

MENSURAÇÃO DA DECLIVIDADE DO TERRENO POR MEIO DE UM INCLINÔMETRO INSTALADO EM UM TRATOR E AVALIAÇÃO DE SEU POTENCIAL DE USO PARA AGRICULTURA DE PRECISÃO

Leandro M. Gimenez¹

¹ Engº Agrônomo, Mestrando em Máquinas Agrícolas, ESALQ/USP. Coordenador de pesquisa do setor de Mecanização Agrícola, Fundação ABC, Castro, PR, Fone (42)32322662. E-mail: imgimenez@yahoo.com

José P. Molin²

² Engº Agrícola, Livre Docente, Departamento de Engenharia Rural, ESALQ/USP, Piracicaba – SP. E-mail: jpmolin@esalq.usp.br

Resumo

Os parâmetros relacionados às características físicas do solo podem ter efeito mais expressivo para a produtividade das culturas que a fertilidade química, sobretudo nas áreas de produção quimicamente corrigidas. Neste trabalho foi avaliado o uso de um inclinômetro de dois eixos montado sobre um trator agrícola de rodas objetivando elaborar mapas de declividade em duas áreas produtivas de grãos. Foram realizadas passadas paralelas com o trator ao longo de dois talhões produtivos com características de relevo distintas coletando dados de inclinação do trator. Os dados foram georreferenciados e processados para a obtenção de superfícies expressando a declividade nos talhões. A análise dos dados demonstrou que o método e as informações geradas permitiram diferenciar as áreas em relação à declividade e com detalhamento adequado para aplicações em agricultura de precisão. Plataformas com espaços iguais entre os pontos de apoio devem ser testadas para atenuar o efeito da direção de deslocamento no resultado de declividade.

Palavras-Chave: Relevo, variabilidade, escoamento de água.

MEASUREMENT OF GROUND SLOPE USING AN INCLINOMETER AND EVALUATION OF ITS POTENTIAL AS AN ADDITIONAL INFORMATION FOR PRECISION AGRICULTURE

Abstract

An inclinometer based on a pendulum with potentiometer was tested in two fields to evaluate its potential on providing slope information in an easy and inexpensive way. It allows for monitoring slope in the longitudinal and perpendicular direction, giving the vector of maximum slope. It presented potential use for generating extra information for diagnostic of spatial variability of yield and its limiting factors.

Keywords: Slope mapping, soil variability, low cost sensor.

Introdução

A partir do momento que as ferramentas para levantamento e tratamento da variabilidade na produção agrícola começaram a ser empregadas, muito esforço foi feito na tentativa de explicar as causas da variabilidade. Alguns trabalhos começaram a demonstrar que parâmetros relacionados às características físicas do solo eram mais importantes que a fertilidade, sobretudo nas áreas de produção já cultivadas e quimicamente corrigidas. Segundo Kaspar et al. (2000), a produtividade das culturas e as propriedades do solo são altamente relacionadas à posição no terreno. Os autores utilizaram um GPS com correção pós processada para realizar o levantamento altimétrico em uma área de produção de grãos que possuía 16 ha. Após a análise de uma série histórica com 6 mapas de colheita, desenvolveram um modelo de regressão utilizando as informações de altitude, declividade e curvatura conseguindo explicar 78% da variabilidade na produtividade de milho nos 4 anos onde a precipitação foi menor que a normal. De Souza et al. (2001), caracterizaram pedoformas e quantificaram algumas características físicas do solo e as perdas por erosão em uma área de 93 ha sob cultivo de cana-de-açúcar. Como resultado pode ser destacado que a erosão foi maior na pedoforma linear do que na pedoforma côncava e que a variabilidade encontrada nas propriedades do solo tem como maior causador o relevo e não o histórico de manejo. Reese et al. (2002), estudando a influência da posição no relevo para produção e qualidade de grãos de trigo, chegaram à conclusão de que a disponibilidade de água no solo teve influência no comportamento de uma série de fatores que determinaram a produtividade. Nas regiões onde o relevo era plano a disponibilidade de água era maior que naquelas com declividade mais acentuada. Segundo os autores, a maior disponibilidade de água melhorou o aproveitamento do fertilizante nitrogenado, fazendo com que a produtividade fosse maior nas áreas planas. Neste trabalho foi avaliado o uso de um inclinômetro de dois eixos montado sobre um trator agrícola de rodas objetivando elaborar mapas de declividade em duas áreas produtivas de grãos.

Material e Métodos

Para a coleta das informações de declividade e posicionamento em campo, necessárias para a geração de mapas, foram utilizados um sensor de inclinação da marca RDS modelo S/AC/182-5-004, um coletor de dados da marca Campbell Scientific® Inc modelo CR10, um GPS da marca Garmim® modelo Etrex Legend e um computador de mão da marca HP, modelo Jornada 548. Os equipamentos foram montados sobre um trator de rodas da marca Massey Ferguson® modelo MF5310 com distância entre eixos de 2350 mm e bitola de 1750 mm equipado com um sistema para orientação da marca Outback®, modelo Outback S

O sensor de inclinação possuía especificações de trabalho que permitiram quantificar a inclinação em dois eixos perpendiculares e nas faixas entre -15° e $+15^\circ$. O sensor foi conectado ao coletor de dados sendo este programado para armazenar informações a cada 0,5 s. As informações do sensor de inclinação eram armazenadas em milivolts, sendo depois convertidas em graus através de equações geradas no Laboratório de Instrumentação Eletrônica do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP. Os valores de tensão elétrica e a inclinação respectiva foram tabulados no software Microsoft Excel®, sendo obtidas em seguida as equações de regressão.

Além das informações de posicionamento, o coletor de dados armazenou a informação do tempo em que as informações foram obtidas. Os dados de posicionamento horizontal foram armazenados no computador de mão em intervalos de 2 segundos, sendo armazenadas também as informações de altitude, tempo e direção de deslocamento, obtendo-se um arquivo no formato texto que pode ser editado em uma planilha eletrônica. As informações de declividade foram georreferenciadas através do pareamento das informações de tempo presentes nos dois arquivos gerados.

Os dados foram coletados em duas áreas produtivas de grãos no sistema de semeadura direta, localizados no município de Castro/PR. A primeira área (A) estava inserida em situação topográfica de transição onde se encontraram porções em condição de várzea, com relevo próximo ao plano e porções elevadas com maior ondulação. A segunda área (B) apresenta maiores declividades, possuindo também algumas regiões pouco onduladas. A velocidade média de trabalho foi de $2,76 \text{ m.s}^{-1}$ com o trator operando em 7ª marcha, sendo obtidas em média informações de declividade a cada 5,5 m no sentido de deslocamento do trator. Foram realizadas passadas a cada 7 m em toda a área, no sentido da maior declividade, tanto para a área A como para a área B. As informações obtidas foram processadas com o sistema de informações geográficas para agricultura de precisão Sstoolbox (SST Development Group®), sendo geradas superfícies e realizadas operações com os planos de informação obtidos.

Resultados e Discussão

Os dados coletados em campo foram processados de modo a se obter uma caracterização inicial do comportamento da declividade no sentido do deslocamento, no sentido perpendicular e da declividade máxima que representa o somatório vetorial das anteriores. O objetivo de se somar leituras das declividades no sentido do deslocamento e no sentido perpendicular foi o de expressar a intensidade máxima de declividade em cada ponto, que não poderia ser expressa somente por leituras em um sentido. Na tabela 1 é apresentada a estatística descritiva para os dados obtidos.

Tabela 1 – Parâmetros estatísticos descritivos para as declividades encontradas nas duas áreas.

	Área A			Área B		
	Declividade					
	Sent. Desloc.	Perpend.	Máxima	Sent. Desloc.	Perpend.	Máxima
Média (°)	1,17	1,23	1,88	4,80	2,72	5,97
Mediana (°)	0,84	0,86	1,44	4,92	1,96	5,92
Desvio padrão (°)	1,18	1,35	1,59	2,51	2,59	2,81
Variância	1,39	1,82	2,54	6,32	6,69	7,87
Curtose	9,9	13,1	9,9	-0,8	5,4	1,5
Assimetria	2,6	3,0	2,6	0,0	1,9	0,6
Quartil Inferior(°)	0,42	0,39	0,91	2,81	0,86	4,90
Quartil Superior (°)	1,47	1,57	2,27	6,81	3,78	9,56
Nº de observações	11831	11831	11831	6389	6389	6389

O número total de observações foi de 11.831 na área A e 6.389 na área B, sendo que a densidade média de coleta foi de um ponto a cada $46,2 \text{ m}^2$ e $34,7 \text{ m}^2$ respectivamente para as áreas A e B. Foram obtidos valores baixos para as declividades

médias na área A se comparado com aquelas obtidas na área B, o que permite afirmar que a metodologia utilizada conseguiu diferenciar as áreas quanto à declividade. Conforme esperado, a variabilidade na área B foi superior a aquela da área A para as três declividades consideradas, sendo que as diferenças entre valores de declividade perpendicular e no sentido de deslocamento foram maiores em B que em A.

Os valores das leituras de declividades no sentido de deslocamento e perpendicular georreferenciadas e processadas através do SIG foram interpoladas utilizando-se o interpolador inverso da distância ao quadrado para a geração de superfícies compostas de células de 5 m de lado. Os resultados da interpolação dos valores das declividades para a área A são apresentados na Figura 1 onde são apresentados os mapas de declividade. Notou-se que na maior parte da área a declividade foi inferior a 2 graus e que no limite superior esquerdo da imagem ocorreram leituras mais elevadas, entre 6 e 8 graus. Valores intermediários são encontrados ao longo da área; no entanto pode se observar que se trata de uma superfície regular em sua maior parte.

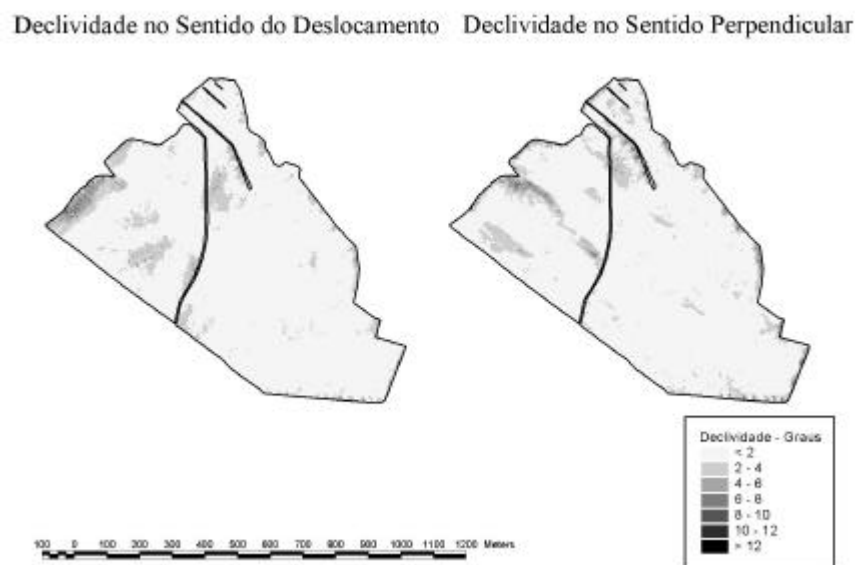


Figura 1 – Mapas de declividade para a área A.

O mesmo procedimento foi adotado para a área B, como pode ser visto na Figura 2, sendo que as células geradas possuíam 6 m de lado. Nota-se que a amplitude de leituras é maior na área B e que os mapas referentes à declividade no sentido de deslocamento e perpendicular apresentam maior variabilidade, ocorrendo declividades mais elevadas que na área A.



Figura 2 – Mapas de declividade para a área B.

Histogramas foram construídos com os dados coletados para caracterizar melhor as diferenças entre as duas áreas e entre as declividades consideradas e são apresentadas nas Figuras 3 e 4, permitindo uma diferenciação entre as duas áreas. A frequência dos valores de declividades inferiores a 2 graus foi mais significativa na área A. Embora os valores de declividade perpendicular tenham sido mais baixos na área A, o comportamento na área B foi bastante semelhante, havendo maior participação das classes de declividade mais baixas no total dos dados. Tal comportamento pode ser explicado pela opção do sentido de deslocamento do trator em campo que foi sempre aquele em que a declividade fosse maior.

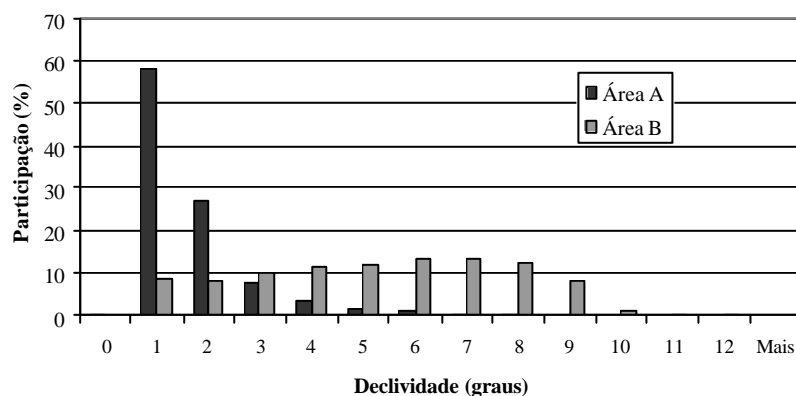


Figura 3 – Histograma de frequência da declividade no sentido do deslocamento para as áreas A e B.

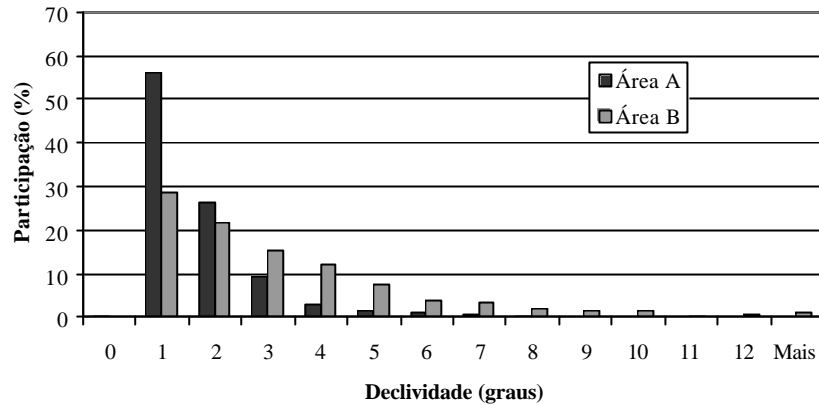


Figura 4 – Histograma de frequência da declividade perpendicular para as áreas A e B.

Um fato a ser considerado é a semelhança que ocorreu na área A com relação às leituras no sentido do deslocamento e perpendicular, o que pode ser atribuído às características da área e também ao tipo de plataforma em que o sensor estava embarcado. Para a coleta dos valores no sentido do deslocamento a resolução em termos de comprimento mínimo do terreno que poderia ser caracterizada é inferior àquela obtida para valores na perpendicular, uma vez que a distância entre eixos do trator é superior à bitola do mesmo. Desta forma, as leituras perpendiculares têm a tendência de apresentar valores superiores às no sentido de deslocamento em função desta diferença entre os pontos de apoio do conjunto trator-sensor no terreno, acentuando-se esse fato quando os valores de declividade são mais baixos.

A integração de informações das declividades no sentido de deslocamento e perpendicular foi realizada visando obter a caracterização da declividade máxima do terreno. A maneira adotada foi a soma vetorial dos dados destas duas leituras, obtendo-se assim a resultante ou declividade máxima. Foi realizada a interpolação para a geração das superfícies que são apresentadas nas Figuras 5 e 6.

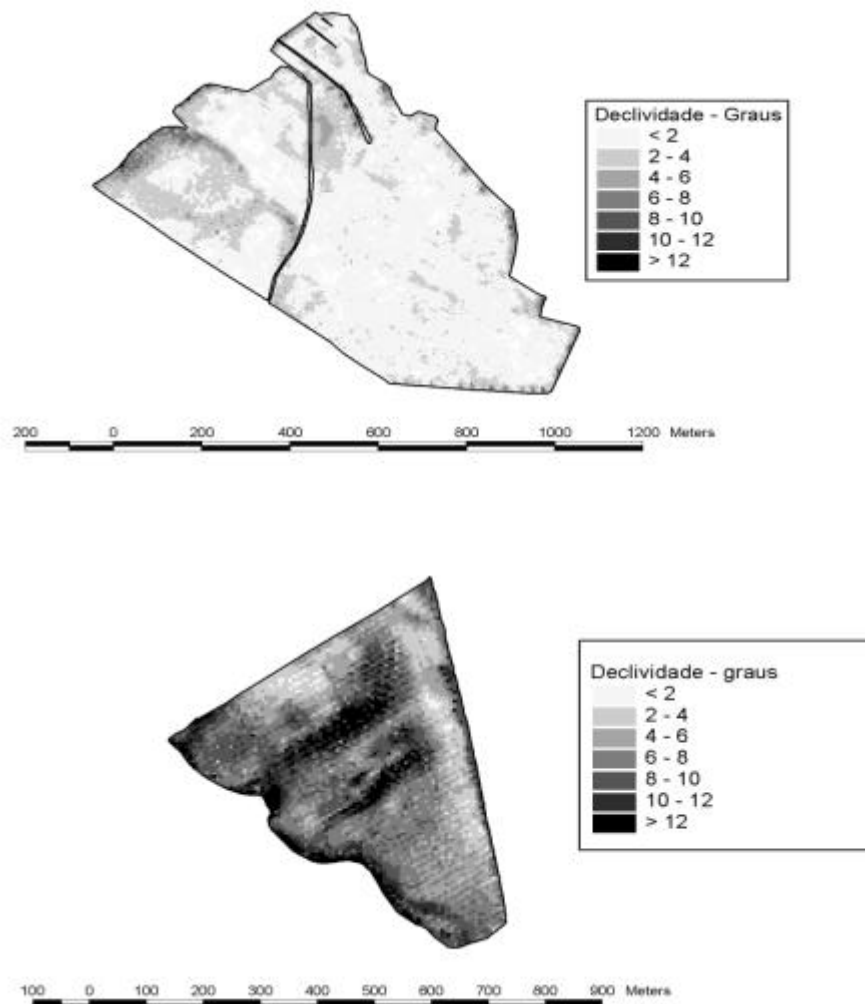


Figura 6 – Mapa de declividade máxima do terreno para a área B.

O plano de informação obtido após a interpolação foi rico em detalhes e consistente na distribuição, tamanho e formato das regiões com declividades diferentes. Embora não haja nos mapas a possibilidade de visualizar o sentido da declividade, foi possível caracterizar a sua variabilidade. Na área A, por exemplo, nota-se que a maior parte do talhão possui relevo plano o que tem implicações para o escoamento da água que poderia se acumular facilmente, o que não ocorre na área B. Por outro lado, a realização de operações agrícolas como a semeadura na área A, deve ter eficiência maior que na área B, exigindo inclusive menor dispêndio de energia, uma vez que a energia gasta para vencer a declividade seria menor.

No histograma da Figura 7 é apresentada a dispersão das leituras de declividade máxima para as duas áreas estudadas. Na área B ocorreu uma dispersão bastante maior que em na área A, sendo encontrados valores desde 1° até acima de 12°.

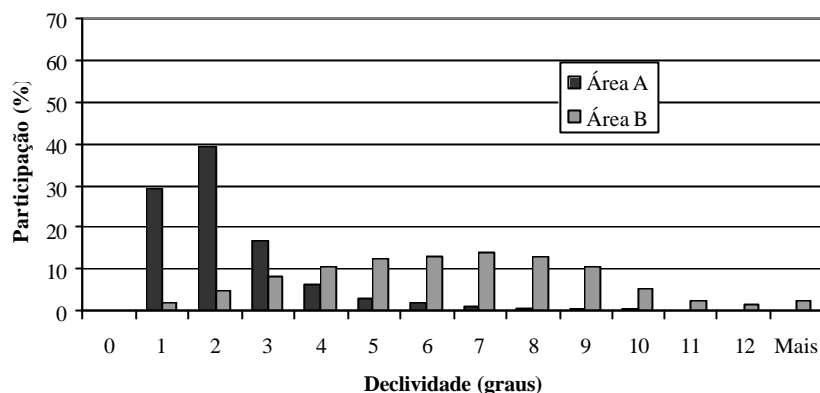


Figura 7 – Histograma de frequência da declividade combinada para as áreas A e B.

Para verificar a influência da plataforma utilizada nas leituras de declividade foi realizada na área B uma coleta de dados com as passadas em sentido perpendicular. Mapas foram gerados pela mesma metodologia procedendo-se ao cálculo de coeficientes de correlação entre as leituras de declividade realizadas nos dois sentidos de deslocamento e para os dois percursos de campo. Na tabela 2 são apresentados os resultados.

Tabela 2 – Coeficientes de correlação entre as leituras de declividade e sentidos de percurso para a área B

		Percurso de Campo Leste – Oeste		
		Leituras no Sentido de Deslocamento	Leituras Perpendiculares ao Deslocamento	Declividade Máxima
Percurso de campo Norte -Sul	Leituras no Sentido de Deslocamento	0,05	0,42	0,33
	Leituras Perpendiculares ao Deslocamento	0,58	0,23	0,58
	Declividade Máxima	0,37	0,47	0,59

Os coeficientes de correlação foram positivos e baixos. A hipótese de que a plataforma em que o sensor foi montado tenha efeito sobre as leituras foi confirmada uma vez que foram obtidos coeficientes de correlação baixos entre as leituras no sentido de deslocamento para um percurso e as leituras perpendiculares no outro. Para a declividade máxima foi obtido coeficiente de 0,56 entre os mapas referentes aos dois percursos de campo que são apresentados na figura 8.

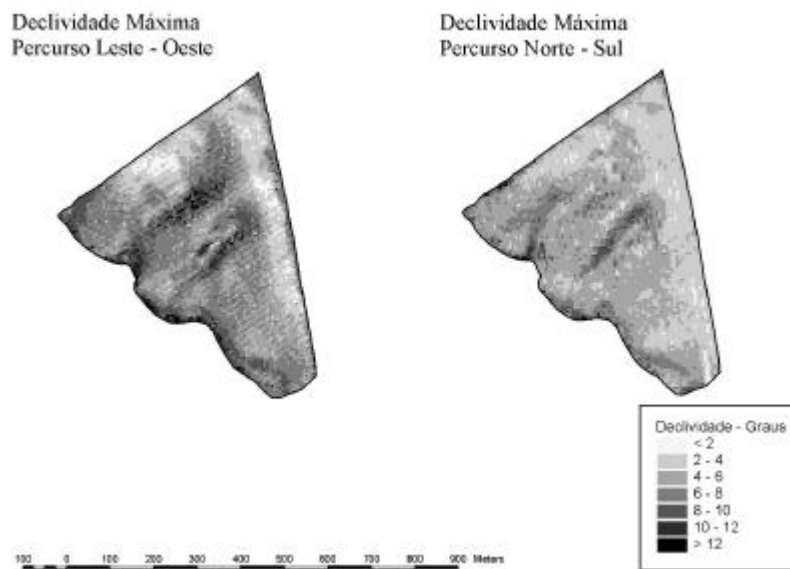


Figura 8 – Mapas de declividade máxima do terreno para a área B em dois sentidos de percurso.

Conclusões

O sensor de declividade montado sobre o trator agrícola permitiu a coleta de dados de declividade de modo eficaz e preciso, mantendo leituras estáveis e sendo capaz de expressar pequenas alterações no relevo. Devido à característica da plataforma, (trator) utilizada para carregar o sensor, foram obtidas leituras de declividade no sentido do deslocamento com resolução inferior às leituras de declividade perpendicular. Duas áreas com características de relevo distintas foram avaliadas, sendo que o método e as informações geradas permitiram diferenciá-las com detalhamento adequado para aplicações em agricultura de precisão. A avaliação do efeito da plataforma foi realizada através da coleta de dados em sentidos de percurso perpendiculares na área B. Os coeficientes de correlações obtidos entre os planos de informação gerados foram baixos.

Referências Bibliográficas

DE SOUZA, C.K; MARQUES JÚNIOR, J; MARTINS FILHO, M.V; CORÁ, J.E; PEREIRA, G. T; RODRIGUES, P. Caracterização de pedoformas e quantificação da erosão dos solos como indicadores de zonas específicas de manejo no município de Jaboticabal (SP). In: O estado da arte da Agricultura de Precisão no Brasil, III Simpósio sobre agricultura de precisão, Piracicaba, SP, Departamento de Engenharia Rural/ESALQ/USP, 2001. p.122.



2º Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão São Pedro, SP – ESALQ/USP

KASPAR, T.C; COLVIN, T.S; JAYNES, D.B; KARLEN, D.L; JAMES, D.E; MEEK, D.W. Estimating corn yield using six years of yield data and terrain attributes. In: International Conference on Precision Agriculture, 5., 2000. Proceedings... Madison:ASA- CSSA-SSSA, 2002. 14f.

REESE, C.L; CLAY, D.E; BECK, D; LIU, Z; CARLSON, G.C. The influence of landscape position and nitrogen rate on hard red spring wheat (*Triticum aestivum* L.) quality and quantity. In: International Conference on Precision Agriculture, 6., 2002. Proceedings... Madison:ASA- CSSA-SSSA, 2002. 14f.