

Cientific Paper

Resumo

O objetivo desta pesquisa foi analisar interpoladores aplicados em diferentes espaçamentos de coletas de amostras de solos para a elaboração de mapas de pH em pequenas propriedades rurais que

se enquadram na categoria de Agricultura Familiar na região de Ourinhos, SP, Brasil. As técnicas utilizadas seguiram os fundamentos da agricultura de precisão, com ajustes voltados para pequenos agricultores de forma que a análise dos dados básicos do solo prescindisse do uso de equipamentos caros, inacessíveis a este público. Para o desenvolvimento das etapas da pesquisa foram feitas coletas georreferenciadas de amostras de solo em campo, análises das amostras no laboratório de solos do Campus da Unesp de Ourinhos e espacialização dos resultados em mapas, que foram gerados a partir de técnicas de interpolação e de Geoprocessamento. O interpolador avaliado como o mais adequado para os objetivos propostos foi o TIN (Triangular Irregular Network), pois sua precisão independeu da quantidade de amostras. Além disso, pode ser aplicado por pessoas com conhecimentos básicos de informática e de geoprocessamento.

Análise do desempenho de interpoladores para a elaboração de mapas de pH para a agricultura familiar

Alice Nardoni Marteli¹

Edson Luís Piroli²

Palavras chave: TIN; TREND; Krigagem; agricultura familiar; agricultura de precisão.

Performance analysis of interpolators for elaboration of pH map for family farms

Abstract

The aim of this research was to analyze interpolators applied at different spacings of soil sample collections for the elaboration of pH maps on small farms which fell into the category of Family Farming in Ourinhos region, SP, Brazil. The techniques used followed the foundations of precision agriculture, with adjustments geared to small farmers so that the analysis of the basic data of the soil dispense the use of expensive equipment that is inaccessible to this public. For the development of this research were made collections of georeferenced soil samples in field, analyses of the soil samples were made at the soils laboratory at the Unesp - Ourinhos Campus and the spatial distribution of the results in maps that was generated starting from interpolation techniques and Geoprocessing. The interpolator rated as the most suitable for the proposed objectives was the TIN (Triangular Irregular Network), because its accuracy didn't depend on the number of samples. Moreover, it can be applied by people with basic computer skills and geoprocessing.

Key words: TIN; TREND; Kriging; family farms; precision agriculture.

Análisis del desempeño de interpoladores para la elaboración de mapas de pH para la agricultura familiar

Resumen

El objetivo de esta investigación fue analizar interpoladores aplicados a diferentes distancias de muestras de suelo recogidas para la preparación de mapas de pH en pequeñas granjas que se encuadran en

Received at: 20/02/15

Accepted for publication at: 28/07/15

¹ Graduada em Geografia. Universidade Estadual Paulista – UNESP Campus Ourinhos, Avenida Vitalina Marcusso, 1500. Ourinhos - SP, Brasil. CEP: 19910-206. Email: alicenmart@gmail.com

² Eng. florestal, Dr. Professor Universidade Estadual Paulista – UNESP Campus Ourinhos, Avenida Vitalina Marcusso, 1500, Ourinhos - SP, Brasil. CEP: 19910-206. Email: elp@ourinhos.unesp.br

la categoría de la Agricultura Familiar en la región de Ourinhos, SP, Brasil. Las técnicas utilizadas siguieron las bases de la agricultura de precisión, con ajustes específicos a los pequeños agricultores, a fin de que en el análisis de los datos básicos del suelo se evite el uso de equipos caros, inaccesibles para este público. Para el desarrollo de las etapas de la investigación se hicieron recolecciones geo-referenciadas de muestras de suelo en el campo, el análisis de las muestras en el laboratorio de suelo de Unesp Campus Ourinhos y la distribución espacial de los resultados en mapas que se generan a partir de técnicas de interpolación y SIG. El interpolador calificado como el más adecuado para los objetivos propuestos fue el TIN (Triangular Irregular Network), ya que su precisión no depende de la cantidad de muestras. Además de que puede ser aplicado por personas con conocimientos básicos de informática y geoprocusamiento.

Palabras clave: TIN; TREND; Kriging; agricultura familiar; agricultura de precisión.

Introdução

A agricultura familiar foi o termo encontrado para caracterizar a organização da produção agrícola em pequenas propriedades, cujas atividades se baseiam na mão-de-obra familiar. Nestas propriedades, os trabalhos são exercidos pelos proprietários, podendo ter ou não trabalho contratado, desde que prevaleça o trabalho entre membros familiares.

No Brasil, a agricultura familiar tem origens coloniais, desde os primeiros núcleos de ocupação. Já naquela época, os pequenos agricultores cultivavam produtos alimentícios e de subsistência, contrapondo-se ao modelo agrário do latifúndio monocultor.

Com a modernização da agricultura brasileira a partir da década de 1960, grandes propriedades foram privilegiadas, deixando-se às margens do desenvolvimento os produtores familiares. Uma grande parcela destes foi então incorporada como mão-de-obra para a indústria (êxodo rural) e os que sobreviveram continuaram encontrando diversos problemas relacionados à miséria presente no campo brasileiro até a atualidade. Desta forma, encontram-se excluídos do sistema de produção tecnificado, tendo dificuldade de aumentar a produtividade de suas áreas. Mesmo assim, são estes produtores os responsáveis por importante percentual da produção de alimentos no país.

Em função da histórica falta de apoio oficial, a agricultura familiar encontra-se distante da aplicação dos recursos e técnicas modernas para gestão de seu patrimônio maior, que é o seu solo. No entanto, desde os tempos antigos, pequenos agricultores de diversas regiões do mundo já reconheciam os benefícios da aplicação diferenciada de insumos, preparando as áreas de maneira diferenciada, fazendo a rotação de culturas e mantendo áreas em pousio.

Estes procedimentos podem ser apontados como precursores das modernas técnicas de agricultura de precisão, uma vez que também buscavam a gestão da propriedade via caracterização de suas unidades de produção visando a aplicação localizada de técnicas e insumos para o manejo diferenciado das culturas.

Na atualidade, a agricultura de precisão moderna utiliza aplicativos computacionais e equipamentos como o Sistema de Posicionamento Global (GPS) para realizar com exatidão as ações sobre as áreas produtivas de uma propriedade, possibilitando o monitoramento da qualidade do solo, maior produção, com redução de gastos com insumos, e menor impacto ambiental, com a aplicação das doses de insumos necessárias, apenas nos locais onde houver a necessidade. Esta técnica amplia as possibilidades de competição no mercado, diminui a jornada de trabalho no campo e permite que o agricultor se exponha menos a produtos que podem causar problemas de saúde.

Isto tudo devido ao fato de que, a partir das tecnologias da agricultura de precisão é possível coletar e armazenar uma grande quantidade de informações e dados das áreas agrícolas. Propriedades físicas e químicas dos solos, dados climáticos, incidência de pragas, doenças, ervas daninhas e produção das culturas são as variáveis comumente levantadas. Esses dados normalmente são georreferenciados e organizados em SIG's (Sistemas de Informações Geográficas), onde é possível elaborar mapas, por meio de uma variedade de técnicas de interpolação e geoestatística (COELHO, 2003).

No entanto, a agricultura de precisão tem sido desenvolvida a partir de equipamentos sofisticados e caros, aos quais pequenos agricultores geralmente não têm acesso. Mas, os fundamentos desta técnica podem ser adotados para o manejo dos solos e das culturas por zona a partir de alternativas simples e

baratas, como as apresentadas neste trabalho, que avaliou a área de produção a partir de pontos onde foram coletados solos e analisados em laboratório e, a partir deles, gerou mapas de pH por zonas uniformes, dividindo-se a área em talhões, que na sequência foram usados para a aplicação dos corretivos. A partir deste conjunto de procedimentos, se pode obter informações importantes e ajustar os sistemas de produção (COELHO, 2003).

Neste contexto, esta pesquisa foi desenvolvida para avaliar a eficácia de três interpoladores comuns em SIG na elaboração de mapas de pH do solo de uma propriedade rural do município de Ourinhos, SP, visando a aplicação dos fundamentos da agricultura de precisão e o desenvolvimento de uma metodologia que possa ser replicada e facilmente adotada por agricultores interessados, o que pode inseri-los em um sistema de produção mais eficiente, menos impactante ambientalmente e com baixos custos de investimento.

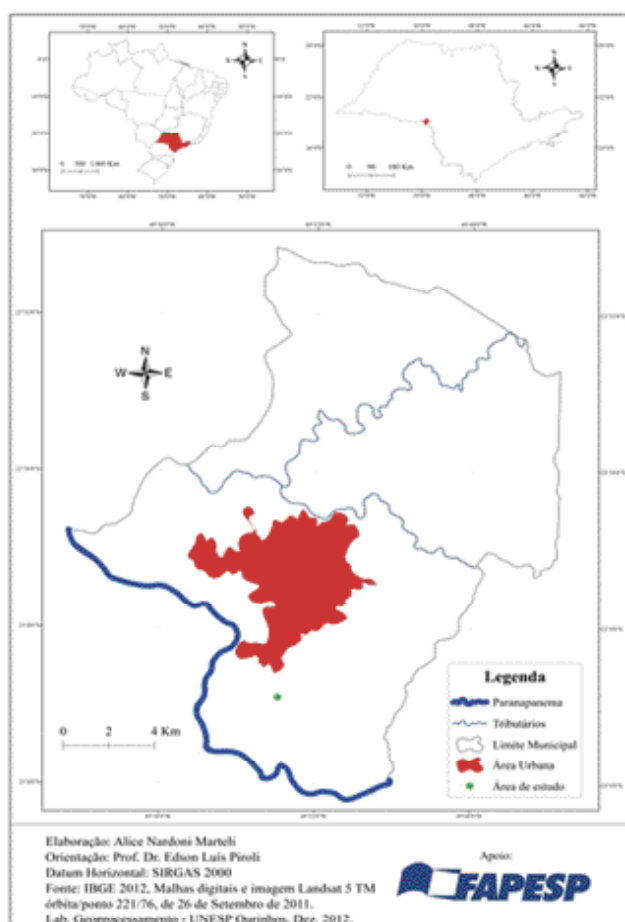
Material e métodos

Área de estudo

O trabalho foi desenvolvido em uma pequena propriedade que se enquadra na categoria de agricultura familiar. A área de estudo compreende um talhão de 33,3 hectares que se encontra sob rotação das culturas de milho e soja há 20 anos e, em sistema de plantio direto há 8 anos. Nesta propriedade, nunca foi feita correção de solo e nenhuma análise química ou física.

A propriedade está inserida na microbacia hidrográfica do Córrego Água do Jacu, que deságua no Rio Paranapanema e pertence ao município de Ourinhos, que está localizado no sudoeste do estado de São Paulo, Brasil (Figura 1).

Figura 1. Localização do município de Ourinhos no Estado de São Paulo, Brasil



Coleta e análise das amostras de solo

A localização das coletas de amostras de solo foi previamente definida a partir da geração de malhas de pontos aleatórios distribuídas sobre uma imagem da área de estudo, extraída do Google Earth e georreferenciada utilizando-se o SIG Idrisi Taiga. As três malhas geradas foram feitas em diferentes espaçamentos amostrais, distribuindo sobre a área 9, 18 e 36 pontos respectivamente. Estes pontos foram localizados no campo com o auxílio de um GPS de navegação, e tiveram então suas amostras de solo coletado. A distribuição dos pontos de coleta é apresentada na Figura 2.

O material e os métodos para as coletas de solo seguiram a metodologia proposta por RAIJ et al. (1997), que indica a necessidade do trado ser introduzido até a profundidade de 20 cm, coletando uma porção de solo da chamada camada arável.

As amostras coletadas foram levadas ao Laboratório de Geologia, Geomorfologia e Pedologia da UNESP, Campus de Ourinhos e analisadas com base na metodologia de determinação do pH em cloreto de cálcio (CaCl_2) descritas por RAIJ et al. (2001).

Elaboração dos mapas

Foram gerados nesta pesquisa, três mapas, um com a distribuição dos dados dos nove pontos, outro com os dados dos dezoito pontos e o terceiro com os dados dos 36 pontos amostrados. Em seguida, com

os valores das análises de pH de cada ponto, os três conjuntos de dados foram interpolados utilizando-se Análise de Superfície de Tendência (TREND), as Redes Irregulares Triangulares (TIN) e a disponíveis no SIG Idrisi Taiga.

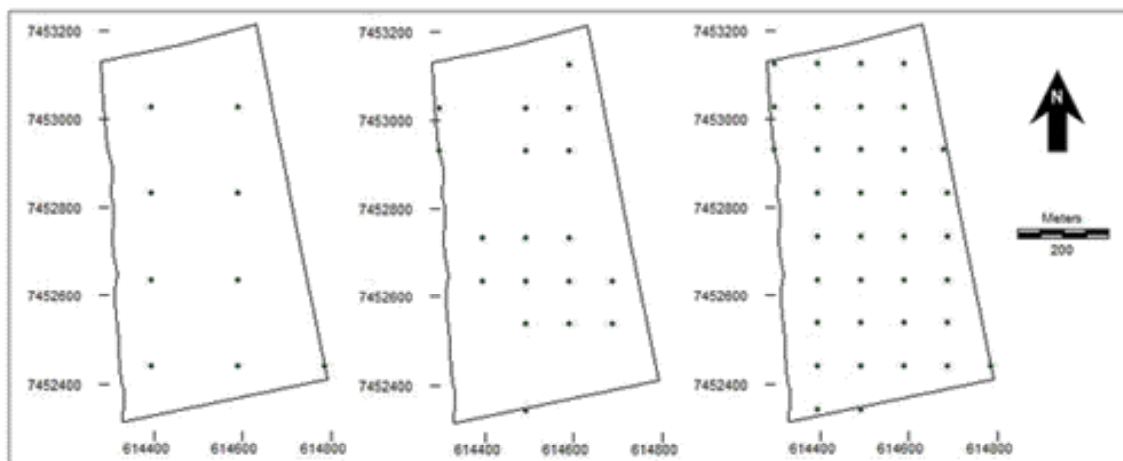
A Análise de Superfície de Tendência foi feita utilizando-se o menu Data Entry, disponível em Surface Interpolation, opção TREND. A interpolação por Redes Irregulares Triangulares, foi feita através do menu Data Entry, disponível em Surface Interpolation - TIN Interpolation, opção TIN.

A foi o processo mais demorado por ser constituído de três etapas. Esta foi realizada no menu Data Entry, disponível em Surface Interpolation - Kriging. Neste método, o primeiro passo foi feito em Spatial Dependence Modeler, onde as distâncias entre os pontos (lags) foram definidas e o semivariograma omni direcional desenhado, com tolerância angular de $22,5^\circ$. Foram utilizadas seis lags em um espaçamento de 120 m.

O passo seguinte foi feito em Model Fitting, no qual o modelo foi ajustado conforme a equação que melhor se adequou. Neste caso, foi utilizado o modelo exponencial ajustado. O terceiro passo consistiu na interpolação, feita no módulo aplicada foi do tipo Ordinária.

Na Krigagem não foi necessário recortar os limites da área de estudo, pois o terceiro passo já faz isso. Mas esse procedimento foi realizado nos outros métodos. Para tal, foi usada a ferramenta Overlay disponível no módulo Database Querjzy. Em todos os interpoladores foi efetuada a reclassificação de

Figura 2. Distribuição dos pontos para coleta de 9; 18 e 36 amostras respectivamente.



valores para agrupar os dados gerados em classes com intervalos de valores. Esta foi feita no menuGIS Analysis no módulo Database Query, opção Reiclass.

As classes obtidas a partir da aplicação da reclassificação foram definidas com base nos parâmetros descritos por RAIJ et al. (1997), os quais interpretam a acidez da camada arável do solo, pelo pH em CaCl₂. Estas classes foram: menor ou igual a 4,3, entre 4,4 e 5,0, entre 5,1 e 5,5, e entre 5,6 e 6,0.

Avaliação da exatidão dos mapas

Avaliar a qualidade das classificações e comparar mapas temáticos é procedimento fundamental para conhecer a acurácia da informação produzida, pois evita interpretações de baixa confiabilidade em relação aos métodos utilizados. Dessa forma, para analisar a qualidade da classificação foram aplicados os Índices Kappa (K) e de Exatidão Global (EG), ambos extraídos da matriz de confusão (SILVA et al., 2011). O índice Kappa varia de 0 a 1 (Tabela 1), onde 0 indica que os resultados acontecem totalmente ao acaso e 1 indica concordância perfeita (CARVALHO et al., 2001).

Assim, enquanto o Kappa é um coeficiente que retira a parcela de colocação dos pixels, a Exatidão Global é um índice que estima a acurácia da classificação (OLIVEIRA, 2003), isto é, utiliza os elementos diagonais (concordância real). Desta maneira, a Exatidão Global é calculada dividindo a soma da diagonal principal da matriz de erros pelo número total de amostras coletadas (FIGUEIREDO; VIEIRA, 2007). Caso se queira apresentar os resultados em porcentagem, basta multiplicar por 100.

Para aplicar o Índice Kappa e a Exatidão Global foram criados nove pontos de amostragem no SIG Idrisi Taiga seguindo os mesmos procedimentos anteriores, tanto para geração de pontos, como para a coleta e análise do pH do solo, que foi feita juntamente com as demais coletas. Estes nove pontos tiveram suas coordenadas identificadas e os dados obtidos

em campo foram usados como a verdade terrestre, a partir da qual foram feitas as análises estatísticas para verificar a precisão dos resultados obtidos pelos interpoladores.

Em Image Processing – Accuracy Assessment, Ermat, associou-se a verdade terrestre e o resultado das interpolações. Este procedimento foi feito para os três interpoladores, nos três espaçamentos amostrais 1.

Desta forma, obteve-se a matriz de erro e a estatística Kappa, a qual foi comparada com a tabela de qualidade de classificação. Além disso, através da matriz de erro gerada, foi calculada a Exatidão Global. Este é um processo manual, que é feito para cada mapa isoladamente. Para tal, foram divididos os pixels totais da diagonal principal (classificação correta) pelo número total de pixels e, para melhor comparação, os resultados foram multiplicados por 100.

Resultados e Discussão

Resultados da análise química do pH de solo

Após as coletas das amostras de solo e das análises em laboratório obteve-se os valores de pH descritos na Tabela 2.

Conforme pode ser observado na Tabela 2 o pH do solo do talhão estudado variou de 4,29 a 5,85, o que representa uma variação importante. No entanto, poucos pontos revelaram acidez tão alta. A maior parte das amostras apresentaram acidez alta e média, de acordo com a classificação de RAIJ et al. (1997). Como o pH ideal para fins agrícolas deve variar entre 5,5 a 6,5 (KIEHL, 1979), os resultados mostraram que pequenas manchas de solo se enquadrariam no ideal para a prática da agricultura. Estas manchas poderão ser observadas na espacialização obtida através dos resultados das interpolações e das reclassificações. As demais áreas necessitam ser corrigidas para alcançarem seu ápice de produção.

Tabela 1. Qualidade da classificação associada aos valores da estatística kappa.

Índice Kappa	Grau de concordância
< 0,00	Péssimo
0,01 - 0,20	Ruim
0,21 - 0,40	Razoável
0,41 - 0,60	Bom
0,61 - 0,80	Muito Bom
0,81 - 1,00	Excelente

Fonte: LANDIS e KOCH (1977), citado por SILVA et al., (2011).

Tabela 2. Resultado das análises de pH de solo para cada distribuição de pontos

9 pontos			18 pontos			36 pontos		
Coordenadas	UTM	pH	Coordenadas	UTM	pH	Coordenadas	UTM	pH
614396	7453031	4,90	614591	7453128	4,86	614298	7453128	5,15
614591	7453031	4,29	614591	7453031	4,29	614396	7453128	5,32
614591	7452836	4,59	614493	7453031	4,96	614493	7453128	5,19
614591	7452641	5,31	614298	7453031	5,78	614591	7453128	4,86
614591	7452446	5,30	614298	7452933	4,67	614591	7453031	4,29
614786	7452446	4,92	614493	7452933	4,58	614493	7453031	4,96
614396	7452446	5,59	614591	7452933	4,84	614396	7453031	4,90
614396	7452641	4,95	614591	7452738	5,44	614298	7453031	5,78
614396	7452836	4,78	614493	7452738	5,85	614298	7452933	4,67
			614396	7452738	4,97	614396	7452933	4,57
			614396	7452641	4,95	614493	7452933	4,58
			614493	7452641	5,09	614591	7452933	4,84
			614591	7452641	5,31	614688	7452836	5,62
			614688	7452641	4,86	614396	7452836	4,78
			614688	7452543	5,43	614396	7452738	4,97
			614591	7452543	4,94	614396	7452641	4,95
			614493	7452543	4,82	614396	7452543	5,34
			614493	7452348	5,52	614396	7452446	5,59
						614396	7452348	5,49
						614493	7452348	5,52
						614493	7452446	4,89
						614493	7452543	4,82
						614493	7452641	5,09
						614493	7452738	5,85
						614493	7452836	4,60
						614679	7452933	4,66
						614688	7452738	5,15
						614688	7452641	4,86
						614688	7452543	5,43
						614688	7452446	4,93
						614786	7452446	4,92
						614591	7452446	5,30
						614591	7452543	4,94
						614591	7452641	5,31
						614591	7452738	5,44
						614591	7452836	4,59

Resultados das Interpolações

A Análise de Superfície de Tendência (TREND) resultou em todos os espaçamentos mostrando a mesma direção tendenciosa: na porção Nordeste valores menores em relação à porção Sudoeste da área de estudo, que apresentou valores maiores. Desta forma, a tendência foi aumentando e diminuindo à medida que os valores de pH do solo aumentaram ou diminuíram. Em determinadas áreas alguns valores de pH foram mascarados, uma vez

que a Análise de Superfície de Tendência raramente passa pelos pontos amostrados. Para que isso ocorra, devem-se ter poucos pontos e estes devem estar distribuídos em uma superfície extensa (BURROUGH e MCDONNELL, 2004).

Pelas interpolações obtidas, se observa que as Análises de Superfícies de Tendências não representaram a variabilidade de pH do solo. O modelo negligenciou a variabilidade local (Figura 3). Isso pode ter ocorrido devido ao fato de que a TREND é um método global de interpolação espacial

que remove as características gerais dos dados, não sendo utilizado como interpolador local.

As Redes Irregulares Triangulares mostraram uma melhor representação da variabilidade de pH do solo em relação à Análise de Superfície de Tendência. As escalas foram fiéis aos dados obtidos em campo para cada conjunto de pontos amostrados. Por se tratar de um método matemático, é possível observar também que alguns pontos coletados em campo coincidem com os eixos da triangulação (Figura 4). Além disso, embora as superfícies representadas por TIN tenham apresentado contornos angulares, não devendo ser usadas quando se deseja um mapa com contornos suaves, as marcas da triangulação não impedem a análise e a acurácia dos mapas.

Como pode ser observado na Figura 4, a interpolação por Redes Irregulares Triangulares com nove pontos apresentou algumas restrições quando comparada às outras interpolações. Estas restrições podem ter ocorrido devido à pequena quantidade de pontos de amostragem, o que representou menor variação das manchas de solo. No entanto, a partir da análise estatística, observou-se que a interpolação por TIN com 9 pontos foi tão precisa aos dados de pH do solo quanto as demais.

Na interpolação por Redes Irregulares Triangulares com 18 e 36 pontos o resultado é considerado satisfatório uma vez que as manchas apresentam maior variabilidade de pH do solo na área agrícola. Além disso, o resultado da interpolação com 36 pontos amostrais foi semelhante ao da KRIGAGEM com a mesma quantidade de pontos, em relação à distribuição espacial das manchas de pH.

O método da KRIGAGEM foi aplicado

para todas as densidades de pontos amostrais (9, 18 e 36), mas forneceu resultado adequado apenas para a interpolação com 36 pontos, uma vez que interpolações com poucos pontos não são satisfatórias e as distâncias entre as amostras é um dos fatores determinantes para isto. Os resultados obtidos podem ser vistos na Figura 5.

Para as malhas com 9 e 18 pontos amostrais não foi possível determinar a variabilidade de pH do solo na área de estudo pois não houve interpolação. Isso ocorreu devido ao fato de que o método de KRIGAGEM necessita de um número maior de pontos para gerar resultados adequados. Desta forma, se pode concordar com LANDIM (2013), que afirma que com menos de 30 pontos amostrais não é possível gerar interpolação mesmo que as distâncias (lags) exigidas pelo modelo sejam aumentadas.

Já a interpolação por KRIGAGEM com 36 pontos, feita a partir do semivariograma ajustado, forneceu resultado satisfatório. A KRIGAGEM mostrou o melhor resultado frente aos demais métodos, quando realizado com 36 pontos de amostragem. Isso se deve a variabilidade espacial presente no método geoestatístico. Além disso, o resultado foi fiel aos dados de campo, uma vez que a interpolação sempre passa pelos pontos amostrados e, as manchas da variabilidade do solo foram suavizadas, melhorando o caráter visual da interpretação e da variabilidade espacial.

Resultados da Reclassificação

Mesmo com resultados insatisfatórios, os mapas por Análise de Superfície de Tendência foram reclassificados (Figura 6) para validação.

Figura 3. Interpolação por TREND com 9, 18 e 36 pontos amostrais respectivamente

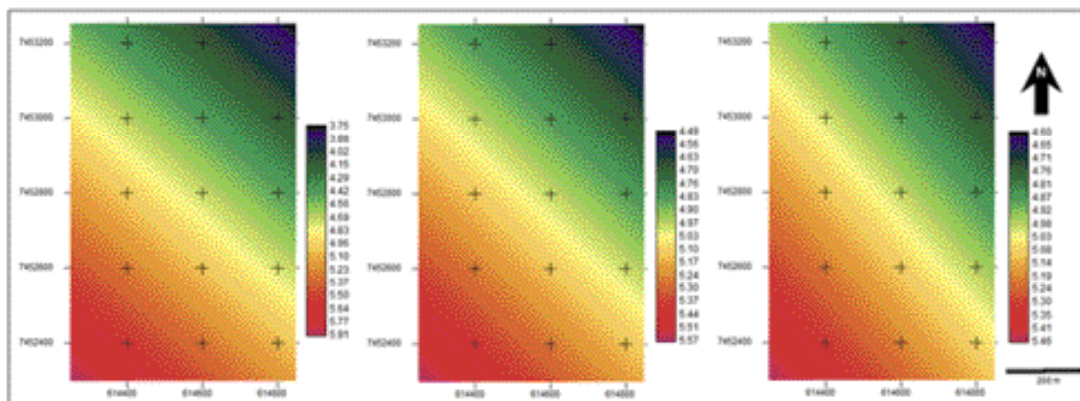


Figura 4. Interpolação por TIN com – 9, 18 e 36 pontos amostrais respectivamente.

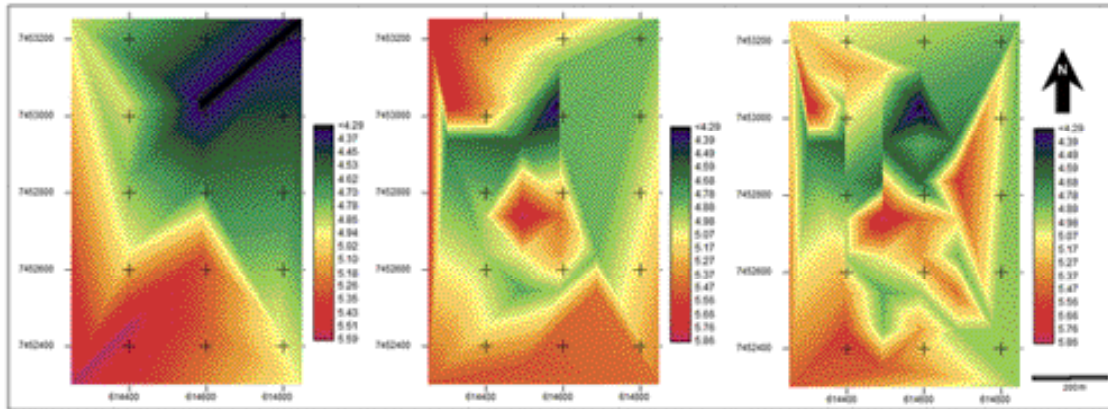
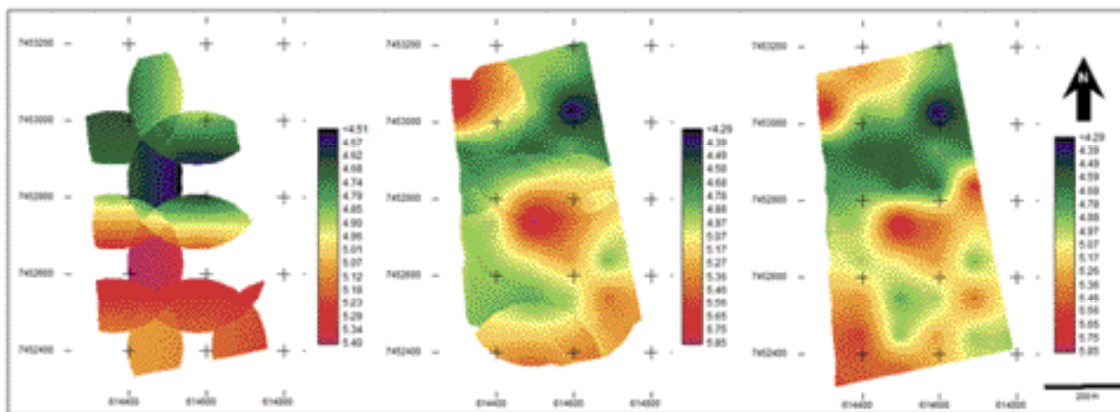


Figura 5. Interpolação por Krigagem com 9, 18 e 36 pontos amostrais respectivamente.



A reclassificação das interpolações por Redes Irregulares Triangulares mantiveramos resultados fiéis aos dados interpolados e aos pontos coletados em campo (Figura 7), pois independente da quantidade de pontos, a estrutura TIN representa a superfície com o mesmo nível de acurácia (FAZAN et al., 2010).

Para a KRIGAGEM só foi obtido o mapa com 36 pontos amostrais. Como se pode observar na Figura 8, a KRIGAGEM suavizou as manchas das classes de pH do solo, melhorando o caráter visual da interpretação e da variabilidade espacial.

Análise dos resultados através da comparação dos mapas pelo Índice Kappa e a Exatidão Global

A partir dos resultados extraídos da matriz de confusão no SIG Idrisi Taiga, foi possível analisar os mapas e avaliar a qualidade dos

interpoladores e das classificações produzidas. As validações pelo Índice Kappa e pela Exatidão Global apresentaram resultados semelhantes quanto à acurácia dos mapas (Tabela 3). No entanto, essas validações não coincidiram, em termos de representações cartográficas, aos resultados obtidos pelos interpoladores avaliados.

Como observado, os mapas obtidos por Análise de Superfície de Tendência não representaram a variabilidade do pH do solo no campo, mas apresentaram um Índice Kappa bom e muito bom e uma Exatidão Global de 77,7% (para 18 e 36 pontos de amostragem) e 88,8% (para 9 pontos de amostragem). Isso ocorreu devido ao fato de que as Análises de Superfícies de Tendência apresentaram-se em grandes faixas na reclassificação e não em pequenas áreas com manchas homogêneas. Isso se deu porque este método de interpolação dificilmente passa pelos pontos amostrais, não considerando todos os dados

Figura 6. Reclassificação - TREND com 9, 18 e 36 pontos amostrais respectivamente

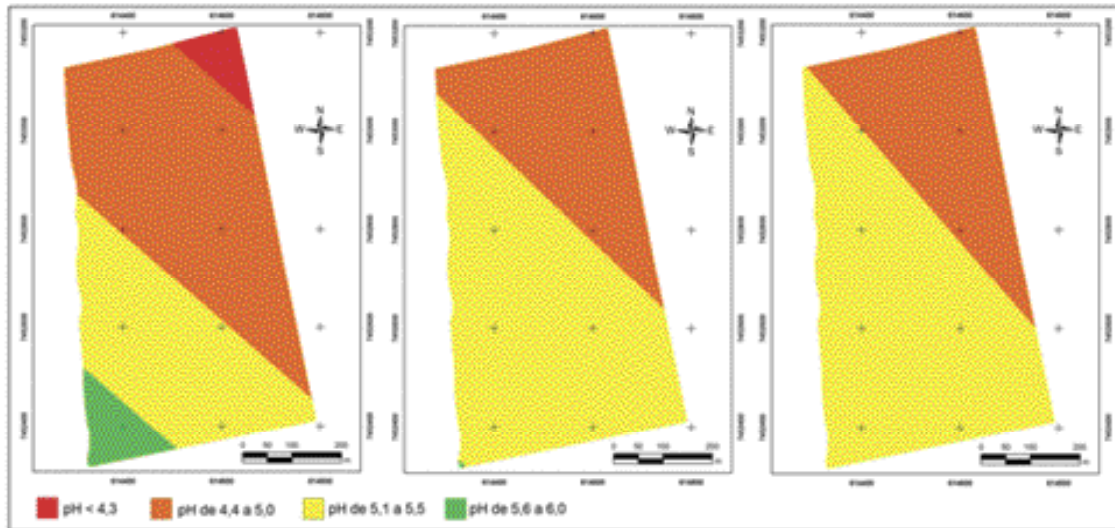
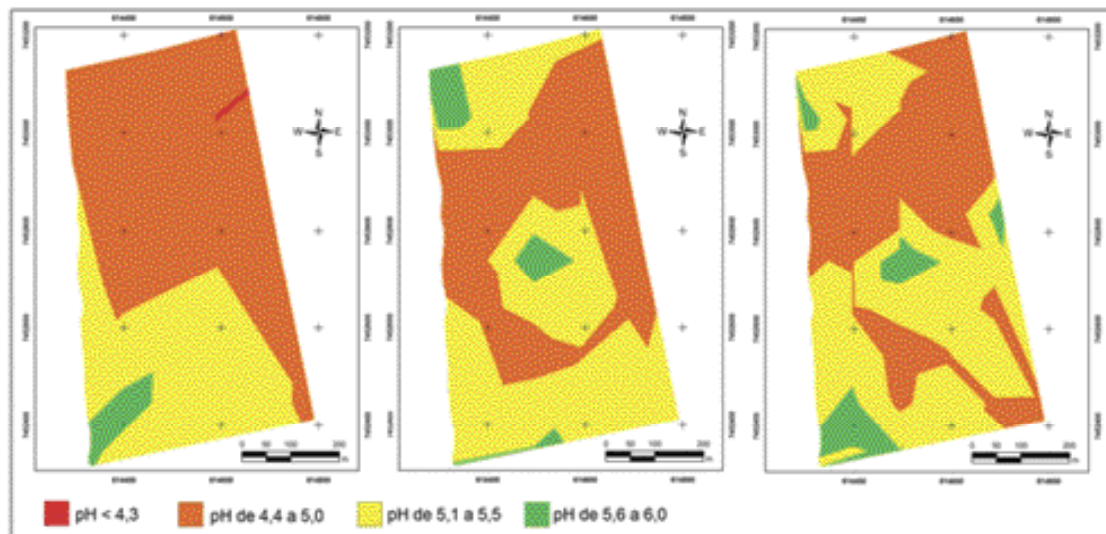


Figura 7. Reclassificação- TIN com 9, 18 e 36 pontos amostrais respectivamente



de campo ao resultado interpolado. Dessa forma, ao utilizar a estatística Kappa, estes resultados da interpolação coincidiram com os dados da verdade de campo e, conseqüentemente, a matriz de confusão avaliou essa tendência homogênea na área, validando os acertos pelo método da Exatidão Global.

Já os mapas de 18 e 36 pontos amostrais de TIN e o de KRIGAGEM foram satisfatórios em relação aos resultados espacializados, mas apresentaram Kappa razoável e Exatidão Global de 66,6%. Nestes

casos, a variabilidade do pH do solo foi representada de forma fiel por ambos os interpoladores, mas não coincidiu com os dados da verdade de campo porque a probabilidade desses dados verdadeiros coincidir com os dados interpolados é menor, devido a maior precisão do TIN e da KRIGAGEM em relação à TREND.

Após tais análises, observou-se que a avaliação estatística dos interpoladores não demonstrou resultados satisfatórios da qualidade

Figura 8. Reclassificação -Krigagem com 36 pontos amostrais

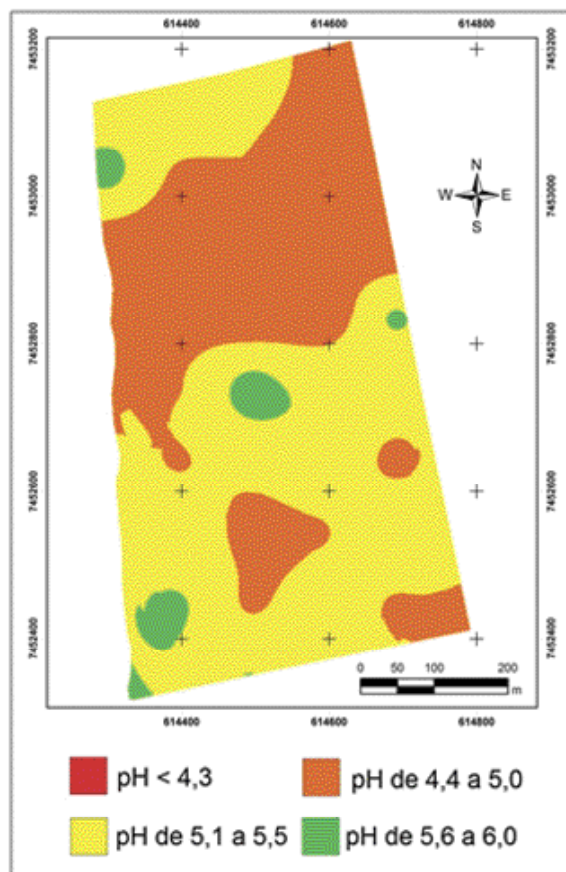


Tabela 3. Resultado do Índice Kappa e Exatidão Global

		Erro (%)	Kappa	Concordância	Exatidão Global (%)
9	TREND	0,1111	0,8000	Muito Bom	88,88
	TIN	0,2222	0,5909	Bom	77,77
18	TREND	0,2222	0,5714	Bom	77,77
	TIN	0,3333	0,3721	Razoável	66,66
36	TREND	0,2222	0,5714	Bom	77,77
	TIN	0,3333	0,4000	Razoável	66,66
	KRIGAGEM	0,3333	0,4000	Razoável	66,66

das classificações e interpolações realizadas, uma vez que os resultados obtidos apontam divergências entre os índices extraídos da matriz de confusão e a análise visual das interpolações espaciais. Neste caso, provavelmente seja necessário aumentar o número de amostras para o cálculo do índice Kappa e da Exatidão Global, para que a análise estatística

da acurácia dos interpoladores seja melhor avaliada.

No entanto, alguns resultados das representações cartográficas das interpolações coincidiram com a verdade de campo, validando que estes mapas se adequaram aos resultados. Isto é observado em determinadas regiões interpoladas por TIN, onde os vértices dos triângulos representaram

os pontos amostrais, e os lados destes triângulos representaram linearmente uma tendência gradativa (média) entre esses valores, o que demonstra que o método não altera os valores originais das amostras.

Por isso, recomenda-se usar o método que fornecer a resposta mais coerente com a verdade de campo, isto é, aquele que representar a variabilidade do pH do solo no campo, obtido através da análise dos produtos cartográficos. Neste caso, por mais relevantes que sejam os recursos geoestatísticos para análise da variabilidade espacial, das características físicas e químicas do solo, o que melhor satisfaz os resultados, propostos por esta pesquisa, foram as Redes Irregulares Triangulares.

Desta forma, a representação TIN pode ser considerada um modelo com potencial para ser utilizada em trabalhos de mapeamento para agricultura de precisão, voltada ao atendimento de agricultores familiares, uma vez que é rápido de ser processado e fácil de ser compreendido. O modelo TIN também demonstrou que não necessita de grande quantidade de dados, o que diminui os custos da elaboração dos mapas. Vale ressaltar que a partir das observações deste trabalho não se pode afirmar que exista um método melhor que o outro, no que se refere à comparação entre KRIGAGEM e TIN. Observa-se que cada um se ajusta melhor a cada situação específica. Porém, afirma-se que o método TIN é mais simples de ser executado e compreendido, e por isso ser utilizado por profissionais da área agropecuária sem conhecimentos aprofundados de tratamentos geoestatísticos para fazer as operações de mapeamento. Esta observação concorda com as feitas por PIROLI e SANTAROSA (2013) onde os autores observaram que os mapas elaborados a partir de análises feitas em propriedades facilitam as atividades de planejamento e orientam os proprietários sobre as condições produtivas de suas áreas.

Conclusão

A partir desta pesquisa, foi possível determinar as diferenças entre os usos dos interpoladores para análise do pH do solo e definir a espacialização das amostras que melhor atendeu a esta proposta. A Análise de Superfície de Tendência demonstrou-se pouco eficaz e por conta disso, não é recomendada para ser usada como um interpolador para estudo dos atributos do solo, uma vez que estima valores acima e

abaixo dos amostrados e, dependendo da quantidade de pontos, extrapola os limites da área amostrada.

As Redes Irregulares Triangulares mostraram uma melhor representação da variabilidade de pH do solo, uma vez que foram fiéis aos dados originais das amostras, preservando os valores de pH do solo obtidos. Isso ocorreu em todas as distribuições aqui propostas, pois a triangulação manteve os valores de cada ponto estimado.

A KRIGAGEM demonstrou que necessita de um número maior de amostras, o que pode encarecer o levantamento. Além disso, exige conhecimento mais aprofundado de técnicas de geoestatística o que pode dificultar a aplicação na agricultura familiar. Observou-se ainda que quanto mais pontos são utilizados na análise, mais confiável é o resultado da espacialização cartográfica, desde que haja dependência espacial.

Em relação às análises de solo da propriedade estudada, os valores do pH variaram bastante, apresentando manchas de solo com acidez alta e média. Como na propriedade nunca foram adotadas práticas de manejo de correção do solo, pode-se avaliar que estes solos não se encontram em situação crítica, embora necessitem de cuidados para melhorarem os resultados das culturas nele plantadas.

Pode-se apontar ainda a importância dessa pesquisa para a elaboração de mapas em propriedades que se enquadram na categoria de agricultura familiar, uma vez que oferece um método simples, barato e facilmente compreensível para não especialistas. As tecnologias da agricultura de precisão ainda estão distantes da realidade da maior parte do campo brasileiro. Contudo, metodologias e tecnologias devem ser adaptadas e barateadas para que pequenos agricultores possam melhorar a qualidade dos seus solos, da sua produção, a sua renda e conseqüentemente o aumento da oferta de alimentos, uma vez que são estes pequenos agricultores que abastecem o mercado interno.

Agradecimentos

Este estudo está vinculado ao projeto de pesquisa "Análise de Interpoladores para a elaboração de mapas de pH para a Agricultura Familiar" financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), a quem os autores agradecem pela bolsa de iniciação científica concedida à autora (processo nº 2012/05452-4).

Referências

- BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. Principles of Geographical Information Systems. New York: Oxford University Press Inc., 2004. 333 p.
- CARVALHO, J. R. P.; VIEIRA, S. R.; MORAN, R. C. C. P. Como Avaliar Similaridades entre Mapas de Produtividade. Relatório Técnico. Campinas: Embrapa, 2001. 24 p. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/7111/1/RELATORIOTECNICO10int.pdf>>. Acesso em: 17 jan. 2013.
- COELHO, A. M. Agricultura de Precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: CURI, N. et al. (Org.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003, v. 3, p. 249-90.
- FAZAN, A. J.; DAL POZ, A. P.; OLIVEIRA, F. F. Separação de telhados de edifícios a partir de TIN/laser e análise de componentes conexos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 3., 2010, Recife. Anais Eletrônicos... Recife: UFPE, 2010. p.1-7. Disponível em: <http://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIII/IIISIMGEO_CD/artigos/Todos_Artigos/A_183.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2013.
- FIGUEIREDO, G. C.; VIEIRA, C. A. O. Estudo do comportamento dos índices de Exatidão Global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. Anais Eletrônicos... Florianópolis: INPE, 2007. p. 5755-62. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.13.17.35/doc/5755-5762.pdf>>. Acesso em: 30 maio. 2013.
- KIEHL, E. J. Manual de Edafologia: relações solo - planta. São Paulo: CERES, 1979, 262p.
- LANDIM, P. M. B. Webinar: Geoestatística Aplicada em Ciências Agrárias. MundoGEO, 2013. Disponível em: <<http://mundogeo.com/webinar/sgea3/arquivos.html>>. Acesso em: 19 maio 2013.
- OLIVEIRA, G.S. R. Avaliação da qualidade de resultados obtidos através dos métodos de classificação supervisionada - máxima verossimilhança e redes neurais. 35f. Monografia (Pós-Graduação em Geoprocessamento) - Departamento de Cartografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2003.
- PIROLI, E.L., SANTAROSA, L.V. Mapas de aplicação localizada de insumos e técnicas para agricultura familiar. Revista Ciência em Extensão. v.9, n.1, p.135-149, 2013.
- RAIJ, B. et al. (Org.). Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônomo: 2001. 285p.
- RAIJ, B. et al. (Org.). Boletim Técnico 100: Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. 285p.
- SILVA, A. R. et al. Extração da cobertura vegetal de áreas urbanas utilizando imagens do satélite GeoEye-1. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. Anais Eletrônicos... São José dos Campos: INPE, 2011. p.1576-83. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1432.pdf>>. Acesso em: 30 maio. 2013.