

VARIABILIDADE ESPACIAL DO pH EM ÁREA COM CAFEEIRO FERTIRRIGADO E SISTEMA TRADICIONAL

Fátima Conceição Rezende¹, Victor Barbieri Ribeiro², Leo Fernandes Ávila³,
Manoel Alves de Faria⁴, Elio Lemos da Silva⁵

(Recebido: 20 de dezembro de 2010; aceito 6 de setembro de 2011)

RESUMO: Objetivou-se, no trabalho, caracterizar o pH no perfil do solo em função da adubação química aplicada via fertirrigação e, manualmente, sob a copa da planta. A cultura foi irrigada por gotejamento. A irrigação foi realizada quando a tensão média observada em sensores “Watermark”, instalados a 0,10 m de profundidade atingia 21 kPa. Calculou-se a lâmina com base na média de leitura do potencial de água no solo observada nas profundidades de 0,10 e 0,30 m. Sob a copa das plantas, na região do bulbo molhado, foram instalados 25 extratores de solução do solo a 0,10; 0,20; 0,30; 0,40 e 0,50 m de profundidade e distantes da planta de 0,10; 0,20; 0,30, 0,40 e 0,50 m. A amostragem foi realizada em plantas irrigadas e não irrigadas no período de adubação (outubro a março), durante dois anos (2008/2009 e 2009/2010). As avaliações de pH foram realizadas a partir de 24 horas após cada aplicação de adubo até, pelo menos, sessenta dias após o último parcelamento. Os modelos de semi-variograma exponencial e esférico foram ajustados pelos métodos dos mínimos quadrados ponderados e máxima verossimilhança. O mapeamento foi feito utilizando-se o interpolador geoestatístico. Os resultados mostraram que, para as plantas irrigadas e não irrigadas, o pH da solução do solo apresentou dependência espacial. As fontes e doses de adubo utilizado promoveram a alcalinização da solução do solo, no período avaliado. O pH da solução do solo tende a ser menor na área em que a aplicação dos fertilizante foi realizada via fertirrigação.

Termos para indexação: Gotejamento, pH, *Coffea arabica* L.; nutrientes, geoestatística.

SPATIAL VARIABILITY OF pH IN COFFEE PLANTS UNDER FERTIGATION AND TRADITIONAL SYSTEM OF FERTILIZING

ABSTRACT: The objective of this study was to characterize the soil pH in function of chemical fertilizing through irrigation, and manually, under the canopy. The crop was drip irrigated during the whole year when water soil tension was 21 kPa. The depth of water was defined based on the average reading of soil water potential at 0.10 and 0.30m depths. Soil solution extractors were installed at depths of 0.10, 0.20, 0.30, 0.40 and 0.50 m and distanced from the plant at 0.10, 0.20, 0.30, 0.40 and 0.50 m. The soil pH was monitored in the fertilizing period for 2 seasons (2008/2009 and 2009/2010). Evaluation was carried out 24 hours after each application of fertilizer until at least sixty days after the last parceling. Exponential and spherical semi-variogram models were adjusted applying minimum weighted square and maximum likelihood methodologies, testing the adherence based on spatial dependence degree and cross validation. The mapping was done based on the best adjusted semi-variogram, using kriging. The results showed that soil solution pH present spatial dependence in the area sampled. The sources and rates of fertilizer used promoted the alkalization of the solution. Soil solution pH tends to be lower in the area with fertigation.

Index terms: Drip irrigation, pH, *coffea arabica* L., nutrients, geostatistics.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor, exportador e o segundo maior consumidor mundial de café e, em 2009, a produção nacional foi de 39,47 milhões de sacas de 60 kg de café beneficiado, sendo que

Minas Gerais contribuiu com 19,88 milhões de sacas (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2010). Nos últimos anos, a área com cafeicultura irrigada cresceu muito devido, principalmente, à expansão da área cultivada para região do cerrado, caracterizada como uma

¹Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Engenharia/DEG - Cx. P. 3037 - 37.200-000 - Lavras - MG - frezende@deg.ufla.br

²Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Engenharia/DEG - Cx. P. 3037 - 37.200-000 - Lavras - MG - vbarbieri1@hotmail.com

³Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Engenharia/DEG - Cx. P. 3037 - 37.200-000 - Lavras - MG - avilalf@gmail.com

⁴Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Engenharia/DEG - Cx. P. 3037 - 37.200-000 - Lavras - MG - mafaria@deg.ufla.br

⁵Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Engenharia/DEG - Cx. P. 3037 - 37.200-000 - Lavras - MG - elemos@deg.ufla.br

região marginal à exploração da cultura, em função das condições pluviométricas. Mesmo nas regiões em que o déficit hídrico não é um fator limitante à exploração da cultura, a ocorrência de veranicos em certas fases do ciclo fenológico pode comprometer a produtividade. Assim, a adoção da irrigação pode minimizar os efeitos negativos do déficit hídrico e permitir a aplicação de produtos químicos via água de irrigação. Uma grande parte das lavouras irrigadas utiliza o sistema de irrigação localizada e adubação via água de irrigação (fertirrigação). Uma das vantagens da fertirrigação é a possibilidade de se fazer aplicações frequentes de pequenas quantidades de nutrientes, mantendo-os ao alcance das raízes.

Além da dose utilizada, a aplicação dos fertilizantes via água é mais eficiente que a adubação convencional, porém a aplicação via água de irrigação pode influenciar os atributos químicos do solo, principalmente aqueles com baixos teores de argila e matéria orgânica (SOBRAL; NOGUEIRA, 2008). Teixeira et al. (2005) avaliaram o efeito de N em coqueiro-anão e verificaram que doses superiores a 240 kg ha⁻¹ ano⁻¹ causaram excessiva acidificação do solo. Segundo Duenhas et al. (2002), o modo de aplicação de fertilizantes e a irrigação interfere no comportamento do pH do solo e que a uréia e o MAP reagem de forma ácida no solo. Verificaram também que a acidificação do solo foi maior nos tratamentos que receberam maior dose de NPK, via fertirrigação. De acordo com Souza et al. (2006), nas condições de solos tropicais a acidificação do solo é um ponto de estrangulamento, pois poderá comprometer a sustentabilidade do sistema de fertirrigação. A disponibilização de nutrientes à planta é influenciada, tanto pela acidez quanto pela alcalinidade do solo, sendo importante conhecer e controlar esses atributos do solo. Dadalto e Fullin (2001 citados por SILVA; LIMA; OLIVEIRA, 2010), relatam, citando, que a faixa ideal de acidez ativa (pH) para o café situa-se entre 5,5 e 6,5. De acordo com Bergez e Nollet (2003), a produtividade de culturas irrigadas é influenciada pela combinação da variabilidade espacial do solo e da aplicação de fertilizantes e de água.

Para caracterizar os padrões espaciais dos atributos do solo, a geoestatística é considerada uma ferramenta promissora de acordo com Brocca et al.

(2007) e Zhu e Shao (2008), possibilitando o mapeamento desses atributos com relativo grau de precisão, permitindo o estudo e inferências ao comportamento dessas variáveis. Assim, o mapeamento dos atributos do solo, tais como o pH da solução do solo, a condutividade elétrica da solução do solo ou do extrato saturado, entre outros, permite identificar áreas com problemas, subsidiando um manejo diferenciado que promova aumento de produtividade, economia e maior eficiência de aplicação dos insumos. Souza et al. (2007), avaliaram a necessidade de aplicação de calcário e fósforo baseado no comportamento espacial de atributos químicos do solo e concluíram que o uso da técnica de geoestatística possibilitou uma precisa prescrição dos atributos do solo, o que permitiu a definição de zonas específicas de manejo.

Considerando que a forma de aplicação dos fertilizantes pode alterar os atributos químicos do solo, objetivou-se, neste trabalho caracterizar o efeito da fertirrigação e da adubação convencional na variabilidade do pH da solução do solo, na região de aplicação do fertilizante, em área cultivada com cafeeiro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em área experimental do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras, Minas Gerais, localizada a 21° 45' S de latitude, 45° 00' W de longitude a uma altitude média de 918 m e ocupando uma área de, aproximadamente, 0,24 ha. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Escuro distrófico. O clima da área é do tipo Cwa, de acordo com a classificação de Köppen. A temperatura média do mês mais quente é de 22,8 °C, a do mês mais frio é de 17,1 °C, e a média anual de 20,4 °C (DANTAS et al., 2007).

Para a condução do experimento foi utilizada uma lavoura de café (*Coffea arabica* L.), implantada em março de 1997, que passou por um processo de recepção sem pulmão em outubro de 2004. A cultivar utilizada foi Acaíá Cerrado (MG-1474), com um espaçamento entre linha de 3,0 m e entre plantas de 0,6 m (semiadensado). Todas as plantas foram irrigadas a partir do plantio, com exceção da testemunha e das bordaduras.

O sistema de irrigação utilizado na área foi o gotejamento, com acionamento manual, usando-se gotejadores autocompensantes, com vazão nominal de 4 L h^{-1} e pressão de serviço de 300 kPa. O espaçamento entre gotejadores foi de 0,40 m, formando uma faixa molhada contínua ao longo da linha de plantio.

O momento de irrigar e a quantidade de água repostas para as plantas do cafeeiro foram estabelecidos a partir da curva característica de retenção de água do solo, para as camadas de 0-0,2 m e de 0,2-0,4 m. Como determinante do momento de irrigação foi considerada a média das leituras do potencial de água do solo nos sensores "Watermark", instalados a 0,1 m de profundidade. No caso da planta estudada, a irrigação foi realizada quando a média do potencial matricial de água no solo atingiu o valor de 21 kPa.

A quantidade de água repostas no tratamento teve como base as médias das leituras do potencial de água do solo nos sensores posicionados a 0,1 e a 0,3 m de profundidade, representando, respectivamente, as camadas de 0-0,2 m e 0,2-0,4 m. Por meio dessas leituras foram calculadas as lâminas de reposição de água, com seus respectivos volumes e tempos de irrigação.

Na área irrigada, o cafeeiro foi adubado via água de irrigação, utilizando-se bomba para injetar a solução na linha de irrigação, e na área não irrigada, o cafeeiro foi adubado manualmente, sob a copa da planta, entre os meses de outubro e março, nas duas formas de adubação, totalizando quatro parcelamentos. As doses e fontes de fertilizantes aplicados e o parcelamento foram iguais para o tratamento irrigado e não irrigado, sendo a quantidade determinada por meio de análise de fertilidade do solo e previsão de safra futura. As doses de fertilizantes, utilizadas no primeiro ciclo de adubação (2008/2009), foram 350 kg ha^{-1} de N, 260 kg ha^{-1} de K_2O e 20 kg ha^{-1} de P_2O_5 e, no segundo ciclo de adubação (2009/2010), foram 350 kg ha^{-1} de N, 175 kg ha^{-1} de K_2O e 50 kg ha^{-1} de P_2O_5 . As fontes de fertilizantes utilizadas foram uréia, nitrato de potássio e MAP, sendo que o MAP foi aplicado apenas no último parcelamento na dose total recomendada.

Por ocasião da instalação do experimento, foram coletadas, na área experimental, amostras de solo nas profundidades de 0,10; 0,20; 0,30; 0,40 e 0,50 m, para caracterização química e física do solo.

A análise das características químicas e físicas do solo foi realizada no Laboratório de Análise do Solo do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA). A condutividade hidráulica do solo saturado (K_{sat}) foi determinada no Laboratório de Relação Água-Solo-Planta do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, conforme metodologia proposta pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (1997). A curva característica de água no solo foi determinada utilizando amostras deformadas, submetidas a tensões crescentes (0,02; 0,04; 0,06; 0,1; 0,33; 1; 5 atm), medindo-se a umidade relacionada a cada tensão aplicada. Com os dados obtidos foram construídas as curvas de retenção de água no solo, ajustando o modelo de van Genuchten, utilizando-se o software "Soil Water Retention Curve", desenvolvido por Dourado Neto et al. (2000). Os dados da caracterização física do solo estão na Tabela 1.

As medições foram feitas na área de adubação de duas plantas de cafeeiro, sendo selecionada uma planta em uma parcela irrigada e outra em uma parcela não irrigada, porém na mesma linha de plantio. Em cada planta foram instalados extratores de solução do solo, formando um "grid" de amostragem sob a copa das plantas, com pontos amostrados nas distâncias, horizontal e vertical, de 0,10; 0,20; 0,30; 0,40 e 0,50 m, totalizando 25 pontos de amostragem em cada planta. O monitoramento do pH da solução do solo foi realizado no ciclo de adubação 1 (2008/2009) e no ciclo de adubação 2 (2009/2010). As amostragens para esse monitoramento foram feitas no intervalo entre as aplicações (parcelamento), sendo a primeira realizada 24 horas após e a última, no mínimo sessenta dias após o último parcelamento. Nos ciclos de adubação 1 e 2, as amostras que foram coletadas 24 horas após a adubação de cada parcelamento foram denominadas "dentro do ciclo" e as demais de "fora do ciclo". Fora do primeiro ciclo de adubação, foram realizadas 12 amostragens entre os 4 parcelamentos e fora do segundo ciclo de adubação foram realizadas 15 coletas entre os 4 parcelamentos de adubação.

Durante a aplicação do adubo via água de irrigação foi coletada amostra da água antes de injetar o fertilizante, no início, no meio e no final da injeção do fertilizante e no final da irrigação para medir o pH.

TABELA 1 - Densidade de partículas solo (D_r), densidade do solo (D_s), porosidade total (P) e umidade retida na capacidade de campo (C_c), para o Latossolo Vermelho Distrófico da área experimental.

Camada (m)	D_r ($g\ cm^{-3}$)	D_s ($g\ cm^{-3}$)	P (%)	C_c ($cm^3\ cm^{-3}$)
0,0 - 0,10	2,88	1,24	56,91	0,3830
0,10 - 0,20	2,90	1,39	52,08	0,3908
0,20 - 0,30	2,93	1,22	58,25	0,3805
0,30 - 0,40	2,95	1,24	57,98	0,3740
0,40 - 0,50	2,94	1,22	58,50	0,4019

O pH foi medido usando um peagâmetro de bancada. Na planta não irrigada, quando não era possível extrair a solução, devido à baixa umidade do solo, foram coletadas amostras de solo, em pontos semelhantes ao da planta monitorada, determinando-se o pH a partir do extrato obtido na pasta de saturação (EMBRAPA, 1997).

Com os dados de pH obtidos em cada um dos quatro parcelamentos de adubação, para os 25 pontos do "grid" de amostragem, foi calculada a média dos dados obtidos 24 horas após a adubação. O mesmo procedimento foi realizado para os dados de pH obtidos no intervalo entre a aplicação de adubo.

De posse desses dados, foi realizada uma análise exploratória com intuito de observar o comportamento da distribuição dos dados. Essa etapa consistiu na verificação de tendência dos dados e sua remoção quando constatada por meio de gráficos de tendência, na identificação e eliminação de dados discrepantes ("outliers") através de gráficos "Box plot" e, na avaliação da normalidade da diferença entre pares de pontos, por meio de histogramas de frequências (AVILA; MELLO; SILVA, 2010; MELLO, 2004).

Posteriormente, foi testado o ajuste dos modelos de semivariograma exponencial e esférico, pelo método dos Mínimos Quadrados Ponderados (MQP) e Máxima Verossimilhança (MV), visando selecionar o que produziu melhor ajuste e, portanto, melhor caracterização da continuidade espacial. O critério para selecionar o melhor modelo e método ajustado, foi o que apresentasse o maior grau de dependência espacial (GD). Nas situações em que os modelos apresentaram GD idênticos ou muito próximos, a escolha do melhor modelo foi determinada pelo erro médio reduzido (ER) e desvio padrão do erro reduzido (SER), sendo selecionado aquele em o

ER fosse mais próximo de zero e SER mais próximo de um e a validação cruzada, ambos segundo Mello et al. (2005).

Em toda a análise exploratória dos dados foi utilizado o software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2005), com o pacote R (RIBEIRO JÚNIOR; DIGGLE, 2001). Na etapa de geração dos mapas de pH, trabalhou-se com uma extensão do ArcMap, do software ArcGIS 9.2 (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE - ESRI, 2004), adotando os modelos dos semivariogramas que apresentaram melhor ajuste, considerando-se como ciclo de adubação a média das amostragens realizadas 24 horas após a adubação e fora do ciclo a média das demais amostragens.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, pode-se verificar que os dados de condutividade hidráulica do solo em todas as camadas indicam um bom fluxo de solutos no solo, contribuindo para uma boa drenagem interna. De acordo com Souza e Alves (2003), o Latossolo Vermelho Escuro Distrófico apresenta alta condutividade hidráulica devido as suas características estruturais, notadamente, estrutura granular, e que valores superiores a $0,01\ cm\ min^{-1}$ indicam uma boa condição para lixiviação de solutos.

Na Tabela 3 estão relacionados os dados relativos ao pH da água de irrigação e da solução antes, durante e após a injeção do fertilizante na água, coletado em um gotejador próximo à planta monitorada, durante o processo de fertirrigação.

O pH da água também aumenta a partir do momento que o fertilizante é injetado na linha de irrigação, e após a aplicação do fertilizante, o valor ainda é maior do que o observado antes de iniciar a injeção de fertilizante. Verifica-se, também, que no segundo ciclo

TABELA 2 – Condutividade hidráulica do solo saturado (Ksat), para o Latossolo Vermelho Escuro Distrófico da área experimental.

Atributos do solo	Camadas no perfil do solo (m)				
	0,00 – 0,10	0,10 – 0,20	0,20 – 0,30	0,30 – 0,40	0,40 -0,50
Ksat (cm min ⁻¹)	0,0378	0,0794	0,0358	0,0142	0,0254

TABELA 3 - Dados médios do pH da água de irrigação antes, durante e após o término da fertirrigação no primeiro e segundo ciclo de adubação do cafeeiro.

Ciclos de adubação	pH da água				
	Água pura	Início da fertirrigação	Meio da fertirrigação	Final da fertirrigação	Água após fertirrigação.
primeiro ciclo	7,47	7,77	8,24	8,39	7,71
segundo ciclo	7,57	7,74	7,79	7,76	7,88

de adubação, durante a injeção de fertilizante, o pH foi menor do que o observado no primeiro ciclo de adubação o que pode ser devido, provavelmente, à dose de K₂O, que no primeiro ciclo de adubação foi maior. Ayers e Westcot (1991) relatam que o pH é um índice que caracteriza o grau de acidez ou alcalinidade de um ambiente, e no caso das águas de irrigação, o pH normal é entre 6,5 e 8,4. As águas com pH anormal podem criar desequilíbrio de nutrição ou conter íons tóxicos. As águas com pH normal causam poucos problemas no solo ou planta, porém podem corroer os componentes metálicos dos sistemas de irrigação. Assim, os teores de pH observados neste experimento estão de acordo com limites considerados normais.

Os resultados do grau de dependência espacial, validação cruzada e os parâmetros dos semivariogramas que apresentaram melhores ajustes pelas metodologias aplicadas para os dados de pH foram analisados e estão apresentados na Tabela 4. Para esse atributo o ajuste dos semivariogramas experimentais e o modelo que apresentou o melhor desempenho foi o esférico, representando 75% dos casos analisados. Portanto esse foi o modelo que apresentou maior eficiência para estudo sobre a continuidade espacial do pH, na solução do solo. Resultados semelhantes foram obtidos por Silva et al. (2010), avaliando os atributos químicos do solo em área cultivada com café arábica, sob manejo orgânico e convencional. Na mesma Tabela pode-se verificar que o método de ajuste que apresentou os

melhores resultados foi o da máxima verossimilhança (MV), com ocorrência em 75% das situações. O efeito pepita para todas as situações foi nulo indicando que o erro experimental foi nulo e que não existe variação significativa a distâncias menores que a amostrada. Assim, o intervalo de amostragem foi adequado para detectar a estrutura de continuidade espacial subjacente ao fenômeno em estudo.

Verifica-se que há um forte grau de dependência espacial uma vez que o GD para todas as situações foi de 100%, indicando que o interpolador estatístico irá gerar bons resultados apresentando mapas representativos e sem tendência da distribuição espacial do pH da solução na área estudada. Verifica-se, também, que os valores do alcance teórico médio foram bem variados com amplitude de variação de 3,0 a 10,47 cm.

O erro médio (EM) e a tendência do estimador (TE) foram calculados para os modelos de semivariograma que melhor se ajustaram aos dados de pH da solução do solo e estão apresentados na Tabela 5. Para o modelo esférico, que apresentou a maior ocorrência para o pH da solução do solo, o valor médio de EM foi de 1,531% e o valor médio de TE foi 0,037%. Como o valor de TE > 0% o modelo esférico aplicado ao mapeamento por krigagem tenderá a superestimar os valores observados de pH da solução do solo em 0,037%. Entretanto, esse valor médio de TE é muito baixo e o modelo esférico apresenta um elevado desempenho para avaliar a continuidade espacial do pH da solução do solo.

TABELA 4 – Parâmetros dos modelos de semivariograma (EP= efeito pepita, PAT= patamar, ALC= alcance em cm), GD= grau de dependência, ER= erro médio reduzido e SER= desvio padrão do erro reduzido, ajustado para dados de pH da solução do solo.

Tratamento		Modelo	Modelo	Parâmetros			GD	ER	SER
Adub.	Irrig.			EP	PAT	ALC			
A	I	ESF	MQP	0,00	0,041	7,33	100	0,0020	0,8893
	NI	EXP	MV	0,00	0,148	8,13	100	-0,0020	0,8024
B	I	ESF	MV	0,00	0,014	3,00	100	0,000	0,9326
	NI	ESF	MV	0,00	0,011	4,00	100	0,0000	0,9261
C	I	EXP	MV	0,00	0,020	4,06	100	0,0068	0,8553
	NI	ESF	MV	0,00	0,044	10,47	100	-0,0016	0,8638
D	I	ESF	MQP	0,00	0,010	5,00	100	0,000	0,9021
	NI	ESF	MV	0,00	0,009	4,00	100	0,000	0,9181

A= 1º ciclo de adubação; B= Fora do 1º ciclo de adubação; C= 2º ciclo de adubação e D= Fora do 2º ciclo de adubação. I= irrigado e NI= não irrigado

TABELA 5 – Erro médio (EM) e Tendência do estimador (TE), para os modelos que apresentaram o melhor ajuste para o pH da solução do solo.

Tratamentos		Modelo	Método	EM	TE
Adubação	Irrigação				
A	I	ESF	MQP	2,170	0,066
	NI	EXP	MQP	3,492	0,174
B	I	ESF	MV	1,409	0,026
	NI	ESF	MV	1,233	0,021
C	I	EXP	MV	1,409	0,020
	NI	ESF	MV	2,152	0,074
D	I	ESF	MQP	1,133	0,019
	NI	ESF	MV	1,090	0,017

A= 1º ciclo de adubação; B= Fora do 1º ciclo de adubação; C= 2º ciclo de adubação e D= Fora do 2º ciclo de adubação. I= irrigado e NI= não irrigado

O maior valor de EM e TE foram observados para o modelo exponencial, método da máxima verossimilhança, no primeiro ciclo de adubação para a planta não irrigada.

Na Figura 1 está apresentado o mapa de pH da solução do solo na camada de 0 – 0,50 m de profundidade observados na planta irrigada, durante os dois ciclos de adubação e fora dos ciclos de adubação.

No 1º ciclo de adubação (Figura 1A) o pH da solução do solo varia entre 7 e 7,25. Fora do 1º ciclo

de adubação (Figura 1B) o pH da solução aumenta, predominando áreas com valores entre 7,5 e 8,0, que tendem a se concentrar na parte superior do mapa que corresponde à área superior da linha de plantio.

No 2º ciclo de adubação (Figura 1C), o pH da solução varia entre 7 e 7,75 predominando áreas com pH entre 7 e 7,25 e fora do 2º ciclo de adubação o pH da solução aumenta predominando áreas com valores entre 7,5 e 7,62, ocupando o entorno da planta. Verifica-se que houve diferença entre os dois ciclos de adubação, sendo que no 1º ciclo a área com menor

valor de pH é maior do que a área observada no 2º ciclo o que pode ser devido ao pH da água de irrigação que, no segundo ciclo de adubação, apresentou maior valor (Tabela 3) ou do efeito acumulativo da adubação. Fora do ciclo de adubação, verifica-se que no primeiro ciclo o pH da solução tende a ser maior do que no segundo ciclo, apresentando maior área com valor entre 7,75 e 8,0.

Na Figura 2 está apresentado o mapa de pH da solução do solo na camada de 0 – 0,50 m de profundidade observado na planta não irrigada durante os dois ciclos de adubação e fora dos ciclos de adubação. Verifica-se, na Figura 2A, que o valor

de pH, na faixa diagonal que vai do canto superior direito para o canto inferior esquerdo, varia entre 7,25 e 7,75. Já fora do 1º ciclo de adubação (Figura 2B), o valor de pH tende a ser maior no sentido da linha de plantio sendo os maiores valores concentrados na faixa superior e varia de 7,5 a 8,0. Verificam-se que os dados coletados fora do ciclo de adubação apresentam aumento das áreas com maior valor de pH do que dentro do ciclo de adubação, provavelmente devido à condição de umidade do solo, uma vez que após o 3º parcelamento de adubação até a última coleta realizada (118 dias), a precipitação acumulada foi de 88,8 mm.

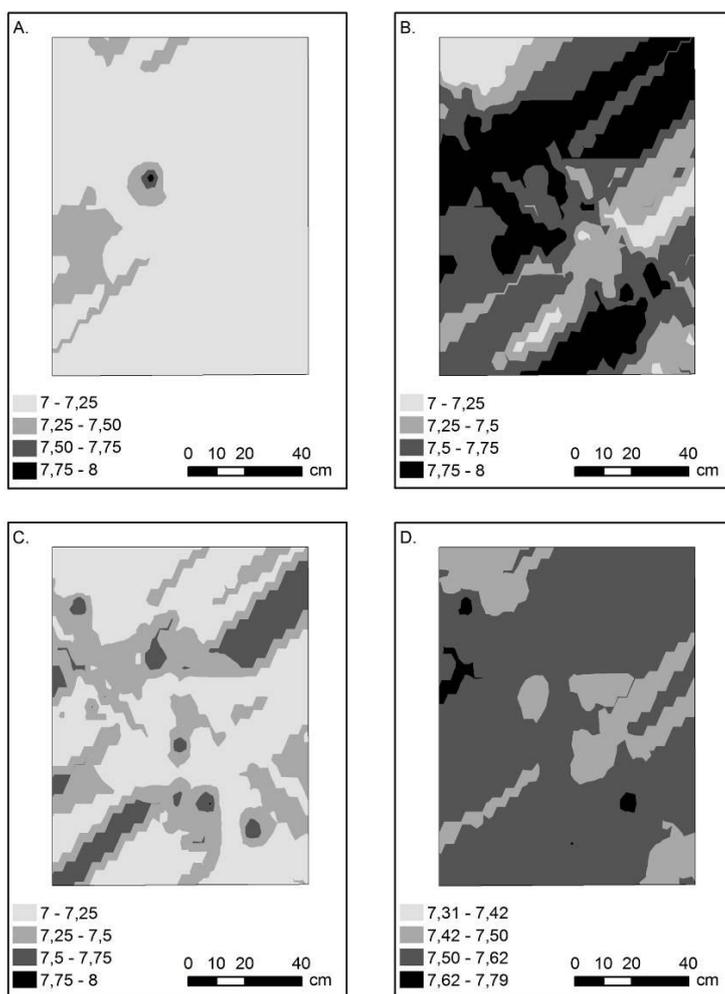


FIGURA 1 – Mapas da distribuição espacial do pH da solução do solo de plantas irrigadas. A, dentro do 1º ciclo de adubação; B, fora do 1º ciclo; C, dentro do 2º ciclo de adubação e D, fora do 2º ciclo de adubação.

Dentro do 2º ciclo de adubação (Figura 2C), observa-se que, na faixa diagonal à linha de plantio, o valor de pH é maior predominando entre 7,25 e 7,5. Fora do 2º ciclo de adubação (Figura 2D) verifica-se que, na parte superior do mapa que corresponde ao lado superior da linha de plantio, o valor de pH varia entre 7,5 e 8,0. Fora do ciclo de adubação o pH da solução foi maior devido, provavelmente, à umidade do solo uma vez que, após o 4º parcelamento da adubação até a última coleta de dados (75 dias), a precipitação registrada foi de 108,9 mm. Pode verificar, também (Figuras 2C e 2D), que a aplicação do adubo ficou concentrada na parte superior da linha de plantio.

Comparando o 1º ciclo de adubação (Figura 2A) com o 2º ciclo (Figura 2C) verifica-se que o valor de pH próximo à planta tende a ser maior no 1º ciclo, provavelmente, devido à influência da precipitação uma vez que, no 2º ciclo, no período em que as avaliações foram realizadas, a precipitação foi maior do que no 1º ciclo. Fora do ciclo de adubação, o maior valor de pH é observado no período equivalente ao 2º ciclo de adubação (Figura 2D) devido, provavelmente, à duração do período de coleta de dados que no 1º ciclo foi realizado até agosto de 2009 e no 2º ciclo até maio de 2010. Segundo Coelho (1994), existem evidências de que, em solos tropicais,

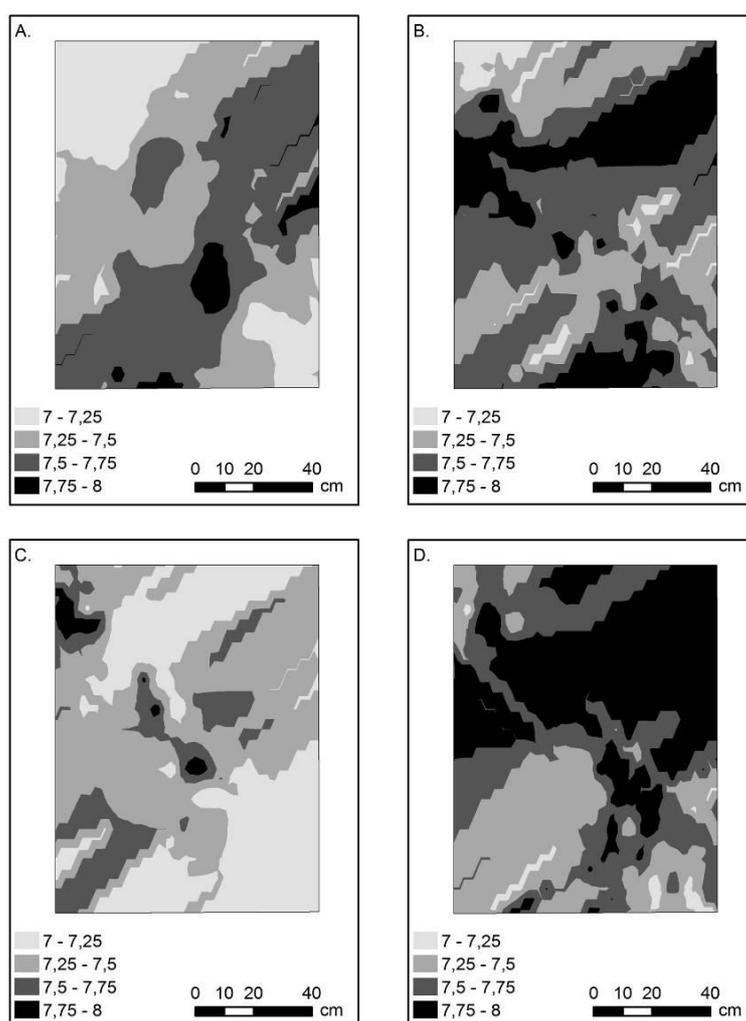


FIGURA 2 – Mapas da distribuição espacial do pH da solução do solo de plantas não irrigadas. A, dentro do 1º ciclo de adubação; B, fora do 1º ciclo; C, dentro do 2º ciclo de adubação e D, fora do 2º ciclo de adubação.

o processo de nitrificação não é tão rápido, prolongando a permanência do nitrogênio na forma amoniacal, o que contribui para a redução das perdas por lixiviação de nitrogênio.

Analisando o pH na área irrigada e não irrigada, nos dois ciclos de adubação, observa-se que a faixa de variação de pH é semelhante (entre 7,0 e 8,0), porém na área não irrigada, próximo à planta, o pH tende a ser maior, indicando que a forma de aplicação do adubo (via água e convencional) pode alterar o pH. Esse resultado está de acordo com o que foi obtido por Souza et al. (2006), que verificaram que, nos tratamentos fertirrigados o valor de pH foi menor, causando maior acidificação do solo nesses tratamentos, pois há maior lixiviação de sais na região do bulbo molhado, em comparação à adubação convencional em que os fertilizantes são aplicados em maior superfície.

Os valores obtidos neste trabalho apresentam um pH alcalino, indicando que as fontes e doses de fertilizantes aplicadas, no período avaliado, não promoveram a acidificação da solução do solo. Esse resultado é compatível ao obtido por Costa (2005), que verificou que a uréia não promoveu a acidificação do solo.

Segundo Lange et al. (2006), a fertilização com uréia, que é uma molécula de reação básica, inicialmente causa um aumento do pH, principalmente ao redor dos grânulos do adubo. Porém, após o processo de nitrificação do amônio, o pH decresce atingindo valores inferiores aos originais. Os resultados da análise de fertilidade do solo realizadas em 2008, 2009 e 2010, antes de iniciar-se o ciclo de adubação do café, apresentou valores de pH de 5,7, 5,4 e 5,2, respectivamente, demonstrando que, após o processo de mineralização e nitrificação, o pH do solo reduz para níveis considerados adequados à cultura.

4 CONCLUSÕES

No período em que as avaliações foram realizadas, verificou-se que:

O pH da solução do solo apresentou dependência espacial, tanto para a aplicação de adubo via fertirrigação como no sistema convencional;

As fontes e doses de adubo utilizadas, aplicados na fertirrigação e de forma convencional, promoveram a alcalinização da solução do solo;

O pH da solução do solo tende a ser menor, quando os nutrientes são aplicados na fertirrigação do que na forma convencional.

5 AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão de recursos para condução do experimento.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AVILA, L. F.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M. Continuidade e distribuição espacial da umidade do solo numa bacia hidrográfica da Serra da Mantiqueira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 12, p. 1257-1266, 2010.

AYERS, R. S.; WESTCOTT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1991. 218 p. (FAO. Estudos de Irrigação e Drenagem, 29).

BERGEZ, J. E.; NOLLEAU, S. Maize grain yield variability between irrigation stands: a theoretical study. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 60, n. 1, p. 43-57, 2003.

BROCCA, L. et al. Soil moisture spatial variability in experimental areas of central Italy. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 333, n. 1, p. 356-373, 2007.

COELHO, A. M. Fertirrigação. In: COSTA, E. F. da; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. (Ed.). **Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação**. Brasília: Embrapa, 1994. cap. 8, p. 201-227.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café: safra 2010: segunda estimativa, maio de 2010**. Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/2_levantamento_2010.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2010.

COSTA, E. L. **Fertirrigação nitrogenada por gotejamento em cafezal e sua influência nas características químicas do solo**. 2005. 100 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

DANTAS, A. A. A. et al. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, nov./dez. 2007.

- DOURADO NETO, D. et al. Software to model soil water retention curves, SWRC, version 3.00. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 191-192, 2000.
- DUENHAS, L. H. et al. Fertirrigação com diferentes doses de NPK e seus efeitos sobre a produção e qualidade de frutos de laranja (*Citrus sinensis* O.) 'Valência'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 214-218, 2002.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **ArcGIS 9: getting started with ArcGIS**. Redlands, 2004. 265 p.
- LANGE, A. et al. Alterações em atributos do solo decorrentes da aplicação de nitrogênio e palha em sistema semeadura direta na cultura de milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 460-467, mar./abr. 2006.
- MELLO, J. M. de. **Geoestatística aplicada ao inventário florestal**. 2004. 110 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2004.
- MELLO, J. M. de et al. Ajuste e seleção de modelos espaciais de semivariograma visando à estimativa volumétrica de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 1, n. 69, p. 25-37, 2005.
- RIBEIRO JÚNIOR, P. J.; DIGGLE, P. P. GeoR: a package for geostatistical analysis. **R-News**, Rockester, v. 1, n. 2, p. 15-18, 2001.
- SILVA, A. F. da et al. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo cultivado com café arábica (*Coffea arabica* L.) sob diferentes manejos. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 2, p. 173-182, 2010.
- SILVA, A. F. da; LIMA, J. S. de S.; OLIVEIRA, R. B. de. Métodos de interpolação para estimar o pH em solo sob dois manejos de café arábica. **Idesia**, Santiago, v. 28, n. 2, p. 61-66, 2010.
- SOBRAL, L. F.; NOGUEIRA, L. C. Influência de nitrogênio e potássio, via fertirrigação, em atributos do solo, níveis críticos foliares e produção do coqueiro-anão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, p. 1675-1682, 2008.
- SOUZA, T. R. de et al. Dinâmica de íons e acidificação do solo nos sistemas de fertirrigação e adubação sólida na citricultura. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 501-505, 2006.
- SOUZA, Z. M. de; ALVES, M. C. Propriedades químicas de um latossolo vermelho distrófico de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 133-139, jan./fev. 2003.
- SOUZA, Z. M. de et al. Influência da variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo na aplicação de insumos para cultura de cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 2, p. 317-377, mar./abr. 2007.
- TEIXEIRA, L. A. J. et al. Adubação com NPK em coqueiro anão-verde (*Cocos nucifera* L.): atributos químicos do solo e nutrição da planta. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 115-119, 2005.
- ZHU, Y.; SHAO, M. Variability and pattern of surface moisture on a small-scale hillslope in Liudaogou catchment on the northern Loess Plateau of China. **Geoderma**, Amsterdam, v. 147, p. 185-191, 2008.