

Monitoramento da colheita de sementes de soja por meio de sensores embarcados e krigagem

Rafael Noetzold ¹
Marcelo de Carvalho Alves ¹
Everton Bergoli Trentini ¹
Luciana Sanches ¹

¹ Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT
Cuiabá - MT, Brasil
rafael_noetzold@hotmail.com
marcelocarvalhoalves@gmail.com
everton_trentini@hotmail.com
lsanches@ufmt.br

Abstract. The yield mapping is essential in precision agriculture, as it helps to define management zones. With geostatistical calculations it is possible to map productivity with reliable results. The objective was to evaluate the use of precision agriculture technology to monitor the harvest of soybean in the field, through sensors embedded in harvester machine and data interpolation by kriging. The experiment was conducted at Novo Horizonte farm, municipality of Alto Garças, MT. The experiments were performed at Santo Antônio and Arco-Íris II fields, in April 2009. Data collection was performed by sensors coupled to a harvester machine, model John Deere 9750 STS[®]. Productivity and humidity sensors have been associated with a DGPS receiver on a monitor with data logger. Through theoretical exponential semivariograms and kriging interpolation, it was possible to determine the spatial variability of soybean production in the field. It was found little difference between yield data wet and dry due to the low seed moisture content at harvest period. The large amount of information collected by the used system indicated favorable potential application of this methodology for the management of the field in the next tillage. Exponential semivariogram possible to quantify the extent of spatial dependence of productivity, between about 64 and 57 meters.

Palavras-chave: precision agriculture, remote sensing, soybean yield, agricultura de precisão, sensoriamento remoto, produtividade de soja.

1. Introdução

A agricultura de precisão é definida como um conjunto de tecnologias utilizadas para auxiliar na identificação de estratégias a serem adotadas pelo produtor rural para aumentar a eficiência no gerenciamento da agricultura, maximizando a rentabilidade das colheitas, tornando o agronegócio mais competitivo. A agricultura de precisão tem como principal conceito aplicar no local correto, no momento adequado, as quantidades de insumos necessários à produção agrícola, para áreas cada vez menores e mais homogêneas, de acordo com a tecnologia e os custos envolvidos (Dodermann e Ping, 2004).

Holzschuh et al. (2003) relatou que uma das ferramentas que possibilitaram o desenvolvimento deste tipo de agricultura foram os microprocessadores e os aparelhos de posicionamento por satélite, que acoplados aos implementos agrícolas, permitem o levantamento de dados, sua tabulação cumulativa e a aplicação dosada e localizada de insumos, com o objetivo de reduzir custos de produção e a contaminação do ambiente.

A colhedora automotriz utilizada na agricultura de precisão e as contribuições que vêm sendo incorporadas ao sistema de produção são descritas em quatro componentes, que são a colhedora automotriz e seus sensores, sistema de posicionamento e transmissão de dados, sistema de coleta, armazenamento e tratamento dos dados e mapeamento e monitoramento da área colhida (Queiroz et al., 2000).

Os sistemas de mapeamento da colheita são capazes de armazenar as informações relativas à produtividade durante o processo da colheita, georreferenciando os dados e adicionando as características da safra colhida. Os mapas resultantes mostram explicitamente

as áreas de variação de produtividade, como a produtividade é o fator determinante nas decisões de gerenciamento, estes mapas são desejados para ratificar as decisões de gerenciamento e manejo do campo (Brase, 2006).

Portanto, o objetivo deste trabalho foi utilizar metodologias de agricultura de precisão para caracterizar a variabilidade espacial e mapear a produtividade de sementes de talhões cultivados com soja, por meio de colheita mecanizada associada a GPS, sensores de umidade e produtividade embarcados na colhedora.

2. Metodologia do Trabalho

As áreas experimentais localizam-se na Fazenda Novo Horizonte, município de Alto Garças, sudeste de Mato Grosso, em duas áreas distintas denominadas Santo Antônio e Arco Íris II, com áreas de 12.41 e 23.47 ha, respectivamente. As malhas amostras estão apresentadas na figura 1.

Sementes de soja das cultivares Conquista e Perdiz (*Glycine max*) foram cultivadas nas áreas experimentais de Santo Antônio e Arco Íris, respectivamente. Adotou-se espaçamento de 0,5 m entre linhas, totalizando uma população em torno de 220.000 plantas.ha⁻¹.

Foi demarcada uma área isolada dentro de cada talhão onde foram coletados dados referentes a data e hora, latitude, longitude, altitude, média de produtividade úmida e seca, sendo coletados 5.610 dados para o talhão de Santo Antônio e 9.013 para Arco Íris II.

O georeferenciamento dos pontos amostrais foi realizado com base em DGPS com sinal corrigido via satélite instalado na colhedora de grãos. O GPS possui uma antena StarFire iTC® que recebeu e utilizou as informações dos satélites GPS e do satélite John Deere para definir a posição geodésica da máquina com o sistema SF1 com precisão de aproximadamente 15 cm.

Os sensores foram embarcados em uma colhedora de sementes automotriz da marca John Deere STS 9750®. A tecnologia STS apresenta um módulo único longitudinal com três seções distintas, que efetua a trilha e a separação dos grãos da palha, com plataforma de corte com 9,12 m de largura útil.

Adotou-se a coleta dos dados de produção a cada 2.5 m, de acordo com a configuração disponível pelo monitor de colheita.

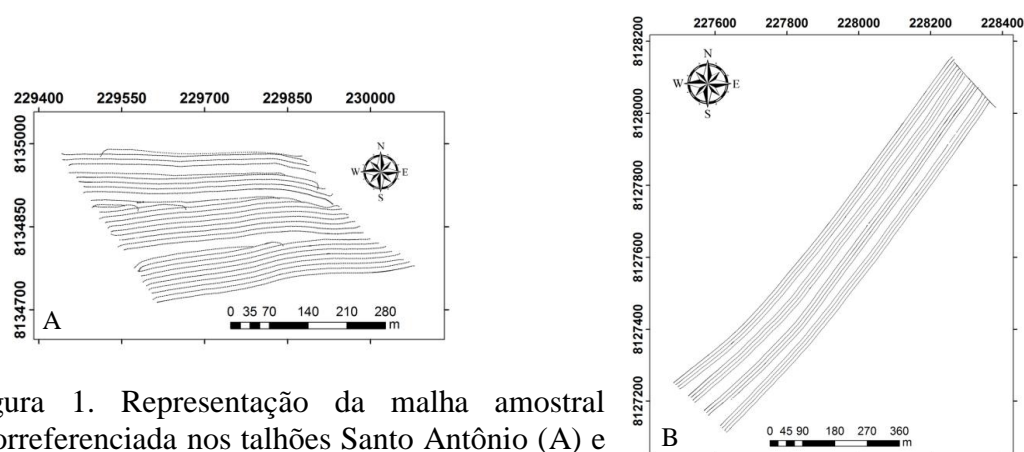


Figura 1. Representação da malha amostral georeferenciada nos talhões Santo Antônio (A) e Arco Íris (B).

À medida que a soja era colhida, monitorava-se o fluxo de sementes via sensor de impacto e a umidade de sementes via sensor de capacitância. Por meio do sensor de umidade, foram coletados 3 amostras de umidade por minuto, a fim de se obter a correção de umidade da carga de sementes colhidas, referentes ao peso seco.

Para aferição e maior precisão da coleta dos dados, conferiu-se os pesos relacionados a cada dois tanques graneleiros colhidos, onde foram descarregados sobre um caminhão trauque,

usando assim uma balança eletrônica do tipo Judiaí, para 80 toneladas. Foi considerado apenas o peso líquido da carga. Juntamente com peso da carga, foram amostradas nas cargas a umidade média das sementes. Os dados de balança foram registrados no Monitor GreenStar para estabelecer fatores de correção para todos os dados de produtividade (kg. ha^{-1}).

De posse dos dados georeferenciados de peso seco e úmido de sementes, procedeu-se a análise descritiva dos dados com base em estatísticas descritivas.

Utilizou-se também o semivariograma experimental estimado por Burrough e McDonnell (1998), conforme a equação 1:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

Em que $\gamma(h)$ corresponde a semivariância estimada e $N(h)$ aos números de pares de valores das observações $Z(x_i)$, $Z(x_i + h)$ separados pela distância h .

Os modelos de semivariogramas foram escolhidos em função do quadrado médio do erro, erro padrão de predição e a autovalidação ou “Jack-knifing”. A dependência espacial foi analisada por meio do ajuste de semivariogramas e interpolação por krigagem. Após o ajuste de modelos, os dados foram interpolados por krigagem ordinária, de forma a possibilitar a visualização da produtividade relacionada à localidade e distribuída espacialmente ao longo da área colhida.

O software Apex® foi usado para a retirada dos dados do cartão de memória inserido no processador instalado na colhedora. Para a análise geoestatística, interpolação e plotagem dos mapas foi utilizados o software ArcGis 9.2®.

3. Resultados e Discussão

Os valores de peso úmido apresentaram valores médios com magnitude superior aos dados de peso seco, porém, muito próximos em ambas as áreas (Tabela 1). A semelhança entre os dados de peso seco e peso úmido também foram constatados pela análise de correlação de Pearson, para Santo Antônio ($r = 1,0$; $p < 0,001$) e para Arco Íris II ($r = 1,0$; $p < 0,001$).

Tabela 1. Estatística descritiva referente produtividades em peso úmido e seco (kg.22,75m^{-2}) para Santo Antônio e Arco Íris II, respectivamente, no ano de 2009.

	Santo Antônio		Arco Íris II	
	Peso úmido	Peso seco	Peso úmido	Peso seco
Média	7,47	7,43	5,19	5,14
Máximo	11,43	11,43	9,73	9,73
Mínimo	0,000155	0,000154	0,000132	0,000132
DesvP	1,996	1,993	1,705	1,740
Var.	3,98	3,97	2,90	3,03
C.V.	26,72	26,82	32,84	33,85

Em seguida, procedeu-se o ajuste de modelos de semivariograma aos dados. No ajuste de modelos de semivariogramas, optou-se pelo exponencial, de acordo com os resultados da validação cruzada conforme apresentado nas figuras 2 e 3.

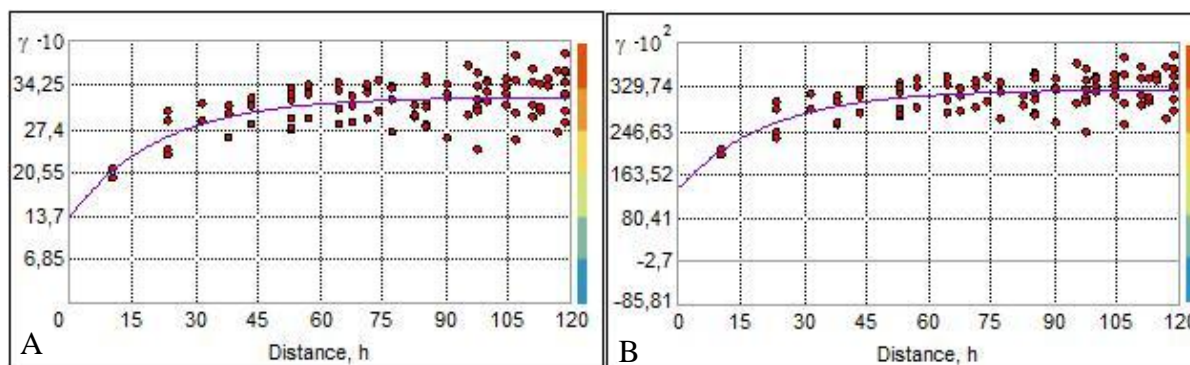


Figura 2. Semivariogramas exponenciais da produtividade de Santo Antônio, referente as amostras úmidas (A) e secas (B) em 01/04/2009.

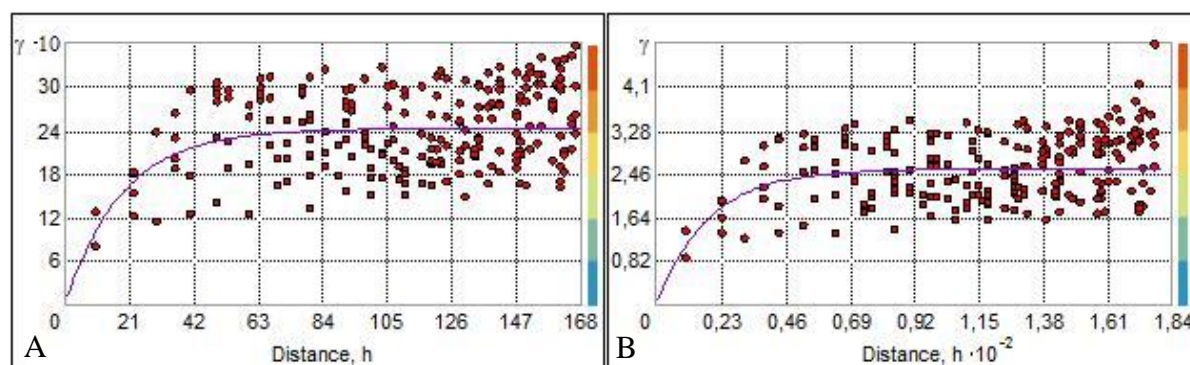


Figura 3. Semivariogramas exponenciais da produtividade de Arco Íris II, referente as amostras úmidas (A) e secas (B) em 12/04/2009.

Para ambas as áreas, observou-se semelhança de ajuste de modelos e dos parâmetros dos semivariogramas tanto para peso seco quanto para o peso úmido das sementes (Tabela 2). Krahl et al. (2005), avaliando a variação espacial da produção de soja obteve melhor desempenho da krigagem quando comparado ao método do inverso do quadrado da distância. No entanto os autores não apresentaram coeficientes e parâmetros dos semivariogramas. De forma semelhante ao presente trabalho Frasson e Molin (2006), observaram melhor ajuste do modelo exponencial com alcance de 65.64 m.

Tabela 2. Coeficientes e parâmetros de semivariograma referente aos dados de produtividade úmida e seca coletada em Santo Antônio e Arco Íris II.

	Santo Antônio		Arco Íris II	
	Peso Úmido	Peso Seco	Peso Úmido	Peso Seco
Alcance	63,47	64,92	56,30	57,37
Patamar	1,92	1,91	2,42	2,57
Efeito pepita	1,31	1,32	0,01	0,00
Erro absoluto	-0,00127	-0,00089	-0,00489	-0,00537
Erro reduzido	0,7114	0,7078	0,9835	1,063

Os valores de peso seco e de peso úmido apresentaram padrão de variabilidade espacial semelhante, tanto em Santo Antônio, quanto em Arco Íris II. Para a lavoura de Santo Antônio, observaram-se, de forma geral, valores mais elevados de produção nas áreas ao sul e na porção central do terreno, conforme a visualização das figuras 4 A e 5A. Já na lavoura de Arco Íris II, observou-se nas figuras 4 B e 5 B, de forma geral, valores mais elevados de

produção na porção sudeste da área. Foi possível constatar regiões de baixa produtividade de soja, que pode ter ocorrido em função de problemas fitossanitários, tais como o nematóide do cisto da soja, o qual tem sido problemático na região. No entanto, a causa de baixa produtividade deve ser avaliada em estudos posteriores, a fim de se definir estratégias e táticas de manejo mais sustentáveis à cultura da soja, de acordo com os princípios da agricultura de precisão.

No intuito de avaliar o desempenho do sensor de produtividade, na lavoura Arco Íris II, comparou-se a medição dos dados dos sensores com o peso de uma balança. Assim, foi possível constatar semelhança entre as medidas de peso seco, peso úmido determinados pelo sensor com explicação de 92%, de acordo com o peso observado na balança e o peso seco medido pelo sensor.

Na primeira, segunda e terceira avaliação, observou-se diferença entre o peso seco medido pelo sensor e peso de balança de 1190, 803 e 1046 kg, respectivamente. Essa diferença pode ter ocorrido, pois a balança não considera diferença de umidade de sementes abaixo de 14,0 % e em ambas as avaliações, a umidade das sementes colhidas foi de 12 %.

Os mapas de produção foram divididos em classes pelo método de quantis, em seguida calculou-se as áreas referentes à cada classe, conforme exposto nas tabelas 3 e 4. Comprovando novamente as semelhanças entre as produtividades, em média, para peso úmido e seco. Observando, de maneira geral, houve maior produção em Santo Antônio quando comparado a Arco Íris II.

Tabela 3. Tabela de classes e as respectivas áreas para cada classe de produtividade em Santo Antônio.

Classe (kg)	Peso Seco (Kg)	Peso Úmido (Kg)	Área Peso Úmido (ha)	Área Peso Seco (ha)
0,38 a 5,82	3.996	4.118	2,4975	2,5737
5,83 a 7,63	4.020	4.069	2,5125	2,5431
7,64 a 8,29	4.219	4.393	2,6368	2,7456
8,30 a 8,79	3.956	3.930	2,4725	2,4562
8,80 a 10,89	3.667	3.348	2,2978	2,0925
Totais	19.858	19.858	12,411	12,411

Tabela 4. Tabela de classes e as respectivas áreas para cada classe de produtividade em Arco Íris II.

Classe (kg)	Peso Seco (Kg)	Peso Úmido (Kg)	Área Peso Seca (ha)	Área Peso Úmido (ha)
0,00 a 4,48	9.456	9.489	5,910	5,9306
4,48 a 5,68	9.624	9.642	6,015	6,0262
5,68 a 6,52	9.427	9.489	5,891	5,9306
Maior que 6,52	9.052	8.939	5,657	5,5868
Totais	37.559	37.559	23,474	23,474

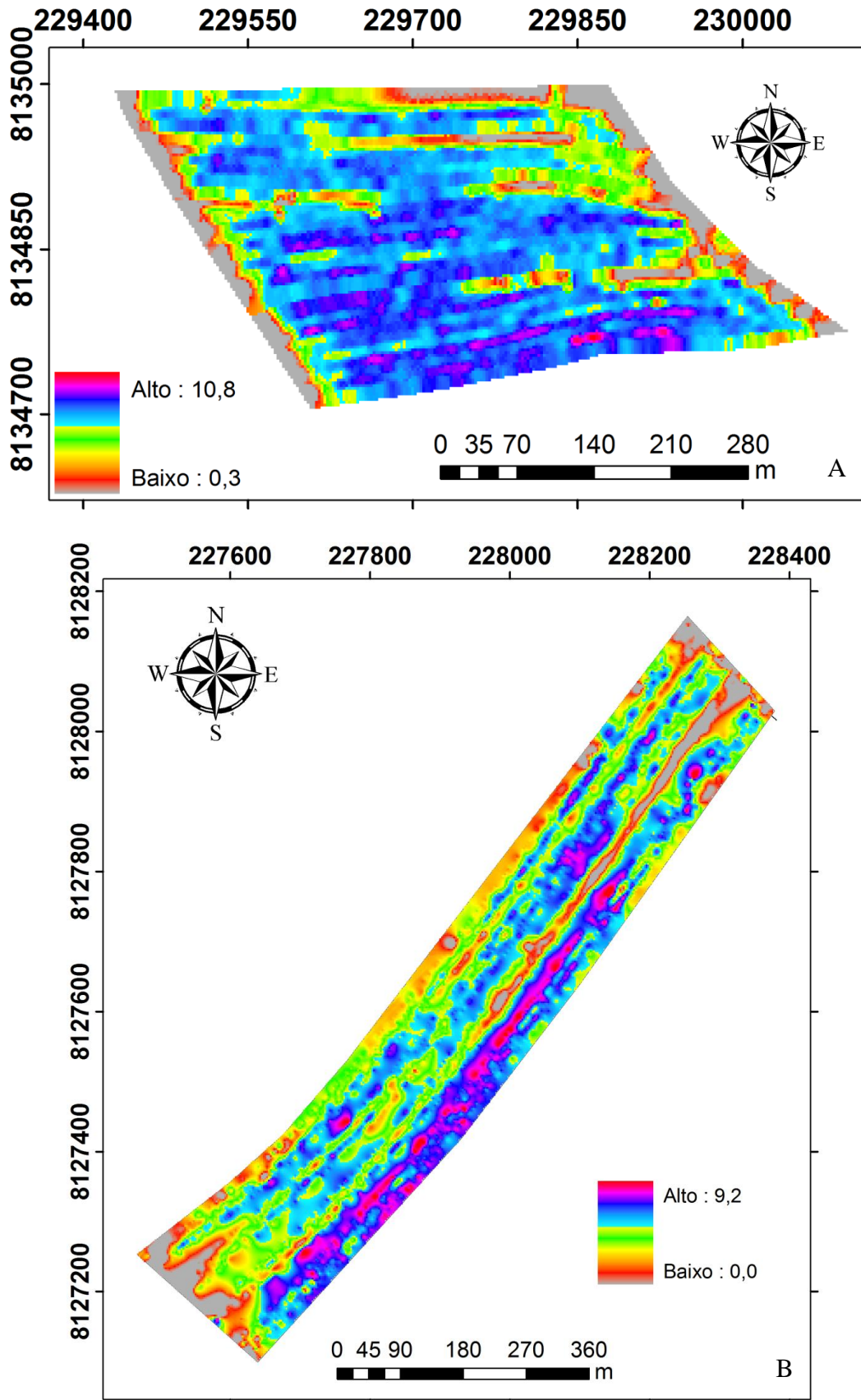


Figura 4. Krigagem ordinária referente a produtividade úmida do talhão Santo Antônio (A) e produtividade úmida do talhão Arco Íris II (B).

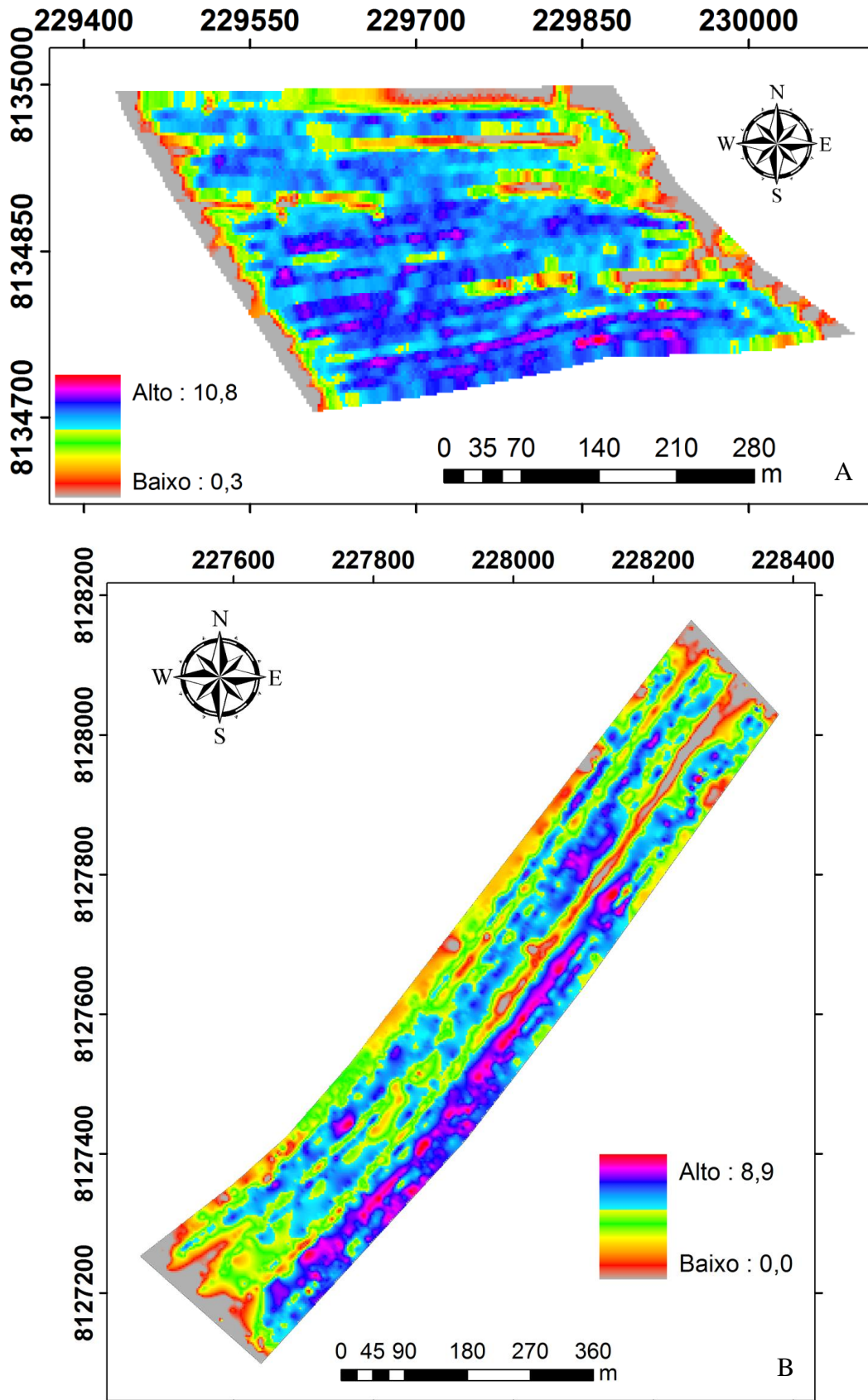


Figura 5. Krigagem ordinária referente a produtividade seca do talhão Santo Antônio (A) e produtividade seca do talhão Arco Íris II (B).

4. Conclusões

Foi possível caracterizar a estrutura e magnitude de dependência espacial da produção de sementes de soja, por meio da técnica da krigagem ordinária.

Semivariogramas exponenciais possibilitaram quantificar o alcance de dependência espacial da produtividade, entre aproximadamente 64 e 57 metros.

Os dados de produção medidos pelo sensor explicaram 92 % do peso seco de soja colhida quando comparado aos dados de balança, comprovando a acurácia dos sensores de produtividade e umidade de grãos embarcados na colhedora.

Referências Bibliográficas

- Burrough, P.A. e McDonnell, R.A. **Principles of geographical information systems**. 2nd Edition. Oxford. Oxford University Press, 1998.
- Brase, T. A.. **Precision agriculture** / Terry A. Brase., 1st ed., Clifton Park, NY : Thomson/Delmar Learning, 2006.
- Dodermann, A.; Ping, J.L. Geostatistical integration of yield monitor data and remote sensing improves yield maps. **Agronomy Journal**, Madison, v.96, n.1, p.285-297, 2004.
- Frasson, F. R.; Molin, J. P. Análise da variabilidade espacial da produtividade de soja utilizando recursos do software R. *In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão*, 2006, São Pedro. Anais do Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão – ConBAP 2006. Piracicaba: USP/ESALQ, 2006.
- Holzschuh, M. L.; Zang, N.; Markoski, P. R. Interface gráfica para colhedora de grãos para fins de agricultura de precisão. **Revista de Pesquisa e Agricultura de Precisão**. Santo Angelo, RS. 2003.
- Krahl, L.L.; Shiratsuchi, L. S.; Resende, Á. V. Metodologia de tratamento de dados georreferenciados e correlação entre variáveis de solo, planta e produtividade. *In: Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão*, 3. EMBRAPA Milho e Sorgo - Sete Lagoas, MG. 2005.
- Queiroz, D.M.; Dias, G.P.; Mantovani, E.C. Agricultura de precisão na produção de grãos. *In: Borém, A.B.; Giúdice, M.P.; Queiroz, D.M.; Mantovani, E.C.; Ferreira, Valle, F.X.R.; Gomide, R.T. Agricultura de Precisão*. Viçosa: UFV, p.1-42. 2000.