erro relativo de altitude não ultrapassaram 6,2, 9,0, 5,5 m, respectivamente. Ainda assim, os maiores erros ocorrem na região dos Andes, portanto, se fosse considerado

apenas o Brasil, provavelmente estes erros ainda seriam menores. Destaca-se ainda que o erro relativo de altitude é menor que o erro absoluto. No caso do cálculo de declividade do terreno, é o erro relativo que levado em consideração.

A partir das imagens SRTM, estas Modelos Digitais de Elevação (MDE), com resolução espacial de 90 m, foram interpolados os dados e criado um TIN (Triangular Irregular Network) que é gerada a partir de três pontos com cotas e coordenadas conhecidas, criando faces triangulares inclinadas, a cada 5 x 5 m, denominado pixel. A partir do TIN o mapa de declividade é criado, gerando-se curvas de nível altimétricas. A declividade é então obtida pela divisão entre a diferença de altitude das cotas por sua distância horizontal, sendo gerada através do ArcGIS 9.3 um valor de declividade a cada pixel em estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Representação de mapas utilizados na Agricultura de Precisão na terceira dimensão

Os modelos digitais de atributos de solo como mapas de fósforo, potássio, argila e de produtividade utilizados na AP geralmente são apresentados na forma plana (bidimensional), desconsiderando a altimetria (tridimensional) da área. No Sul do Brasil, no entanto a maioria das áreas agrícolas destinadas ao cultivo de grãos, excetuando-se as utilizadas com a cultura do arroz irrigado, possui relevo suave ondulado a ondulado. Este fato deve ser considerado na implementação da AP no Sul do Brasil, uma vez que estas áreas distinguem-se das americanas e européias, onde se utiliza a AP, nas quais predominam o relevo plano.

Na Tabela 1 é apresentada as classes de declividade na área agrícola investigada neste trabalho, com os respectivos atributos de solo e rendimento. Observa-se que aproximadamente 71% da área possui declividade superior a 4%, indicando que o relevo predominante é suave ondulado a ondulado. Este fato reforça a importância da determinação da altimetria no aprimoramento do manejo localizado do solo do Planalto do RS.

TABELA 1. Classes de declividade da área agrícola de Vitor Graeff (RS) com respectivos atributos de solo e rendimentos. Vitor Graeff (RS).

Declividade	Área	Atributos de Solo			Atributos de Planta	
		Argila	Potássio	MOS	Milho 2007/08	Soja 2008/09
%	ha	%	Ppm	%	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹
0 - 2	5,55	42	221	2,6	7661	3436
2 - 4	9,58	42	220	2,6	7994	3653
4 - 6	10,76	48	219	2,5	7574	3527
6 - 8	11,86	48	223	2,5	7374	3598
8 - 10	10,25	46	212	2,5	7671	3734
10 - 14	2,58	48	221	2,5	7659	3597
Médio	50,58	46	219	2,5	7641	3603

Na Figura 1 é apresentado o mapa de rendimento na forma de grade regular bidimensional (eixos X e Y), normalmente utilizada na AP, e com a inclusão da altimetria (terceira dimensão, eixo Z) na forma de grade triangular, conforme proposto por BERRY et al. (2003). A grade triangular é uma estrutura do tipo vetorial e representa uma superfície através de um conjunto de faces triangulares

interligadas. Para cada um dos três vértices da face do triângulo são armazenadas as coordenadas de localização (x, y) e atributos z, correspondentes ao valor de elevação ou altitude (CAMARA & MEDEIROS, 1993). Na Figura 1 observa-se que muitas das causas de variabilidade espacial de rendimento podem ser explicadas por processos que ocorrem na superfície do terreno, tais como: escoamento superficial de água, erosão, transporte de sedimentos e nutrientes e armazenamento de água no solo. Ainda, a terceira dimensão possibilita o estudo da posição topográfica, exposição solar e da profundidade do perfil do solo quando esta for associada a declividade do terreno. Assim, a adição da terceira dimensão nos mapas de atributos de solo e de rendimento pode contribuir para aprimorar o manejo do solo.

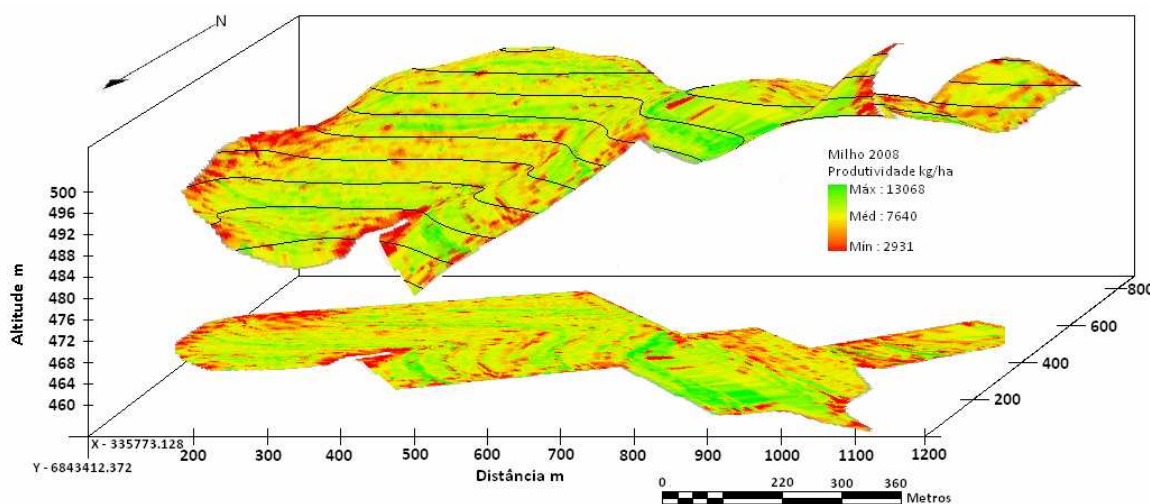


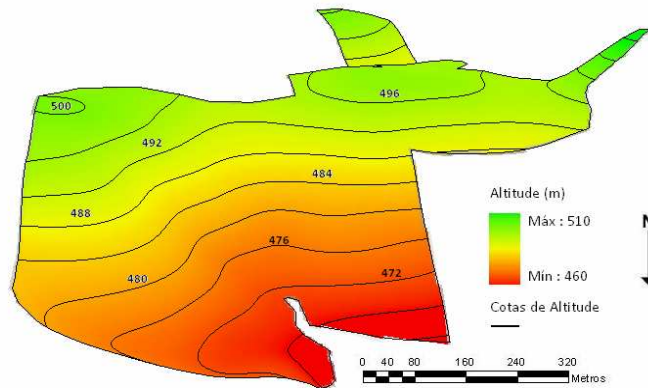
FIGURA 1. Visualização do mapa de rendimento de soja na safra 2008/09 em duas dimensões (eixos X e Y) e em três dimensões (altitude, eixo Z). Vitor Graeff, RS. (Fonte. ALBA, P.J.).

Principais componentes topográficos e atributos de solo

No planejamento conservacionista o conhecimento da topografia é essencial. Fatores como declividade e posição topográfica influenciam na produtividade das culturas de maneira indireta, por influenciarem os atributos físicos e químicos do solo (SOUZA et al., 2004; SILVA et al., 2007). Na Figura 2 é apresentada a altitude e a declividade da área agrícola de Vitor Graeff. A altitude pode determinar vários processos que influenciam a produtividade das culturas tais como as perdas de rendimento associadas as geadas nas cotas mais baixas do terreno ou a incidência de doenças nos locais mais úmidos. Na Figura 2 observa-se que as cotas mais elevadas de altitude ocorrem ao norte da área.

A declividade influencia o volume e a velocidade de escoamento de água na superfície do terreno. Quanto maior a declividade, maior será a velocidade do escoamento, menor a infiltração e armazenamento de água e maior o risco de erosão e de transporte de sedimentos e agroquímicos. Observa-se na área central encontra-se concentrada uma região com elevada declividade, já as menores declividades foram observadas nas cotas mais altas de altitude (planalto) e nas mais baixas. Geralmente, no planalto encontram-se também as maiores profundidades de solo, fato que contribui para o armazenamento de água e desenvolvimento radicular das culturas.

a)



b)

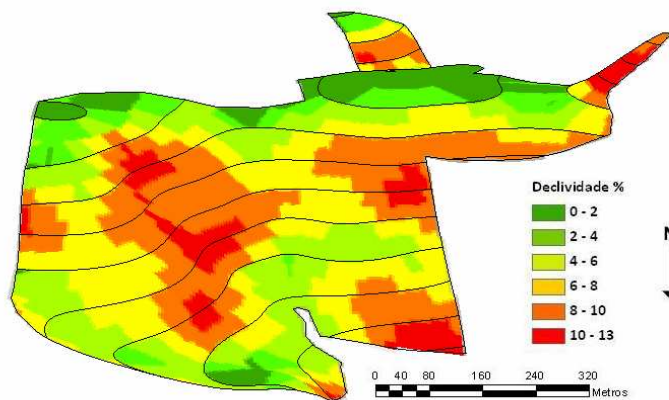
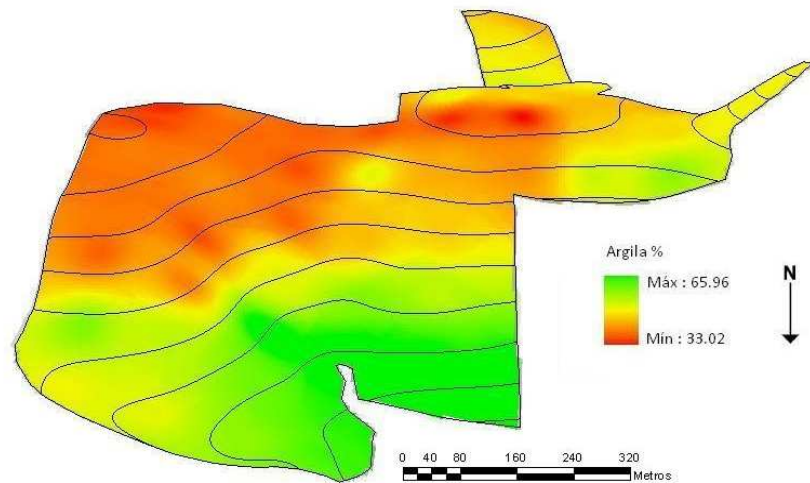


FIGURA 2. Modelos digitais da altitude representada por curvas de nível (a) e a declividade (b) da área agrícola de Vitor Graeff (RS) determinadas a partir de imagens do SRTM. (Fonte. ALBA, P.J.).

Os principais atributos do solo manejados pelo homem visando oferecer condições favoráveis ao desenvolvimento vegetal são influenciados pelos componentes topográficos. Na Figura 3 observa-se que houve uma tendência de incremento do teor de argila nas cotas mais baixas do terreno. Este fato pode estar associado ao transporte de sedimentos pelo processo erosivo ao longo dos anos. O teor de argila determina vários processos no solo como a retenção de nutrientes, disponibilidade de água, risco de compactação e adsorção de agroquímicos, entre outros. A espacialização do teor de argila pode resultar, por exemplo, no ajuste da dose de agroquímico a ser aplicado no solo, ou na pressão do disco de corte a ser utilizada durante a semeadura visando a uniformidade da profundidade de deposição das sementes. De forma semelhante ao verificado com a argila, o teor de potássio foi influenciado pelo relevo. O potássio é considerado um nutriente móvel no solo, além disto sob sistema plantio direto existe uma concentração elevada deste nutriente nos primeiros centímetros do perfil do solo, devido a reciclagem. Estes processos contribuem para sua redistribuição na paisagem. Observa-se na Figura 3 que provavelmente houve uma migração de potássio das cotas mais altas para as mais baixas do terreno, acompanhando o fluxo de água. Também o efeito das maiores produtividades ocorrerem nas cotas mais altas e com baixa declividade (platô) podem ocasionar uma exportação diferenciada de nutrientes contribuindo para a variabilidade observada no sentido norte-sul.

a)



b)

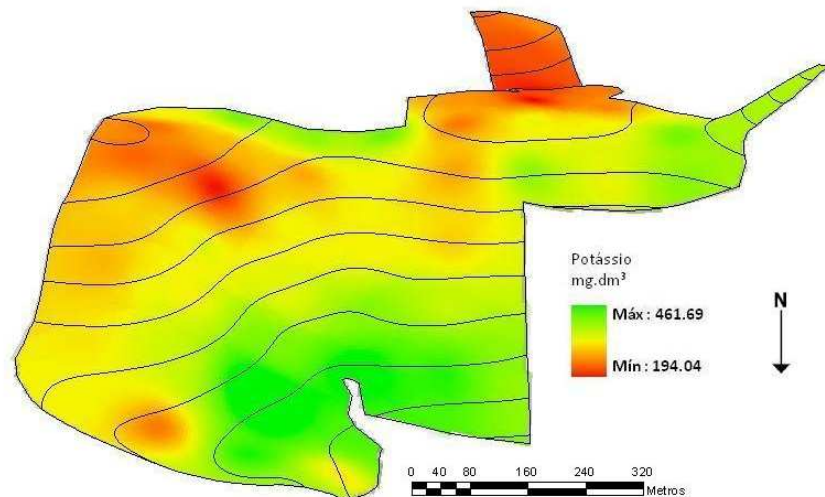


FIGURA 3. Representação espacial da argila (a) e do teor de potássio no solo na camada de 0-0,10 m (b) com as curvas de nível em função da altitude. (Fonte: ALBA, P.J.).

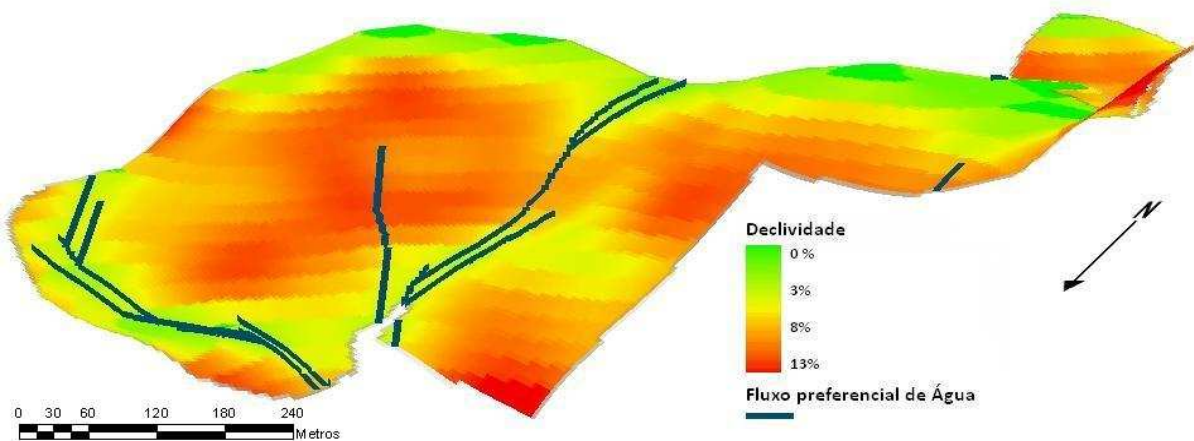
Fluxos preferenciais de água na superfície do terreno e a relação com o rendimento

As pedoformas condicionam a concentração e o escoamento de água na superfície do terreno. Em lavouras de plantio direto em que foram retirados os terraços ou sua manutenção deixou de ser feita, o escoamento de água pode ocasionar erosão em sulcos e transportar sedimentos e agroquímicos para áreas adjacentes. A argila e a matéria orgânica do solo (MOS) por apresentarem baixa densidade são prioritariamente transportadas pelo processo erosivo. Este processo, em longo prazo, ocasiona o decréscimo da produtividade das culturas devido ao esgotamento de nutrientes (OLDEMAN, 1994; QUINE & ZHANG, 2002). SHUMACHER et al. (2005) relacionaram espacialmente a erosão com os componentes topográficos, identificando áreas com elevada taxa de erosão na lavoura e que tem seu potencial produtivo comprometido. Estas áreas segundo QUINE & ZHANG (2002) e DELGADO et al. (2008) se forem manejadas de forma igual as demais irão sistematicamente produzir menos. Fato este que evidencia a

necessidade de considerar a Conservação de Precisão como uma alternativa tecnológica para controlar a erosão e o escoamento superficial, possibilitando tratar de forma diferenciada os locais de elevado risco de erosão, reduzindo a variabilidade espacial do rendimento.

Na Figura 4 é apresentada a relação da declividade com os principais fluxos de água na lavoura, utilizando uma ferramenta do ArcGIS 9.3. Observa-se que na região de elevada declividade, no centro da área localiza-se um importante fluxo superficial de água. Ainda, nesta Figura observa-se a relação do fluxo de água com o rendimento de milho obtido na safra 2007/08. Na área central, com elevada declividade, a média de rendimento em torno do fluxo de água (5 m de cada lado) foi 13 e 24% inferior ao rendimento médio da lavoura e da área com baixa declividade situada a direita, respectivamente. De maneira análoga, na região localizada a nordeste parte inferior, o fluxo de água também foi associado a baixos rendimentos. Estes resultados evidenciam que estas áreas de elevado risco de erosão devem ser manejadas de forma diferenciada visando conter a enxurrada e incrementar o rendimento.

a)



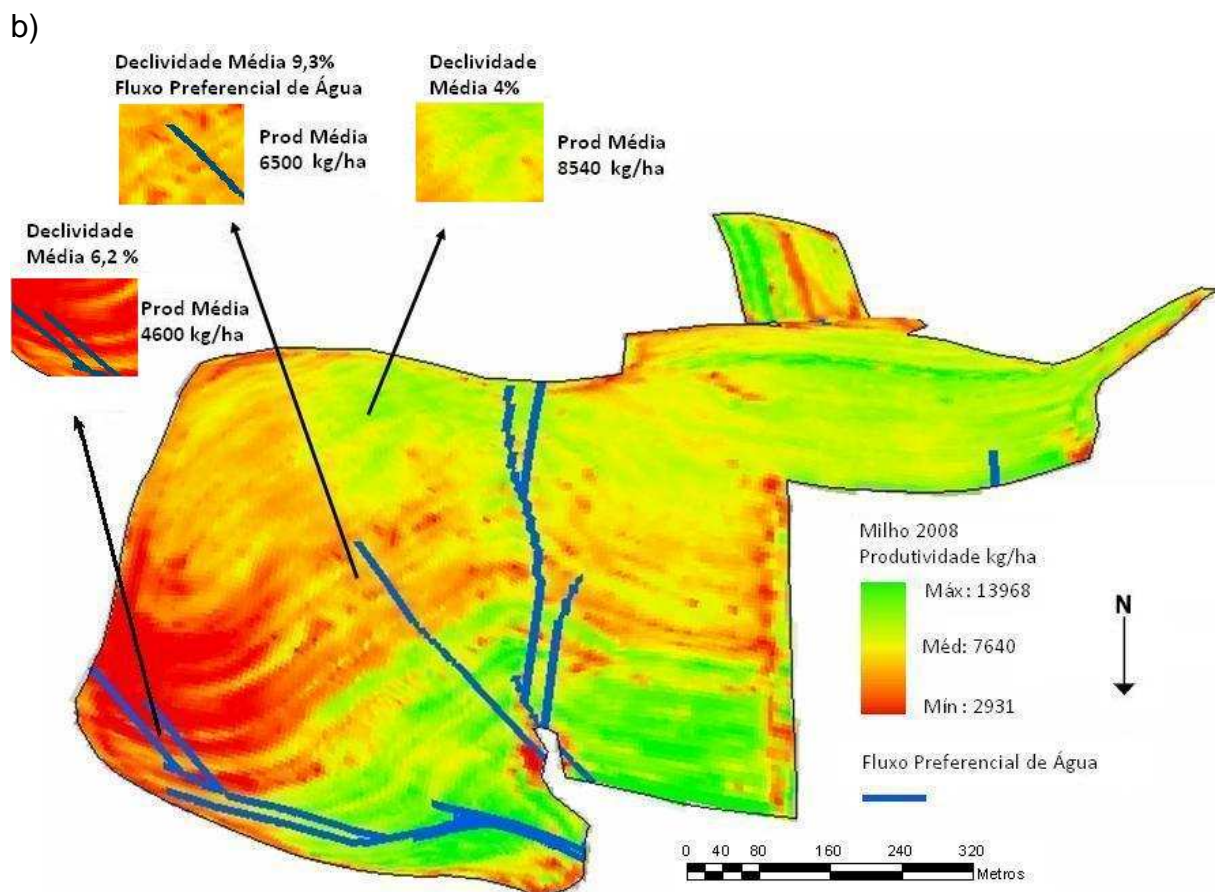


FIGURA 4. Fluxos preferenciais da água (enxurrada) determinados com o ArcGIS 9.3 a partir de imagem do SRTM e a declividade (a) e a produtividade do milho na safra 2007/08 (b) em área agrícola. Vítor Graeff, RS. (Fonte. ALBA, P.J.).

Aplicações de modelos digitais com a terceira dimensão no manejo do solo

Com a crescente disponibilização no mercado de semeadoras capazes de variar automaticamente a população de plantas e a dose de fertilizantes seguindo um mapa de prescrição, surge o questionamento de que parâmetros deveriam ser considerados para determinar a melhor população a campo. Entre estes parâmetros destacam-se os topográficos como a altitude e a declividade da área, por estarem relacionadas com o armazenamento e disponibilidade de água, risco de erosão, profundidade e potencial produtivo do solo. Na Figura 5 é apresentada uma proposta de população de plantas de milho ajustada a variabilidade espacial da declividade e do risco de erosão para ser utilizado como referencial para semeadoras em áreas manejadas sob AP.

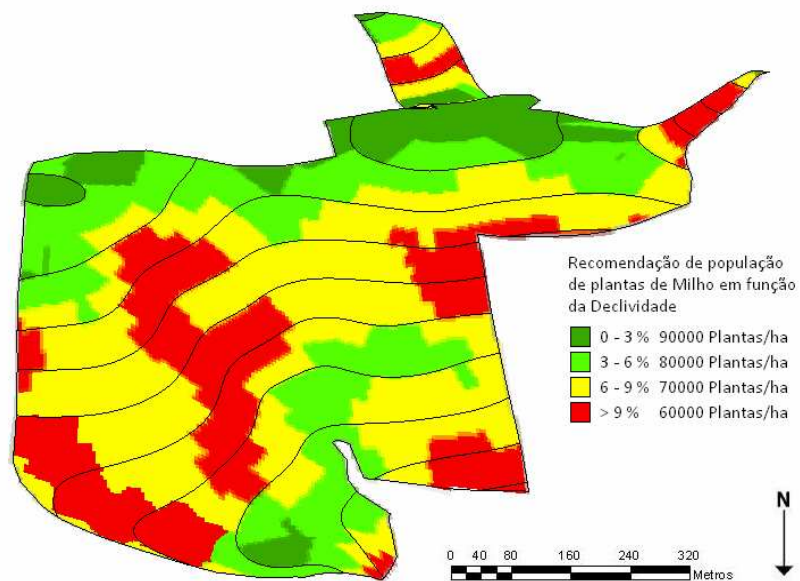


FIGURA 5. População de plantas de milho em função da declividade e das áreas de elevado risco de erosão em uma propriedade agrícola em Vitor Graeff (RS). (Fonte. ALBA, P.J.).

A possibilidade de sobrepor mapas temáticos de diferentes atributos de solo, de rendimento da cultura e componentes topográficos permite aprimorar o manejo localizado do solo (DELGADO et al., 2008). A semeadura em contorno, o tráfego controlado, a alocação de estradas, canais escoadouros e faixas de retenção nas partes inferiores dos fluxos preferenciais de água são aplicações possíveis de serem implementadas na conservação de precisão. Na Figura 6 na propriedade agrícola de Vitor Graeff é apresentado a sobreposição de mapas temáticos visando o planejamento de intervenções sob AP.

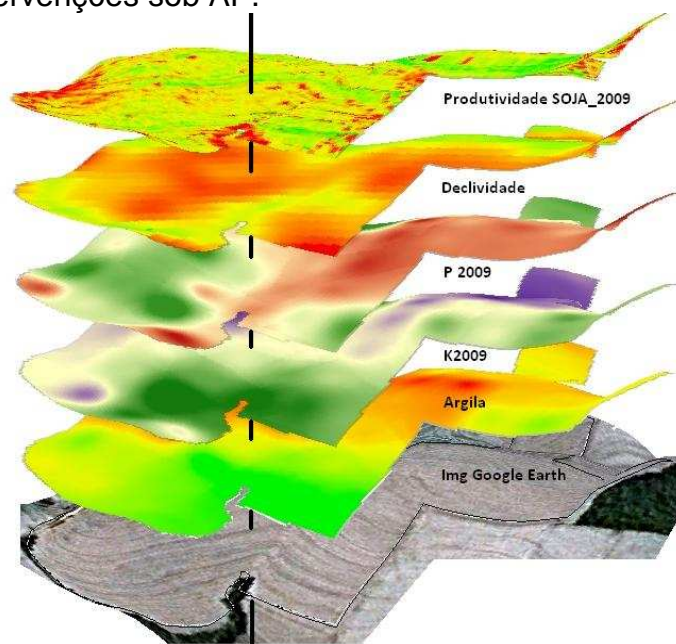


FIGURA 6. Representação de multi-camadas dos componentes topográficos, atributos de solo e produtividades da área agrícola localizada em Vitor Graeff, RS. (Fonte. ALBA, P.J.).

CONCLUSÕES

As áreas com fluxo superficial concentrado de água resultaram em decréscimo no rendimento das culturas da soja e do milho, sendo associadas a ocorrência de erosão. A terceira dimensão aplicada aos modelos digitais de atributos de solo e de rendimento foi uma ferramenta eficiente para aprimorar o manejo sob agricultura de precisão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, J. R. de. **Planejamento Ambiental**. Rio de Janeiro: Thex, 1993. 176 p.
- AMADO, T.J.C., SANTI, A.L. **Agricultura de precisão aplicada ao aprimoramento do manejo do solo**. In: FIORIN, J.E., ed. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. Passo Fundo, Berthier, 2007. p.99-144.
- AMADO, T.J.C., GIOTTO, E. A sua lavoura na tela. **Revista A Granja**, São Paulo, SP, p.38-42, 2009.
- BERRY, J.K., DELGADO, J.A., KHOSLA, R., PIERCE, F.J. Precision conservation for environmental sustainability. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, EUA, n.58, v.6, p.332-339, 2003.
- BERRY, J.K., DELGADO, J.A., PIERCE, F.J., KHOSLA, R. Applying spatial analysis for precision conservation across the landscape. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, EUA, n.60, v.6, p.363-370, 2005.
- CÂMARA, G., MEDEIROS, J.S. Princípios básicos em geoprocessamento. In: Assad, E.D.; Sano, E.E. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1993. p.3-11.
- CAMARA, R.K., KLEIN, V.A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG. n.29, p.789-796, 2005.
- CAPELLI, N.L. Agricultura de precisão-Novas tecnologias para o processo produtivo. 2004. Disponível em: <http://www.bases.cnptia.embrapa.br> Acessado em: 11 jan. 2010
- COSTA, J. A., THOMAS, A. L. Potencial de rendimento da soja. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, RS, n.82, p.28-32, 2004.
- DELGADO, JA BERRY, J.K., KHOSLA, R. **New advances and practices for precision conservation**. In: International Conference on Precision Agriculture Denver, Colorado, 2008. Disponível em: http://www.innovativegis.com/basis/present/ICPA_keynote08/ICPA_paper08.pdf Acessado em: 11 jan. 2010
- DELGADO, J.A., BERRY, J.K. Advances in precision conservation. **Advances in Agronomy**, Madison, n.98, p.1-44, 2008.

DAMPNEY, P.M.R.; MOORE, M. **Precision agriculture in England: current practice and research-based advice to farmers.** In: International Conference On Precision Agriculture, 4., 1998, St. Paul. Proceedings. Madison: American Society of Agronomy, 1999. p.661-673.

DURIGON, R. **Aplicação de técnicas de manejo localizado na cultura do arroz irrigado (Oryza sativa L.).** 2007. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DO SOLO. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Rio de Janeiro, 1999. 412p

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS (RIO DE JANEIRO, RJ). **Manual de métodos de análise de solo.** 2ª Ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.

ESRI Inc. 2008. **ArcMap 9.3.** Redlands, California, USA.

GIOTTO, L.; ROBAINA, A.D., SULZBACH, L. **A agricultura de precisão como o Sistema CR Campeiro5.** Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2004. 330p.

KOPPEN, W. P. **Climatologia, com un estudio de los climas de la tierra.** México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478p.

LAL, R. Soils and world food security. **Soil & Tillage Research**, Madison, USA, v.102, p. 1-4, 2009.

LIMA, C.A.G., SILANS, A.P. Variabilidade espacial da infiltração de água no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.34, n. 12, p.2311-2320, 1999.

MOLIN, J.P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, Viçosa, MG, v.22, p.83-92, 2002.

MILANI, L., SOUZA, E.G. de, URIBE-OPAZO, M.A., GABRIEL FILHO, A., JOHANN, J.A., PEREIRA, J.O. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, PR, v.28, p.591-598, 2006.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevo.** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br> Acesso em: 8 jan. 2010.

OLDEMAN, L.R., **The global extent of soil degradation.** In: Greenland, D.J., Szabolcs, I. (Eds.), Soil Resilience and Sustainable Land Use. CAB International, Wallingford, 1994. p.99–118.

QUINE, T.A., ZHANG ,Y. An investigation of spatial variation in soil erosion, soil properties, and crop production within an agricultural field in Devon, United Kindom. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, EUA, v. 57, p.55-64, 2002.

ROSA, R.; BRITO J. L. S. **Introdução ao geoprocessamento**: Sistema de informação geográfica. Uberlândia: Edefu, 1996. 104 p.

SCHUMACHER, J.A., KASPAR, T.C., RITCHIE, J.C., SCHUMACHER ,T.E., KARLEN, D.L., VENTRIS, E.R., MCCARTY, G.M., COLVIN, T.S., JAYNES, D.B., LINDSTROM, M.J., FENTON, T.E. Identifying spatial patterns of erosion for use in precision conservation. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, EUA, v. 60, p.355-362, 2005.

SILVA, F. M. S., SOUZA, Z. M., FIGUEIRÊDO, C. A. P., MARQUES JÚNIOR, J., MACHADO, R. V. Variabilidade espacial de atributos químicos e de produtividade na cultura do café. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v.37, n.2, p.401-407, 2007.

SOUZA, Z.M., MARQUES JR., J., PEREIRA, G.T., MOREIRA, L.F. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v.34, p.1763-1771, 2004.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. Ed. ver. e ampl. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5)