

## PROPOSTA DE FÓRMULA DE ADUBAÇÃO FOSFATADA DO CAFEIEIRO APLICADA EM SISTEMA DE AGRICULTURA DE PRECISÃO

Carlos Diego da Silva<sup>(1)</sup>, Rouverson Pereira da Silva<sup>(2)</sup>, Leonardo Campos de Assis<sup>(3)</sup>, Felipe Santinato<sup>(4)</sup>, Lucas Caixeta Vieira<sup>(5)</sup>

**RESUMO:** As recomendações de adubação do cafeeiro são realizadas em função dos teores do nutriente no solo e/ou a produtividade esperada das plantas. Correlacionando-se os teores do nutriente no solo com a produtividade esperada, em pontos georreferenciados, pode-se criar uma fórmula matemática capaz de gerar a dose do insumo recomendada para cada ponto da lavoura, e com interpolações (AP) gerar as doses para as manchas (setores) obtidas, otimizando a aplicabilidade da aplicação do insumo à taxa variável. O trabalho foi realizado no município de Presidente Olegário, MG, Fazenda Café em área de 50,0 ha, do cultivar Catuaí Vermelho IAC 144, espaçada em 4,0 x 0,5 m, irrigada via pivô central. A área foi dividida em malha uniforme de 50 x 100 m para as avaliações de teores de P no solo e produtividade. Elaborou-se uma fórmula matemática somando-se a recomendação de aplicação de  $P_2O_5$  com base na elevação do teor atual para o adequado, conforme a 5ª aproximação, com a recomendação da extração da planta. Aplicou-se a fórmula cruzando-se os mapas de isolinhas de teores de P no solo e de produtividade, obtendo-se o mapa de aplicação a taxa variável. A fórmula foi capaz de correlacionar os principais fatores que influenciam a determinação da dose correta de fósforo no cafeeiro.

**PALAVRAS-CHAVE:** taxa variável, fósforo, *Coffea arabica* L

### INTRODUÇÃO

Existem diversas formas de definir a dose dos adubos à serem aplicados na lavoura para atender a demanda da planta. Dentre essas formas existem as tabelas de recomendação de adubação dos órgãos oficiais IAC e EPAMIG, e as fórmulas de adubação baseadas na extração e composição química do cafeeiro (CATANI et al., 1967; SANTINATO et al., 2008). A adubação leva em consideração o teor do nutriente no solo, parâmetros que influenciam na dinâmica do nutriente no solo e na planta, como por exemplo, o P remanescente e o teor de argila no solo para ajustar a dose de fósforo por exemplo, além da produtividade esperada (MATIELLO et al., 2015). As ferramentas da Agricultura de Precisão permitem correlacionar o ponto amostrado e suas coordenadas no espaço, com o teor do nutriente no solo e a produtividade esperada. Através dessa correlação é possível gerar uma fórmula capaz de orientar corretamente a dose do insumo aplicado em cada ponto. Isto é possível, pois, existe confiabilidade nas amostragens realizadas Santos et al. (2009), elevada dependência espacial para os parâmetros de fertilidade do solo Silva et al. (2007) e produtividade do cafeeiro Ferraz et al. (2012) além do que, as máquinas utilizadas na adubação de Agricultura de Precisão são eficientes em suas aplicações (BARROS et al., 2015). O presente trabalho propõe fórmulas de adubação que correlacionem teores nutricionais no solo com a produtividade esperada, ficando prontamente disponíveis para serem utilizadas em softwares de Agricultura de Precisão, gerando mapas de aplicação à taxa variável para as lavouras de café.

<sup>(1)</sup> Engenheiro Agrônomo, Rio Paranaíba, MG. carlosdiego\_agro@hotmail.com, (34) 99138-1644.

<sup>(2)</sup> Prof.Dr. Rouverson Pereira da Silva, Universidade Estadual Paulista /UNESP, Jaboticabal, SP.

<sup>(3)</sup> Prof.Dr. Leonardo Campos de Assis, Universidade de Uberaba/UNIUBE, Uberaba, MG.

<sup>(4)</sup> Dr. Felipe Santinato, Diretor Santinato & Santinato Cafés Ltda, Presidente Associação dos Cafeicultores de Patos de Minas, MG (ASSOPATOS)

<sup>(5)</sup> Acadêmico em Agronomia, Universidade Federal de Viçosa/UFV, Rio Paranaíba, MG.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma lavoura de café, do cultivar Catuaí Vermelho IAC 144, plantada no espaçamento 4,0 x 0,5 m (5.000 plantas ha<sup>-1</sup>) em regime de irrigação por Pivô central, no município de Presidente Olegário. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2006), com teores de argila, silte e areia de 344, 113 e 543 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Utilizou-se toda a lavoura plantada no Pivô de café, de 50 ha (500.000 m<sup>2</sup>) com 100 pontos, amostrados a uma distância mínima de 50 x 100 m perfazendo grade de 0,5 ha; para o georreferenciamento do experimento utilizou-se um par de receptores GNSS R8 dotado de posicionamento relativo cinético em tempo real, RTK (Real Time Kinematic). Em cada ponto amostral foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0-20 cm para análise química do solo, determinando-se os teores de fósforo. Foram coletadas cinco amostras de solo em cada ponto, que foram homogeneizadas e compuseram a amostra composta que foi para a análise química. As análises de solo foram realizadas no Laboratório Instituto Brasileiro de Análises (IBRA), em Campinas, SP. Cada ponto amostral foi constituído por dez plantas de café em duas linhas, sendo cinco plantas contínuas em cada lado da linha de plantio. Em cada ponto amostral avaliou-se a produtividade real, por meio da derriça das dez plantas. A produtividade real foi obtida coletando-se e mensurando-se o volume de café derriçado, em recipiente graduado. De posse dos dados volumétricos converteu-se o valor em sacas de café ben. ha<sup>-1</sup> segundo metodologia proposta por Reis et al. (2008). Os dados foram submetidos à análise geoestatística, com o objetivo de se definir o modelo de variabilidade espacial dos atributos do solo envolvidos neste estudo obtendo-se, os semivariogramas e, posteriormente, os mapas de isolinhas, através da krigagem. As fórmulas que foram elaboradas se fundamentaram na associação de conceitos de métodos de adubação. Foram propostas duas fórmulas (a e b) para fósforo, sendo a recomendação a soma de a + b. Primeiramente propôs-se uma fórmula que buscou elevar os teores do nutriente no solo até a classe de fertilidade adequada para a cultura (fórmula a). Posteriormente propôs-se uma fórmula para atender a demanda nutricional da planta, com base na extração e composição química do cafeeiro (b). As Classe de Fertilidade adequadas para a cultura do cafeeiro utilizadas como referência para este trabalho foram baseadas nas classes propostas pela 5ª Aproximação, utilizada no Estado de Minas Gerais (RIBEIRO et al., 1999). O método utilizado para se transformar as unidades dos resultados analíticos do solo e compor um dos fatores da primeira fórmula foi extraído do livro Cultura do Café no Brasil, facilitando o entendimento (IBC, 1985). O fator espaçamento utilizado na fórmula (a) foi extraído do livro Cultura do Café no Brasil, Novo manual de recomendações (MATIELLO et al., 2015). Primeiramente, utilizando-se as Tabela 1 para fósforo definiu-se qual a Classe de fertilidade do solo que a amostra está representando, além de definir qual é o teor equivalente à Classe de fertilidade desejada, pretendida. A Tabela 1 apresenta a definição das Classes de fertilidade do solo para o fósforo (muito baixo, baixo, médio, bom e muito bom) com base nos teores de argila do solo (um dos principais fatores que influi na eficiência de absorção do nutriente na planta) (FARIAS, et al., 2009). Neste método nota-se que dependendo da classe de fertilidade do solo (bom e muito bom) e da produtividade esperada (inferiores a 40,0 sacas de café ben. ha<sup>-1</sup> para a classe bom e em todas as produtividades para a classe muito bom), não há a necessidade de se fazer adubação com o fósforo. Isto por que o teor presente no solo é suficiente para atender a demanda de planta. Dessa forma adotou-se esta questão como regra da fórmula (a) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Classes de fertilidade para manutenção relativa ao P em função do teor de argila e, dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a ser aplicado na cultura do café de acordo com a produtividade

Característica	Classe de fertilidade				
	Muito baixo	Baixo	Médio	Bom	Muito bom
Teor de argila (%)	Teor de P no solo (mg dm <sup>-3</sup> )				
100-60	<1,9	2,0 – 4,0	4,1 – 6,0	6,1 – 9,0	>9,0
60-35	<3,0	3,1 – 6,0	6,1 – 9,0	9,1 – 13,5	>13,5
<b>35-15</b>	<b>&lt;5,0</b>	<b>5,1 – 9,0</b>	<b>9,1 – 15,0</b>	<b>15,1 – 22,5</b>	<b>&gt;22,5</b>
15-0	<7,5	7,5 – 15,0	15,1 – 22,5	22,6 – 33,8	>33,8
Produtividade (sacas de café ben. ha <sup>-1</sup> )	Dose de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )				
< 20	30	20	10	-	-
20 – 30	40	30	20	-	-
30 – 40	50	40	25	-	-
40 – 50	60	50	30	15	-
50 – 60	70	55	35	18	-
>60	80	60	40	20	-

Adaptado de 5ª aproximação. Ribeiro et al., (1999).

O segundo componente da fórmula foi o fator de correção empregado para revelar qual a quantidade do insumo necessária (kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) para elevar o teor do nutriente no solo (mg dm<sup>3</sup>) (Tabela 2).

**Tabela 2.** Principais transformações das unidades dos resultados analíticos do solo

Unidade Elemento	ppm ou mg dm <sup>3</sup>	% ou 100g <sup>-1</sup>	g	mg 100g <sup>-1</sup>	emg 100g <sup>-1</sup> ou meq	kg ha <sup>-1</sup> h = 20 cm d = 1,0
N	100	0,1	10	0,714	200	
NO <sub>3</sub>	442,61	0,044261	44,261	0,714	885,22	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	128,77	0,012877	12,877	0,714	257,54	
P	100	0,01	10	0,967	200	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	228,92	0,022892	22,892	0,967	457,84	
PO <sub>4</sub>	306,29	0,030629	30,629	0,967	612,58	
K	100	0,010	10	0,2558	200	
K <sub>2</sub> O	120,46	0,012046	12,046	0,2558	240,92	
Ca	100	0,010	10	0,499	200	
CaO	139,93	0,013993	13,993	0,499	279,86	
Mg	100	0,010	10	0,8224	200	
MgO	165,79	0,016579	16,579	0,8224	331,58	

Extraído de Cultura do Café no Brasil, IBC (1985).

Como exemplo têm-se que 100 ppm de P é equivalente à 457,84 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Se na recomendação devemos elevar o teor para 200 ppm de P, precisamos adicionar 100 ppm de P ou 457,84 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. O mesmo se faz para nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio. Sendo assim têm-se que para elevar em 1 ppm (mg dm<sup>-3</sup>) no solo de N, P, K, Ca e Mg necessitamos adicionar ao solo 8,85; 2,57; 4,57; 6,12; 2,4; 2,79 e 3,31 kg/ha de NO<sub>3</sub>, N NH<sub>4</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, PO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO e MgO, respectivamente. Dessa forma foi composta

a fórmula (a) da adubação do cafeeiro propostas para elevar os teores de P no solo até a classe de fertilidade desejada (Equação 1).

$$P = [(TP - TA) \cdot 4,57] \cdot \frac{1,6}{E} \quad (1)$$

Em que;

$P$  = dose de fósforo a ser adubado ( $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ )

$TP$  = teor pretendido ( $\text{mg dm}^{-3}$ )

$TA$  = teor atual ( $\text{mg dm}^{-3}$ )

$E$  = espaçamento entre linhas da cultura do café (m)

Aplicando-se tais quantidades de fertilizantes, e em taxa variável, por meio da Agricultura de Precisão, assumiu-se que todo o solo estabilizou-se na Classe de fertilidade adequada e pretendida. No entanto para produzir café não basta o teor estar adequado no solo. A adubação deve fomentar a demanda nutricional para a vegetação e produção da planta. Para tanto, trabalhos de extração e composição química do cafeeiro foram realizados e criaram as devidas fórmulas (CATANI et al., 1967; SANTINATO et al., 2008). A seguir têm-se a fórmula (b) extraída dos autores (Equação 2).

$$Pex = [6 + (0,5 \cdot PE)] \frac{10}{E} \quad (2)$$

Em que;

$Pex$  = Dose de fósforo ( $\text{kg/ha}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ )

$PE$  = Produtividade esperada (sacas de café ben.  $\text{ha}^{-1}$ )

$E$  = Espaçamento entre linha da cultura do café (m)

Dessa forma a recomendação da adubação ficou sendo a soma do produto das duas fórmulas (a + b), com algumas regras determinadas pela produtividade esperada, anteriormente mencionado. As fórmulas, juntamente com suas regras, puderam ser inseridas no software de Agricultura de Precisão gerando os mapas de aplicação de taxa variável (Tabela 3).

**Tabela 3.** Composição da fórmula de adubação do cafeeiro utilizando métodos da Agricultura de Precisão para o fósforo

Nutriente	Fórmula	
	a	B
Fósforo	$P = [(TP - TA) \cdot 4,57] \cdot \frac{1,6}{E}$	$Pex = [6 + (0,5 \cdot PE)] \frac{10}{E}$

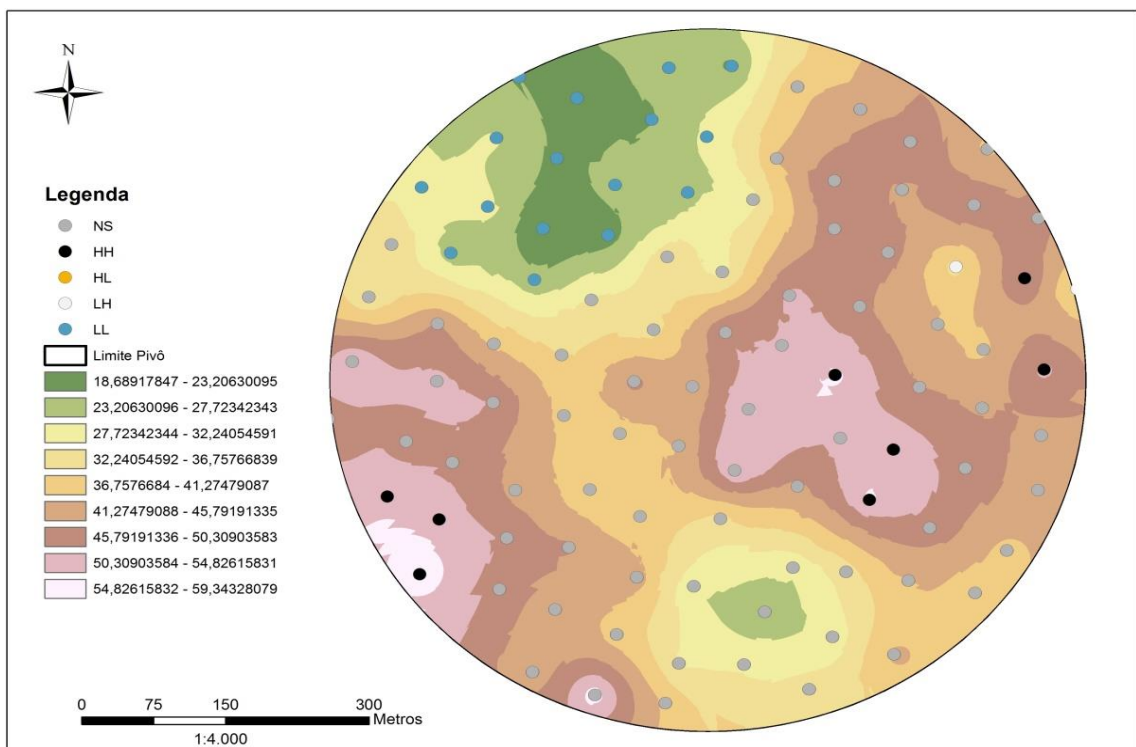
\*Se a classe de fertilidade é "Bom" e  $PE < 40,0$  sacas de café ben.  $\text{ha}^{-1}$ ,  $b=0$ .

\*\*Se a classe de fertilidade é "Muito Bom",  $b=0$ .

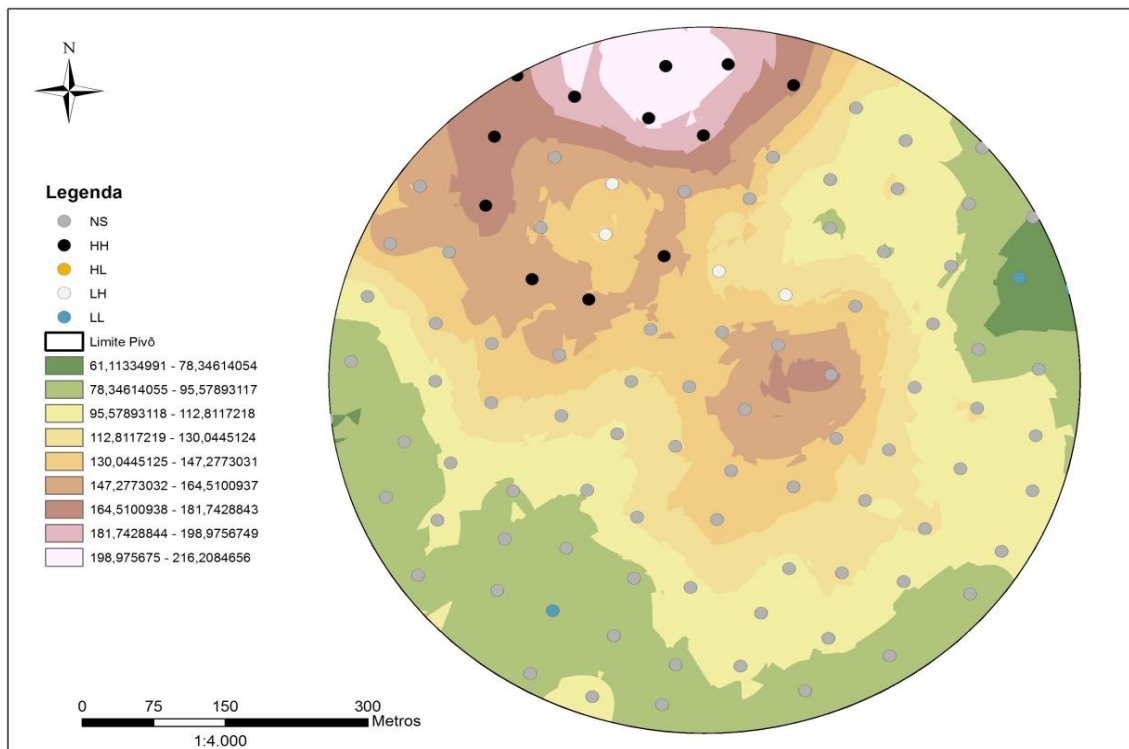
Por fim, aplicou-se a fórmula de adubação utilizando os dados dos parâmetros avaliados em cada ponto (teor de fósforo no solo e produtividade). Para tanto utilizou-se o software ArcGis.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

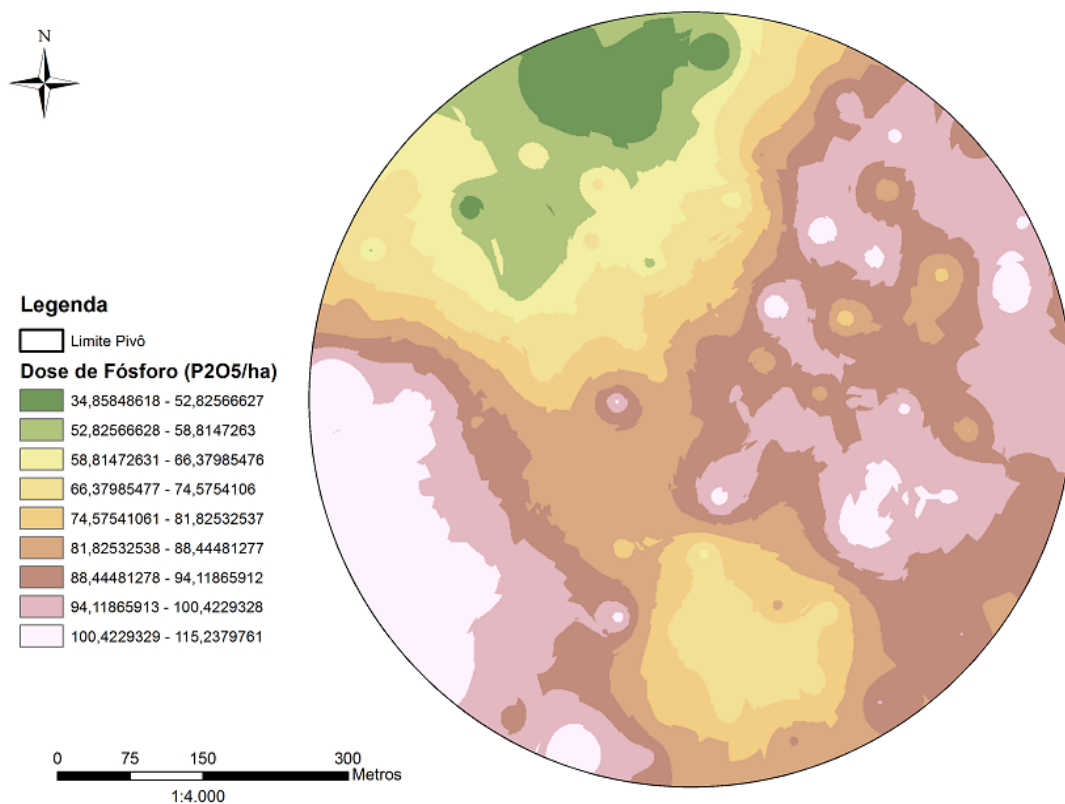
Os mapas de isolinhas exibiram manchas de baixo teor de fósforo no solo em sua parte Sul e elevada na parte norte e noroeste. Com relação ao mapa de produtividade nota-se ao norte e noroeste os menores valores. Os maiores valores se concentraram nas suas partes leste e oeste. Embora não caiba a este trabalho, aparentemente não houve correlação positiva entre teor de fósforo no solo e produtividade do cafeeiro. Quando observa-se o mapa de aplicação de taxa variável de fósforo utilizando a fórmula proposta no presente trabalho nota-se, aparentemente uma forte correlação positiva entre a produtividade e a dose recomendada, do contrário com o teor de P. Ou seja, caso a fórmula tenha levado em consideração apenas a dose necessária para elevar o teor de P no solo à faixa adequada, e não pela extração da cultura, as doses seriam muito menores, possivelmente insuficientes. Tal fato ressalta a importancia da adubação, também com base na extração da cultura, notadamente na cafeicultura moderna que busca elevadas produtividades (Figuras 1, 2 e 3).



**Figura 1.** Mapa de isolinhas para produtividade do cafeeiro Kg ha<sup>-1</sup>.



**Figura 2.** Mapa de distribuição para fósforo no solo de cultivo de cafeeiro  $\text{mg dm}^{-3}$ .



**Figura 3.** Mapa de aplicação de taxa variável de fósforo  $\text{Kg ha}^{-1}$  utilizando fórmula proposta no trabalho

## CONCLUSÕES

1- A adubação do cafeeiro deve levar em consideração o teor do nutriente no solo e também a extração da cultura, correlacionando teores no solo com a produtividade esperada.

2- A fórmula proposta foi capaz de correlacionar os principais fatores que influenciam a determinação da dose correta de fósforo no cafeeiro.

## REFERÊNCIAS

BARROS, M.M.; VOLPATO, C.E.S.; SILVA, F.C.; PALMA, M.A.Z.; SPAGNOLO, R.T. Avaliação de um sistema de aplicação de fertilizantes a taxa variável adaptado à cultura cafeeira. **Coffee Science**, v. 10, n.2, p.223-232, 2015.

CATANI, R.A.; PELLEGRINO, D.; ALCARDE, J.C.; GRANER, C.A.F. Variação na concentração e na quantidade de macro e micronutrientes no fruto do cafeeiro, durante o seu desenvolvimento, **Revista Agricultura**, Piracicaba, 33: p.249-263, 1967.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. 2. 7d. Brasília, DF, 2006 Rio de Janeiro. 412 p.

FARIAS, D.R.; OLIVEIRA, F.H.T.; SANTOS, F.; ARRUDA, J.A.; HOFFMANN, R.B.; NOVAIS, R.F. Fósforo em solos representativos do estado da Paraíba. I - isotermas de adsorção e medidas do fator capacidade de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:623-632, 2009.

FERRAZ, G.A.S.; SILVA, F.M.; COSTA, P.A.N.; SILVA, A.C.; CARVALHO, F.M. Agricultura de precisão no estudo de atributos químicos do solo e da produtividade de lavoura cafeeira. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n.1, p. 59-67, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ. **Cultura do café no Brasil**: manual de recomendações. 5. ed. Rio de Janeiro: IBC-GERCA, 1985. 580 p.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; ALMEIDA, S. R; GARCIA, A. W. G. **Cultura de café no Brasil: Novo Manual de Recomendações**. Rio de Janeiro e Varginha: MAPA/PROCAFÉ, 2015. 585 p.

REIS, T.H.P.; SOARES, T.L.; GUIMARÃES, G.P.T. Informações úteis no planejamento e no gerenciamento da atividade cafeeira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.29, n. 247, p. 112-27,2008.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVEAREZ, V.V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, 1999. p.13-20.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T.; FERNANDES, D. R. **Irrigação na Cultura do Café**. Belo Horizonte: O Lutador, 2.ed., 476p., 2008.

SANTOS, H.C.; OLIVEIRA, F.H.T.; ARRUDA, J.A.; LOPES, A.R.S.; JÚNIOR, R.F.S.; FARIAS, D.R. Amostragem para avaliação da fertilidade do solo em função da variabilidade de suas características químicas, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.849-854, 2009.

SILVA, F.M.; SOUZA, Z.M.; FIGUEIREDO, C.A.P.; JÚNIOR, J.M.; MACHADO, R.V. Variabilidade espacial de atributos químicos e de produtividade da cultura do café. **Ciência Rural**, v.37, n.2, p. 401-07, 2007.