## FORMULÁRIO PARA RELATÓRIO FINAL

### 1. Identificação do Projeto

**Título do Projeto PIBIC/PAIC**

Distribuição dos atributos químicos em área de Terra Preta Arqueológica sob cultivo de cacau na região de Apuí, AM

**Orientador**

Milton César Costa Campos

**Aluno**

Roneres Deniz Barbosa

### 2. Informações de Acesso ao Documento

**2.1 Este documento é confidencial?**

[ ] **SIM** [x] **NÃO**

**2.2 Este trabalho ocasionará registro de patente?**

[ ] **SIM** [x] **NÃO**

**2.3 Este trabalho pode ser liberado para reprodução?**

[x] **SIM** [ ] **NÃO**

**2. 4 Em caso de liberação parcial, quais dados podem ser liberados? Especifique.**

### 3. Introdução

A região Amazônica é caracterizada pela enorme diversidade de vida, tanto vegetal como animal, bem como sociedades humanas. A intensidade de interferências humanas sobre alguns aspectos ambientais é explícita na Amazônia desde os tempos pré-históricos (SCHIFFER 1987). Um exemplo claro desta manifestação cultural sobre a constituição da paisagem é o aparecimento de solos escuro com fragmentos cerâmicos, conhecidos como

Terras Pretas Arqueológicas ou regionalmente como Terras Pretas de Índio (SOMBROEK, 1966; SMITH, 1980).

As TPAs são solos de uma fertilidade notoriamente superior à grande maioria dos solos típicos da região Amazônica, que apresentam características marcantes como a coloração escura, textura mais arenosa, mais bem estruturada e a presença de fragmentos de cerâmica e/ou líticos incorporados à matriz dos horizontes superficiais do solo (GLASER; BIRK, 2002, KAMPF; KERN, 2005;) e são encontrados em diversas regiões da Amazônia (FAO, 2011).

Além disso, atualmente, o estudo sobre as TPAs tem-se intensificado em função das boas características apresentadas por estes solos, como alta concentração de nutrientes (fósforo, cálcio, magnésio) e grande quantidade de matéria orgânica estável (GLASER et al., 2002; LEHMANN et al., 2003).

Por outro lado, a variabilidade espacial das características do solo ocorre naturalmente como consequência do processo de formação, podendo ser acentuada pelas ações antrópicas devido aos diferentes usos e manejo aplicados (BROWN et al., 2000). As alterações na composição da vegetação de ecossistemas naturais associadas a práticas de manejo, que são atribuídas a fatores como exploração agrícola, pecuária e, principalmente, florestal (Alencar et al. 2004), trazem consequências não só em relação à biodiversidade, mas, também, quando se analisa a deterioração causada aos solos e a sua possibilidade de reutilização e/ou conservação (Chaves et al. 2012).

Os atributos químicos do solo, com exceção do pH, apresentam maior variação que os atributos físicos, em uma área cultivada (Botega et al. 2011). Sendo assim, o uso de uma amostragem aleatória, que utiliza a média para caracterizar determinado atributo do solo, seria insuficiente para caracterizar toda uma classe de solo. Entretanto, vários estudos mostraram que os atributos químicos do solo apresentam intensa dependência espacial, verificada por meio da análise geoestatística (Corá et al. 2004, Bekele & Hudnall 2006, Motomiya et al. 2006, Souza et al. 2006, Campos et al. 2007, Cavalcante et al. 2007, Zanão Júnior et al. 2007, Marques Júnior et al. 2008, Lima et al. 2013).

A geoestatística é uma ferramenta utilizada na detecção da variabilidade existente no ambiente, permitindo analisar características e seus aspectos aleatórios e espaciais, criando imagem da variabilidade de caracteres, identificando o grau de dependência espacial e fornecendo informações que permitam subsidiar o estudo do fenômeno a ser analisado (SILVA NETO et al., 2011).

Assim, a geoestatística auxilia na interpretação e a projeção dos resultados, com base na estrutura da sua variabilidade natural, podendo indicar alternativas de uso, além de possibilitar melhor compreensão da variabilidade dos atributos, sua influência sobre a produção (Silva Neto et al. 2012) a indicação de uma densidade de amostragem ideal, por meio do uso de técnicas de avaliação da variabilidade espacial de atributos do solo (Vieira 2002).

Sendo assim o objetivo desse trabalho e avaliar a distribuição espacial dos atributos químicos do solo em área de Terra Preta Arqueológica sob cultivo de cacau em Apuí, AM.

## 4. Justificativa

Diferentemente da maioria dos solos da região, as TPAs apresentam altos teores de P, Ca, e Mn disponível e, em alguns sítios, baixos teores de N total, K e B disponível. Nesse sentido, são necessários estudos mais aprofundados sobre o efeito, a qualidade e a disponibilidade dos nutrientes nos solos de Terra Preta localizados em diferentes sistemas de usos tradicionais na Amazônia;

A região sul do Amazonas é bastante conhecida pela grande exploração florestal, agropecuário e extrativismo de produtos não madeireiro. Apesar disso, poucas pesquisas preocuparam-se em investigar as relações entre os atributos químicos do solo e as mudanças na cobertura vegetal, oriunda especialmente das práticas agropecuárias e florestais. Por outro lado, quando se restringe esse cenário para as Terras Pretas Arqueológicas (TPAs) percebe-se a diminuição ainda mais das informações. Apesar da importância das TPAs e do fato de possivelmente ocorrerem alterações nos atributos químicos do solo, poucos estudos ou nenhum estudo foi realizado, afim de quantificar estas alterações ocasionadas com o manejo em áreas com TPAs.

## 5. Objetivos

### 5.1 Objetivo Geral

Avaliar a distribuição espacial dos atributos químicos do solo em área de Terra Preta Arqueológica sob cultivo de cacau em Apuí, AM.

### 5.2 Objetivos Específicos

- Investigar a distribuição espacial dos atributos químicos: pH em água, Ca, Mg, K, Al trocáveis e P disponível em área de Terra Preta de Arqueológica sob cultivo de cacau em Apuí, AM.
- Avaliar o comportamento dos atributos químicos das Terras Pretas Arqueológicas em diferentes profundidades sob cultivo de cacau na região de Apuí, AM.
- Determinar o grau de dependência espacial para cada atributo químico estudado sob cultivo de cacau em Apuí, AM.

## 6. Metodologia

### 6.1 Metodologia de Campo e Laboratório

A área de TPA vem sendo cultivado aos quatorze anos, nos primeiros seis anos abrigou os cultivos de arroz, milho, feijão e melancia, e posteriormente foi inserido a cultura do cacau que permanece até o presente estudo. Neste local foi realizado o mapeamento de uma malha de 42 x 88 m, com espaçamentos de 6 x 8 m, totalizando 88 pontos amostrais nas profundidades 0,0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20m.

Nos pontos de cruzamento da malha foram coletados blocos de solo com estrutura preservada nas profundidades 0,0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20m, para determinação dos atributos químicos do solo.

### 6.2 ANÁLISES QUÍMICAS

A determinação do pH foi determinado potenciometricamente utilizando-se água, solução de cloreto de potássio (KCl) 1 mol/l, em relações solo: solução 1:2,5. (EMBRAPA, 1997).

Cálcio, magnésio e alumínio trocáveis foram extraídos por KCl (cloreto de potássio). O potássio e o fósforo disponível, foram extraídos por Mehlich$^{-1}$, a acidez potencial (H+Al) foi extraída com solução tamponada a pH 7,0 de acetato de cálcio utilizando-se metodologia proposta pela EMBRAPA (1997).

O carbono orgânico foi determinado pelo método de Walkley-*Black* modificado por Yeomans e Bremner (1988), o estoque de carbono (Est C) foi determinado em todas as profundidades de coleta e foi calculado pela expressão (Weldkamp, 1994).

Est C = (CO x Ds x e) /10, onde:

Est C = estoque de carbono orgânico do solo (Mg ha-1);

COT = teor de carbono orgânico total (g kg-1);

Ds = densidade do solo (kg dm-3);

e = espessura da camada considerada (cm).

Com base nos resultados das análises químicas, foram calculadas as somas de bases (SB), a capacidade de troca catiônica (CTC), a saturação por bases (V%) e por alumínio.

### 6.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA E GEOESTATÍSTICA

Os atributos do solo foram analisados por meio da análise estatística descritiva, sendo determinados a média, mediana, o coeficiente de variação, o coeficiente de assimetria e curtose. As hipóteses de normalidade dos dados foi feita pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) ($p \leq 0,05$), por meio do software computacional Minitab 14 (MINITAB, 2000).

A geoestatística foi usada para avaliar a variabilidade espacial dos atributos estudados, segundo VIEIRA *et al*. (1983). Para se fazer a análise geoestatística, foi necessário saber se há dependência espacial ou não dos atributos estudados, o que pode ser verificado por meio do gráfico do semivariograma.

O semivariograma é uma representação gráfica entre a semivariância y(h), representada na coordenada Y, em função de uma determinada distância (h), representada na coordenada X. Para a caracterização da variabilidade espacial, foi utilizada a análise geoestatística (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989). Com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, a qual o semivariograma é estimada por:

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

Sendo: γ(h) - valor da semivariância para uma distância h; N(h) - número de pares envolvidos no cálculo da semivariância; $Z(x_i)$ - valor do atributo Z na posição $x_i$; $Z(x_i+h)$ - valor do atributo Z separado por uma distância h da posição xi.

Os ajustes dos modelos experimentais ao semivariograma foram baseadas no maior valor do coeficiente de determinação e no menor valor da raiz quadrada do erro médio, e a escolha do melhor ajuste foi realizada utilizando a técnica conhecida por "*jack-knifing*" de acordo com VIEIRA *et al*. (2002).

Para analisar o grau da dependência espacial dos atributos do solo, se utilizou a classificação de CAMBARDELLA *et al.,* (1994), em que são considerados dependência

espacial forte os semivariograma que têm um efeito pepita <25% do patamar, moderada quando está entre 25 e 75% e fraca, >75%.

Após o ajuste dos modelos matemáticos permissíveis foi feita à interpolação dos dados por meio da krigagem. Foi utilizado o inverso do quadrado da distância como interpolador para os atributos que não apresentaram estrutura de dependência espacial. A análise geoestatística foi realizada no software Surfer versão 8.00.

## 7. Resultados e Discussão

Os resultados referentes à análise descritiva, estão apresentados nas tabelas 1 e os valores de média e mediana apresentaram semelhança para todas as variáveis, em todas as profundidades, indicando distribuição simétrica dos dados confirmados pelos valores de assimetria e curtose próximos de zero, com exceção apenas da acidez potencial e V% na profundidade (0,05 - 0,10 m) e Al e V% na profundidade (0,10 - 0,20 m).

O coeficiente de assimetria é utilizado para caracterizar como e quanto a distribuição de frequências se afasta da simetria. Se o valor encontrado para esse coeficiente for zero, a distribuição é simétrica; se positivo, a distribuição é assimétrica à direita; e se negativo, é assimétrica à esquerda. A maioria das variáveis apresentou coeficientes de assimetria positivos. Coeficientes de assimetria negativos foram encontrados em ambas as profundidades.

Apesar de se ter encontrado distribuições assimétricas, verifica-se por alguns indícios como valores médios e medianos semelhantes e coeficientes de assimetria e curtose próximos a zero, para a maioria das variáveis avaliadas, que as medidas de tendência central não são dominadas por valores atípicos na distribuição, segundo Cambardella *et al*. (1994), indicando que os dados estão adequados para aplicação da geoestatística.

Tabela 1. Estatística descritiva dos atributos químicos em área de Terra Preta Arqueológica sob cultivo de Cacau no município de Apuí, AM

| Estatística Descritiva | Média | Med. | DP | [1]CV (%) | Mín. | Máx. | Assim. | Curtose | [2]d |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Unid. | | | | 0,00 - 0,05 m | | | | | |
| pH ( $H_2O$) | 6,23 | 6,08 | 0,65 | 10,43 | 4,49 | 7,53 | 0,08 | -0, 56 | 0,03$^{ns}$ |
| COT (g $kg^{-1}$) | 55,31 | 54,71 | 10,94 | 19,77 | 27,96 | 83,76 | 0,19 | 0,04 | 0,20* |
| Est C (g $kg^{-1}$) | 24,74 | 23,39 | 5,32 | 21,50 | 11,60 | 38,97 | 0,24 | -0,01 | 0,00$^{ns}$ |
| (H + Al)($cmol_c$ $dm^{-3}$) | 6,54 | 6,43 | 3,44 | 52,59 | 1,16 | 15,06 | 0,36 | -0,59 | 0,07$^{ns}$ |
| Al ($cmol_c$ $dm^{-3}$) | 0,06 | 0,06 | 0,01 | 16,66 | 0,04 | 0,10 | 0,26 | -0,54 | 0,00$^{ns}$ |
| P (mg $dm^{-3}$) | 93,70 | 94,12 | 32,73 | 34,93 | 30,38 | 170,66 | 0,33 | -0,43 | 0,20* |
| K ($cmol_c$ $dm^{-3}$) | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 33,33 | 0,00 | 0,05 | 0,55 | -0,29 | 0,04$^{ns}$ |
| Ca ($cmol_c$ $dm^{-3}$) | 19,57 | 20,00 | 3,20 | 16,35 | 12,75 | 26,25 | -0,29 | -0,50 | 0,20* |
| Mg ($cmol_c$ $dm^{-3}$) | 2,12 | 2,13 | 1,06 | 50,00 | 0,25 | 5,00 | 0,47 | -0,09 | 0,20* |
| SB ($cmol_c$ $dm^{-3}$) | 21,77 | 21,76 | 3,27 | 15,03 | 13,27 | 27,75 | -0,53 | -0,09 | 0,20* |
| CTC ($cmol_c$ $dm^{-3}$) | 28,28 | 28,06 | 2,78 | 9,83 | 21,90 | 34,35 | 0,01 | -0,33 | 0,20* |
| V% | 77,25 | 76,85 | 11,25 | 14,56 | 47,74 | 94,81 | -0,42 | -0,32 | 0,20* |
| | | | | 0,05 - 0,10 m | | | | | |
| pH ( $H_2O$) | 6,13 | 6,01 | 0,78 | 12,72 | 4,78 | 7,78 | 0,48 | -0,55 | 0,05$^{ns}$ |
| COT (g $kg^{-1}$) | 40,41 | 39,40 | 4,15 | 10,26 | 30,56 | 51,40 | 0,31 | -0,09 | 0,01$^{ns}$ |
| Est C (g $kg^{-1}$) | 19,36 | 18,98 | 2,85 | 14,72 | 13,83 | 26,53 | 0,52 | -0,03 | 0,20* |
| (H + Al)($cmol_c$ $dm^{-3}$) | 9,15 | 8,58 | 4,97 | 54,31 | 0,99 | 19,64 | 0,19 | -1,00 | 0,15$^{ns}$ |
| Al ($cmol_c$ $dm^{-3}$) | 0,07 | 0,08 | 0,03 | 42,85 | 0,03 | 0,17 | 0,76 | 0,33 | 0,00$^{ns}$ |
| P (mg $dm^{-3}$) | 109,61 | 110,62 | 33,63 | 30,68 | 35,22 | 198,32 | 0,01 | -0,25 | 0,20* |
| K ($cmol_c$ $dm^{-3}$) | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 33,33 | 0,01 | 0,05 | 0,40 | -0,14 | 0,17$^{ns}$ |
| Ca ($cmol_c$ $kg^{-3}$) | 11,60 | 11,95 | 3,95 | 34,05 | 3,40 | 21,50 | 0,20 | -0,32 | 0,02$^{ns}$ |
| Mg ($cmol_c$ $dm^{-3}$) | 4,05 | 4,00 | 1,47 | 36,29 | 0,95 | 7,10 | 0,06 | -0,79 | 0,20* |
| SB ($cmol_c$ $dm^{-3}$) | 15,89 | 15,91 | 4,65 | 29,26 | 5,16 | 24,81 | -0,09 | -0,74 | 0,20* |
| CTC ($cmol_c$ $dm^{-3}$) | 25,75 | 25,90 | 2,05 | 7,96 | 20,98 | 29,83 | -0,14 | -0,62 | 0,20* |
| V% | 63,96 | 64,89 | 18,33 | 28,65 | 30,87 | 96,02 | -0,05 | -1,06 | 0,18$^{ns}$ |
| | | | | 0,10 - 0,20 m | | | | | |
| pH ( $H_2O$) | 5,70 | 5,52 | 0,75 | 13,15 | 4,58 | 7,95 | 0,88 | 0,10 | 0,00$^{ns}$ |
| COT (g $kg^{-1}$) | 31,31 | 31,78 | 5,45 | 17,40 | 20,11 | 43,45 | -0,15 | -0,35 | 0,20* |
| Est C (g $kg^{-1}$) | 29,81 | 29,68 | 6,18 | 20,73 | 13,86 | 45,62 | 0,04 | 0,03 | 0,20* |
| (H + Al)($cmol_c$ $dm^{-3}$) | 11,53 | 12,12 | 4,98 | 43,19 | 1,32 | 22,11 | -0,22 | -0,96 | 0.08$^{ns}$ |
| Al ($cmol_c$ $dm^{-3}$) | 0,08 | 0,08 | 0,03 | 37,50 | 0,04 | 0,20 | 1,12 | 0,51 | 0,00$^{ns}$ |
| P (mg $dm^{-3}$) | 124,34 | 126,23 | 30,39 | 24,44 | 48,29 | 191,64 | 0,04 | -0,22 | 0,20* |
| K ($cmol_c$ $dm^{-3}$) | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 50,00 | 0,00 | 0,05 | 0,91 | 0,26 | 0,00$^{ns}$ |
| Ca ($cmol_c$ $dm^{-3}$) | 10,47 | 10,31 | 4,29 | 40,97 | 2,75 | 20,38 | 0,40 | -0,44 | 0,20* |
| Mg ($cmol_c$ $dm^{-3}$) | 1,99 | 2,00 | 1,00 | 50,25 | 0,38 | 4,88 | 0,43 | -0,15 | 0,20* |
| SB($cmol_c$ $dm^{-3}$) | 12,59 | 12,46 | 4,40 | 34,94 | 5,51 | 22,78 | 0,31 | -0,85 | 0,05$^{ns}$ |
| CTC ($cmol_c$ $dm^{-3}$) | 24,46 | 24,61 | 1,88 | 7,68 | 20,36 | 29,25 | -0,25 | -0,12 | 0,02$^{ns}$ |
| V% | 52,65 | 51,69 | 19,06 | 36,20 | 23,07 | 93,78 | 0,33 | -1,04 | 0,02$^{ns}$ |

[1]CV: coeficiente de variação; [2]d: teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov; *significativo a 5 % de probabilidade

Em relação a classificação do coeficiente de variação (CV) proposta por (Warrick & Nielsen, 1980), onde o qual classifica CV< 12%, como baixa variabilidade, CV entre 12,1 e 60%, sendo média variabilidade e CV ≥ 60,1% como sendo de alta variabilidade dos dados, observou-se que as variáveis pH e CTC na profundidade (0,00 - 0,05 m), e COT e CTC na profundidade (0,05 - 0,10 m) e CTC na profundidade (0,10 – 0,20 m)

apresentaram baixa variabilidade dos dados, enquanto que todos os outros apresentaram média variabilidade. Nenhum atributo portanto, apresentou alta variabilidade.

Schlindwein & Anghinoni (2000) verificaram CV alto para as variáveis P e K e baixo para pH em água. O valor alto do teor de P pode ser atribuído ao modo de aplicação contínua desse nutriente – mecanicamente e na linha de plantio – e também à sua baixa mobilidade no solo. Beckette & Webster (1971) afirmam que P, K, Ca e Mg são atributos do solo muito alterados pelo manejo, em se tratando de variabilidade.

De acordo com os resultados gerados pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, (Tabela 1) escolhido para verificar a normalidade dos dados, a maioria das variáveis demonstraram normalidade. Segundo Isaaks & Srivastava (1989), a condição de normalidade dos dados não é uma exigência na análise de geoestatística, por se tratarem de dados obtidos da natureza, por não apresentarem uma distribuição normal e sim apenas aproximada.

**Tabela 2**. Modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas do pH, COT, MO, Est C, (H+Al), Al, P, K, Ca e Mg do solo em área de Terra Preta Arqueológica sob cultivo de cacau no município de Apuí, AM.

| | Model. | $C_0$ | $C_0 + C_1$ | *a* (m) | [1]$R^2$ | [2]GDE (%) | [3]VC (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Parâmetros | | | 0,00-0,05 m | | | | |
| pH | Esf. | 0,01 | 0,38 | 25,00 | 0,85 | 2,63 | 0,97 |
| COT | - | - | - | - | - | EPP | - |
| Est C | - | - | - | - | - | EPP | - |
| (H+Al) | Esf. | 1,00 | 14,33 | 30,00 | 0,89 | 6,97 | 0,86 |
| Al | Exp. | 0,00 | 0,00 | 30,00 | 0,80 | 7,50 | 0,93 |
| P | Esf. | 2980,00 | 16670,00 | 30,00 | 0,97 | 17,87 | 0,78 |
| K | Esf. | 0,00 | 0,00 | 12,00 | 0,98 | 6,00 | 0,75 |
| Ca | Esf. | 0,13 | 9,88 | 24,00 | 0,83 | 1,31 | 0,83 |
| Mg | Exp. | 0,10 | 0,96 | 30,00 | 0,89 | 10,41 | 0,94 |
| SB | Exp. | 0,91 | 9,47 | 22,50 | 0,83 | 9,60 | 0,90 |
| CTC | Exp. | 0,65 | 7,87 | 24,00 | 0,79 | 8,25 | 0,77 |
| V% | Esf. | 31,00 | 130,90 | 29,00 | 0,98 | 23,68 | 0,90 |
| | | | 0,05-0,10 m | | | | |
| pH | Esf. | 0,01 | 0,62 | 30,00 | 0,87 | 1,61 | 0,81 |
| COT | Esf. | 2,10 | 55,31 | 22,00 | 0,74 | 3,79 | 0,88 |
| Est C | Exp. | 1,11 | 13,76 | 27,00 | 0,82 | 8,06 | 0,89 |
| (H + Al) | Esf. | 1,01 | 25,52 | 30,00 | 0,88 | 3,67 | 0,96 |
| Al | Esf. | 0,00 | 0,00 | 27,00 | 0,86 | 5,00 | 0,91 |
| P | Exp. | 156,00 | 1407,00 | 20,00 | 0,84 | 11,08 | 0,76 |
| K | Exp.. | 0,00 | 0,00 | 20,00 | 0,80 | 10,00 | 0,83 |
| Ca | Esf. | 4,98 | 16,12 | 36,00 | 091 | 30,89 | 0,94 |
| Mg | Esf. | 0,70 | 2,13 | 55,80 | 0,94 | 32,86 | 0,95 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SB | Esf. | 0,53 | 19,99 | 22,00 | 0,87 | 2,65 | 0,82 |
| CTC | Esf. | 4,54 | 9,18 | 60,00 | 0,90 | 49,45 | 0,80 |
| V% | Esf. | 14,90 | 328,20 | 24,40 | 0,84 | 4,53 | 0,83 |
| 0,10-0,20 m | | | | | | | |
| pH | Esf. | 0,01 | 0,53 | 30,00 | 0,90 | 1,88 | 0,81 |
| COT | - | - | - | - | - | EPP | - |
| Est C | Exp. | 1,10 | 38,64 | 25,64 | 0,93 | 2,84 | 0,84 |
| (H + Al) | Esf. | 0,20 | 25,18 | 30,00 | 0,92 | 0,79 | 0,92 |
| Al | Exp. | 0,01 | 0,05 | 40,00 | 0,86 | 20,00 | 0,86 |
| P | Exp. | 378,00 | 991,80 | 25,00 | 0,93 | 38,11 | 0,78 |
| K | Exp. | 0,00 | 0,00 | 15,00 | 0,98 | 3,33 | 0,73 |
| Ca | Esf. | 0,34 | 19,22 | 28,00 | 0,94 | 1,76 | 0,93 |
| Mg | Exp. | 0,10 | 1,16 | 33,00 | 0,86 | 8,62 | 0,94 |
| SB | Esf. | 0,60 | 17,66 | 26,20 | 0,97 | 3,39 | 0,90 |
| CTC | Esf. | 2,83 | 6,11 | 64,00 | 0,76 | 46,31 | 0,97 |
| V% | Esf. | 134,40 | 313,50 | 38,60 | 0,93 | 42,87 | 0,98 |

[1]$R^2$: coeficiente de determinação; [2]GDE%: grau de dependência espacial e; [3]VC: validação cruzada.

Nota-se que os atributos químicos do solo ajustaram-se aos modelos de semivariogramas esférico e exponencial. No geral, estudos relacionados com a variabilidade espacial de atributos do solo têm mostrado que os modelos esférico e exponencial tem sido os mais frequentes (AMADO *et al.,* 2009; CAMPOS *et al.,* 2009; SANCHEZ *et al.,* 2009; SIQUEIRA *et al.,* 2010; SOUZA *et al.,* 2009; DALCHIAVON *et al.,* 2012) confirmando, assim, que os modelos ajustados no presente estudo estão de acordo com as pesquisas realizadas sobre variabilidade do solo. Houve predominância do ajuste ao modelo de semivariograma esférico, nas profundidades (0,00- 0,05m) (0,05-0,10 m). O modelo esférico é o mais citado por pesquisadores como o mais comum em trabalhos relacionados a atributos do solo e da planta (Salviano et al. 1998, Bertolani & Vieira 2001, Cavalcante et al. 2007, Vieira et al. 2011, Lima et al. 2013).

Considerando a profundidade (0,05-0,10m), todas as variáveis estudadas apresentaram dependência espacial. No caso do COT e Est C na profundidade (0,00-0,05 m), e COT na profundidade (0,10-0,20 m), não foi observada dependência espacial. Trata-se de uma indicação clara de que esses atributos são espacialmente independentes, apresentam distribuição casual ou de que o espaçamento de amostragem usado é maior que o necessário para revelar a dependência espacial e de que a única estatística aplicável é a clássica (Silva et al., 1989).

De acordo com BAYER et al. (2011), duas principais práticas agrícolas influencía na perda de estoques de carbono no solo os quais são, o preparo do solo e o sistema de cultura que nele estiver implantado, o COT por sua vez apresenta valores superiores aos de Est C por estarem diretamente influenciados pelo processo de agregação do solo.

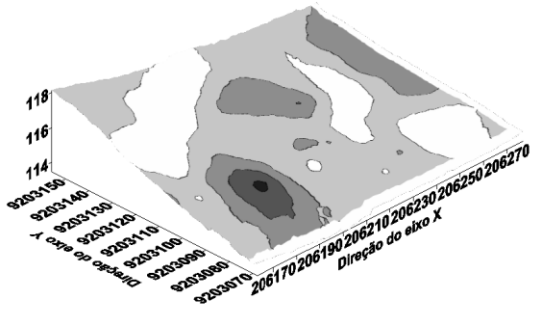
Quando a variável estudada é espacialmente independente, o seu *C*0 (efeito pepita) é igual a *C1* + *C0* (patamar), conhecido como efeito pepita puro (EPP). O EPP é importante e indica distribuição casual, ou seja, variabilidade não explicada ou variação não detectada, e pode ocorrer devido a erros de medidas, amostragem ou microvariação não detectada, considerando ser o espaçamento de amostragem utilizado maior que o necessário para detectar a dependência espacial (Cambardella et al. 1994).

As análises de relação [Co/ (Co + C1], foi expressa de acordo com a classificação proposta por (Cambardela et al. 1994), onde os Semivariogramas que apresentam dependência espacial menor ou igual a 25% têm forte dependência espacial. A dependência é moderada quando esta relação varia de 25 a 75% e fraca se este valor for superior a 75% de acordo com esta classificação. O atributo que apresentou grau de dependência espacial (GDE), entre 25 a 75% foi apenas o Ca , Mg e CTC na profundidade (0,05-0,10 m), e P e CTC e V% na profundidade (0,10 -0,20 m). Os demais atributos estudados apresentaram GDE, menor ou igual 25% apresentando assim forte dependência espacial. Resultados similares foram encontrados por SILVA et al. (2003), MACHADO et al. (2007) e ZANÃO JUNIOR et al. (2007), o que destaca a importância do conhecimento da estrutura de dependência espacial.

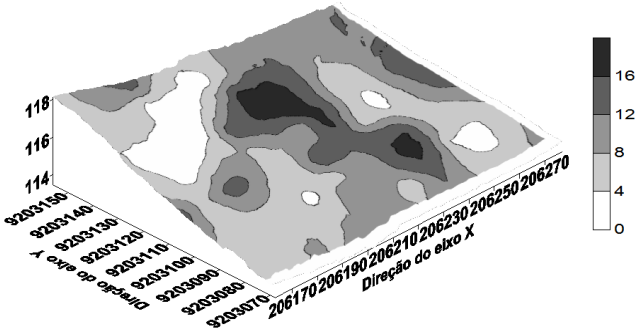
Cambardella et al. (1994) cita que as variáveis que apresentam forte dependência espacial são mais influenciadas por propriedades intrínsecas do solo, ou seja, pelos fatores de formação do solo, enquanto a dependência espacial moderada deve-se à homogeneização do solo, ao passo que aos extrínsecos atribui-se fraca dependência.

À distância na qual a semivariância se estabiliza é considerada o alcance da dependência espacial. As variáveis em estudo apresentaram diferentes alcances de dependência espacial, O menor valor de alcance foi de 12,00 m para o K na profundidade (0,00-0,05 m), e o maior 64,00 m para CTC na profundidade (0,10-0,20 m). Amostras coletadas em tais intervalos amostrais, conforme ressaltado por Gupta et al. (1997), representam a variabilidade espacial dos dados.

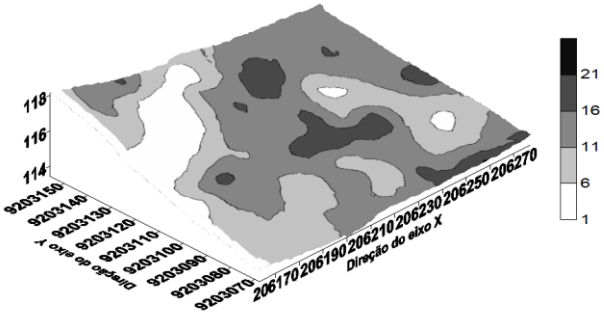
H+AL (0,00-0,05 m)



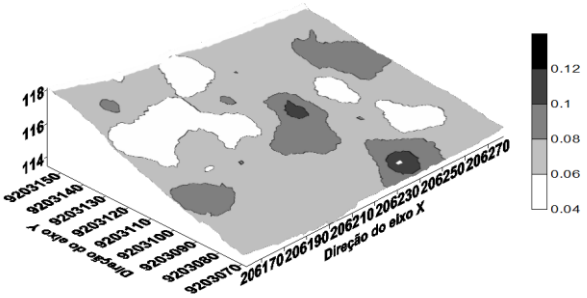

H+AL (0,05-0,10 m)



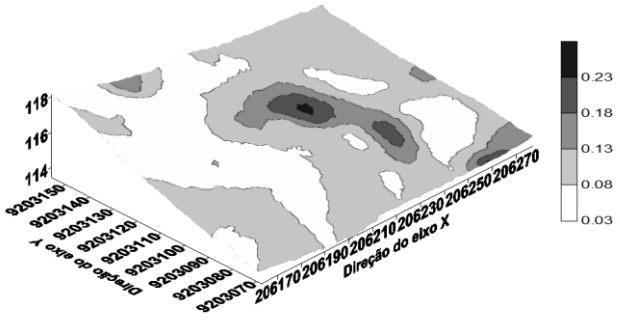

H+AL (0,10-0,20 m)



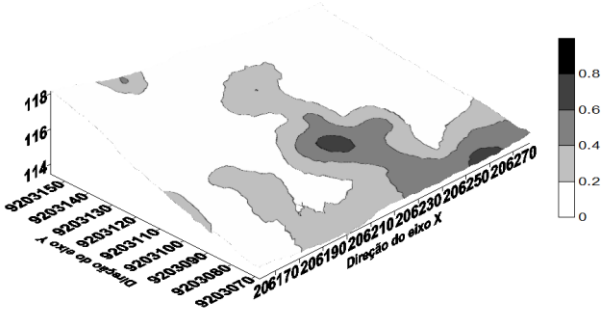

Al (0,00-0,05 m)



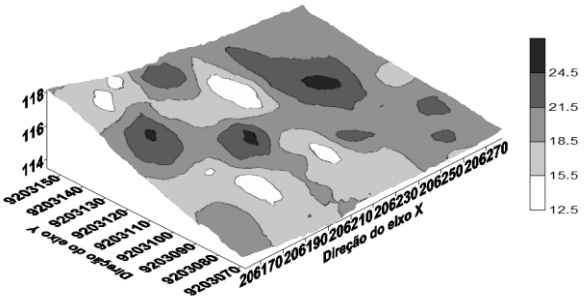

Al (0,05-0,10 m)



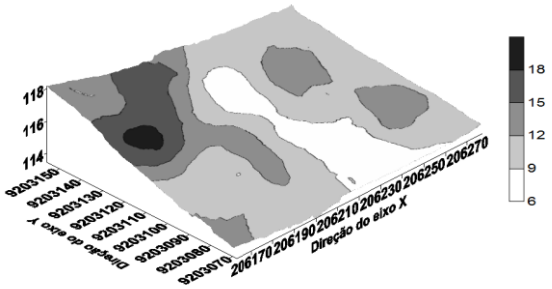

Al (0,10-0,20 m)



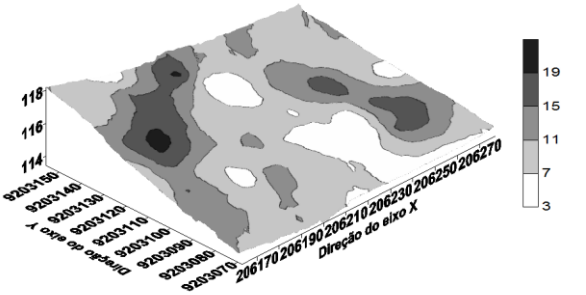
Ca (0,00-0,05 m)



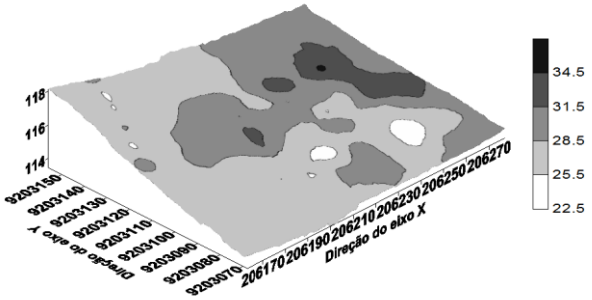

Ca (0,05-0,10 m)



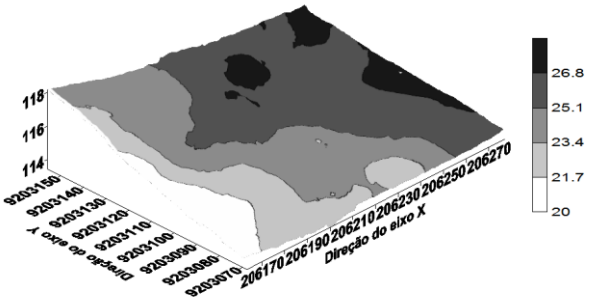

Ca (0,10-0,20 m)



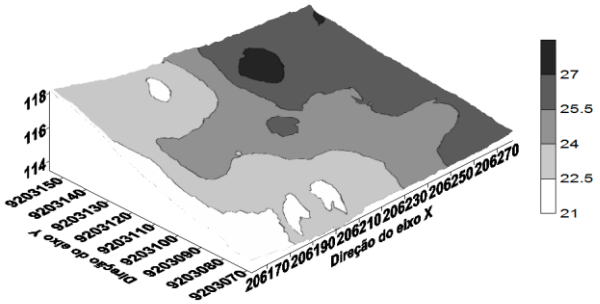

CTC (0,00-0,05 m)



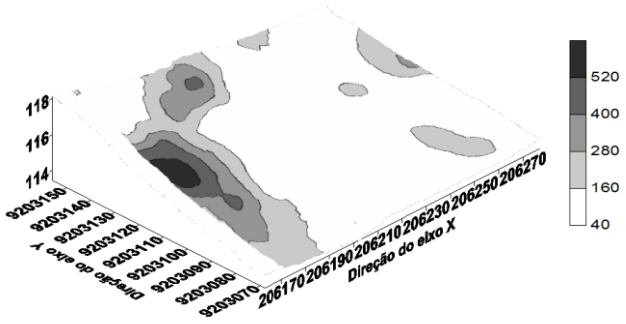

CTC (0,05-0,10 m)



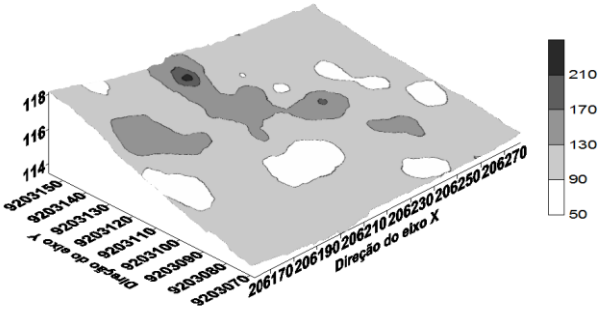

CTC (0,10-0,20 m)



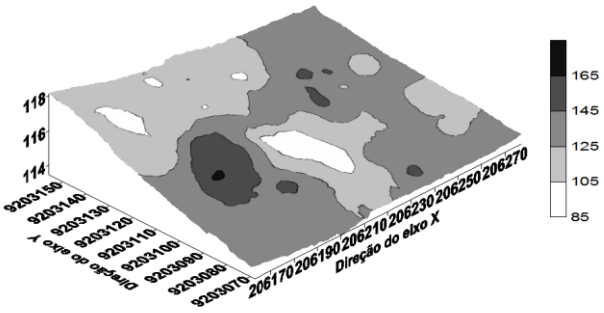
P (0,00-0,05 m)



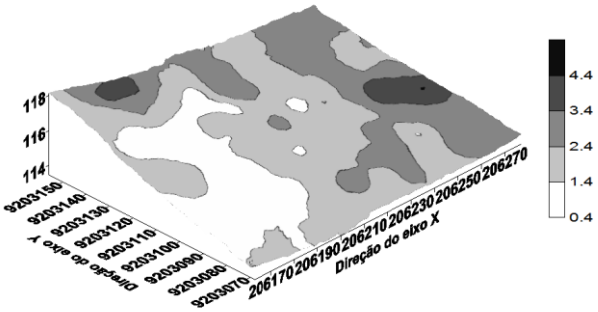

P (0,05-0,10 m)



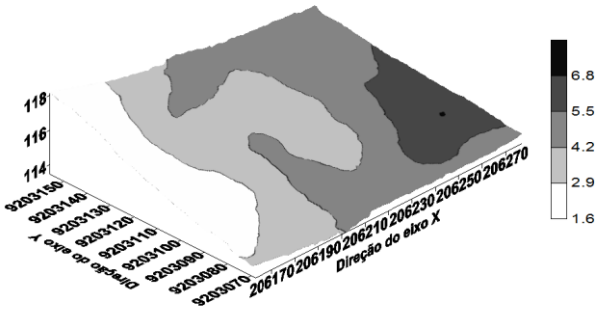

P (0,10-0,20 m)



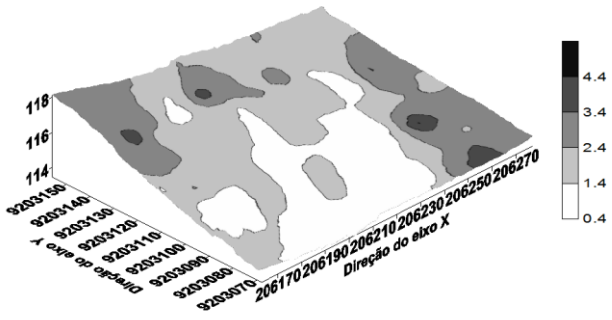

Mg (0,00-0,05 m)



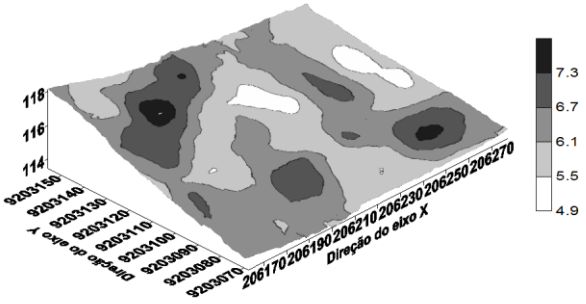

Mg (0,05-0,10 m)



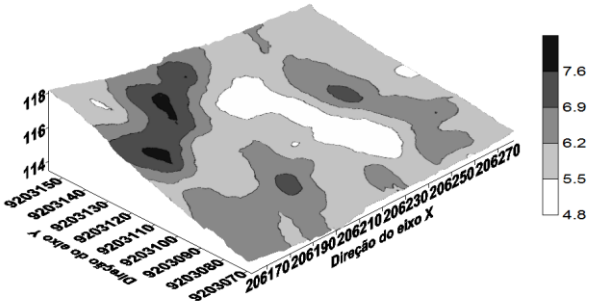

Mg (0,10 -0, 20 m)



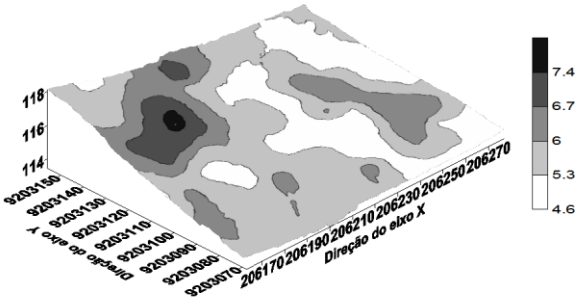
pH (0,00-0,05 m)



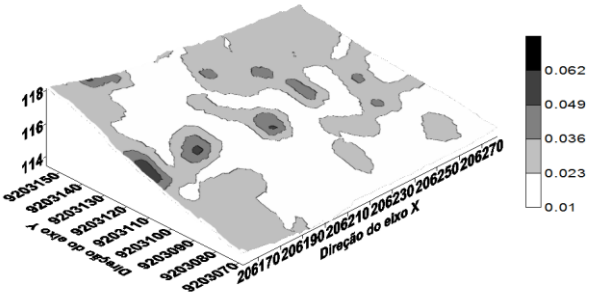

pH (0,05-0,10 m)



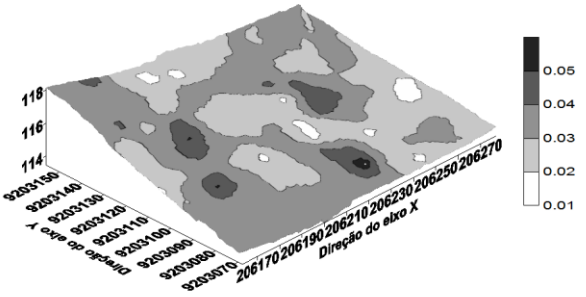

pH (0,10-0,20 m)



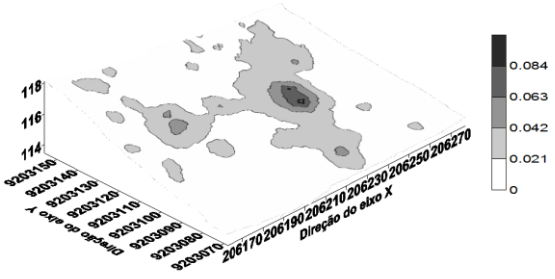

K (0,00-0,05 m)




K (0,05-0,10 m)




K (0,10-0,20 m)



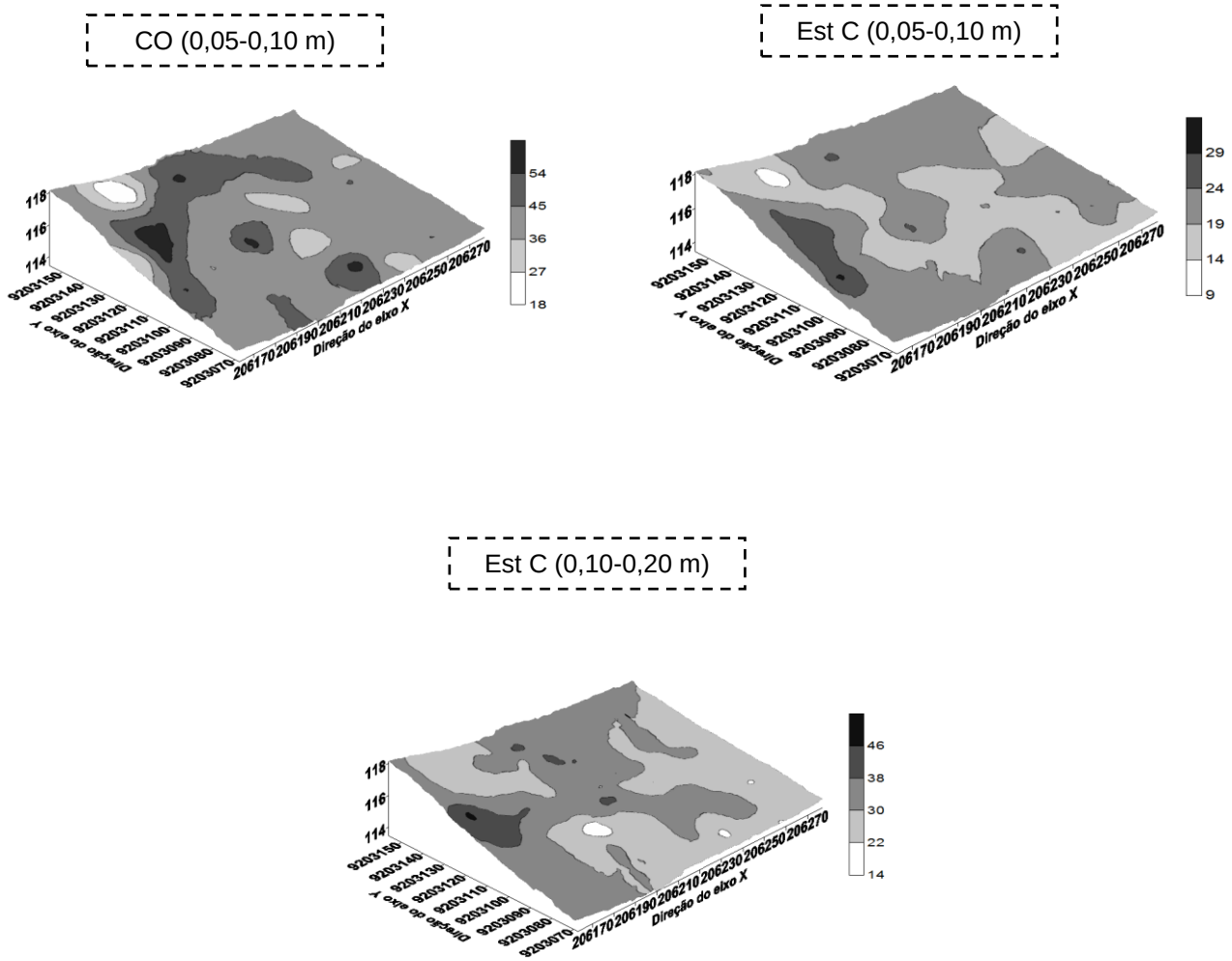



**Figura 1**- Mapas de Krigagem dos atributos químicos em área de Terra Preta

Nesses mapas, pode-se visualizar na área amostrada a distribuição espacial de todos os atributos avaliados. A krigagem nada mais é que a interpolação das informações geradas pelo semivariograma. Os mapas são partes fundamentais da agricultura de precisão, pois eles são posteriormente geoprocessados, com a finalidade de auxiliar no uso e manejo correto do solo.

## CONCLUSÕES

A geoestatística forneceu informações adequadas para a compreensão da distribuição espacial dos atributos químicos na área de Cacau.

A distribuição espacial dos atributos químicos na área apresentou grau de dependência espacial forte e moderado.

Na profundidade (0,00-0,05m) todas as variáveis estudadas tiveram forte dependência espacial, exceto para Est C e COT que não apresentaram dependência espacial. Moderada dependência espacial foi observada nas profundidades (0,05-0,10m) para Ca e Mg, CTC e na profundidade (0,10-0,20m) para o P, CTC e V%.

A variabilidade espacial de atributos químicos deve ser levada em consideração no planejamento agrícola, estas informações poderão ser usadas para otimizar as aplicações de fertilizantes, aumentando a produtividade e diminuindo custos e os problemas ambientais.

## 8. Referências

Alencar, A., Nepstad, D., McGrath, D., Moutinho, P. (2004). Desmatamento na Amazônia: indo além da “emergência crônica”. IPAM, Belém, 85.

AMADO, T. J. C.; PES, L. Z.; LEMAINSKI, C. L.; SCHENATO, R. B. Atributos químicos e físicos de Latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 831-843, 2009.

BAYER, Cimélio; AMADO, Telmo Jorge Carneiro ; Tornquist, Carlos Gustavo ; CERRI, C. E. ; DIECKOW, J. ; ZANATTA, JOSILEIA A. ; NICOLOSO, R. S. ; Carvalho, P. C. F. . Estabilização do carbono no solo e mitigação das emissões de gases de efeito estufa na agricultura conservacionista. Tópicos em Ciência do Solo , v. VII, p. 55-118, 2011.

BECKETT, P.H.T. & WEBSTER, R. Soil variability: A review. Soils Fert., 34:1-15, 1971.

BEKELE, A.; HUDNALL, W. H. Spatial variability of soil chemical properties of a prairie-forest transition in Louisiana. **Plant and Soil,** Dordrecht, v. 280, n. 1, p. 7-21, 2006.

BERTOLANI, F. C.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial da taxa de infiltração de água e da espessura do horizonte A, em um Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes usos. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 987-995, 2001.

BOTTEGA, E. L.;BOTTEGA, S. P.;SILVA, S. A.; QUEIRO, D. M.; SOUZA, C. M. A.; RAFULL, L. Z. L.; Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um

Latossolo Vermelho distroférrico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, n.2,p. 331-336, 2011.

BROWN, S; SCHREIER, H; SHAH, P.B. Soil phosphorus fertility degradation: a Geographic Information System-based assessment. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.29, n.4, p.1152-1160, 2000.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO; R.F.; KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society of American Journal,** v.58, p.1501-1511, 1994.

CAMPOS, M. C. C. JUNIOR,J.M.;PEREIRA,G.T.;FREITAS,E.V.; Dependência espacial de atributos químicos em área cultivada com cana-de-açúcar em Pereira Barreto, SP. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 38, n. 4, p. 350-359, 2007.

CAMPOS, M.C.C. Pedogeomorfologia aplicada a ambientes Amazônicos do Médio Rio Madeira. Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco. 260p. 2009. (Tese de Doutorado)

CAVALCANTE, E.G.S.; ALVES, M.C.; SOUZA, Z.M.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1329-1339, 2007.

CHAVES, A.A.; LACERDA,M.P.C.; GOEDERT,W.J.; RAMOS,M.L.G.; KATO,E. Indicadores de qualidade de Latossolo Vermelho sob diferentes usos. **Pesquisa Agropecuária Tropical,** Goiânia, v. 42, n. 4, p. 446-454, 2012.

CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 28, n. 6, p. 1013-1021. 2004.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob Sistema Plantio Direto. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 3, p. 453-461, 2012.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 212p, 1997.

FAO, **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em: <http://www.fao.org/>. Acesso em: Janeiro de 2016.

GLASER, B.; LEHMANN, J., ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soil in the tropics with charcoal – a review. **Biology Fertility Soils**, v. 35, p. 219-230, 2002.

GUPTA, R. K. et al. Spatial variability and sampling strategies for NO3-N, P, and K determinations for sitespecific farming. *Transactions of the ASAE*, Joseph, v. 40, n. 2, p. 37- 343, 1997.

ISAAKS, E.H. & SRIVASTAVA, R.M. **An introduction to applied geoestatisti**cs. New York: Oxford University Press, p. 561, 1989.

KÄMPF, N.; KERN, D.C. O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. In: VIDAL-TORRADO, P.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M.; SILVA, A. P.; CARDOSO, E. J. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005, p.277-320.

LEHMANN, J.; SILVA JUNIOR, J. P.; STEINER, C.; NEHLS, T.; ZECH, W.; GLASER, B. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. **Plant and Soil**, v. 249, p. 343-357, 2003.

LIMA, J. S. S.; SOUZA, G.S.; SIVA, S.A. Distribuição espacial da matéria orgânica, grau de floculação e argila dispersa em água em área de vegetação natural em regeneração e pastagem. **Revista Árvore,** Viçosa, v. 37, n. 3, p. 539-546, 2013.

MACHADO, L. O.; LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 3, p. 591-599, 2007.

MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z.M.; PEREIRA, G.T.; BARBIERE, D.M. Variabilidade espacial de matéria orgânica, P, K e CTC de um latossolo cultivado com cana-de-açúcar por longo período. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, João Pessoa, v. 8, n. 1, p. 153-152, 2008.

MINITAB Release 14.1. **Statistical Software**. US/Canada, 2000.

MOTOMIYA, A. V. A.; CORÁ, J. E.; PEREIRA, G. T. Uso da krigagem indicatriz na avaliação de indicadores de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v. 30, n. 3, p. 485-496, 2006.

MOTOMIYA, A. V. A. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo e produtividade do algodoeiro. *Revista Agrarian*, Dourados, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2011.

SALVIANO, A. A. C.; VIEIRA, S. R.; SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* (L.) em área severamente erodida**. Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 115-122, 1998.

SANCHEZ, R. B.; MARQUES JR, J.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T.; MARTINS FILHO, M. V. Variabilidade espacial de atributos do solo e de fatores de erosão em diferentes pedoformas. **Bragantia**, v. 68, n. 4, p. 1095- 1103, 2009.

SCHIFFER, M.B. "**Formation processes of the archaeological record".** Albuquerque: University of New Mexico Press, 1987.

SCHILINDWEIN, J.A. & ANGHINONI, I. Variabilidade especial de atributos de fertilidade e amostragem de solo no sistema plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 24:85-91, 2000.

Siqueira DS, Marques Júnior J, Pereira GT. The use of landforms to predict the variability of soil and orange attributes. **Geoderma.** 2010;155:5566.

SILVA, V.R.; REICHERT, J.M.; STORCK, L.; FEIJÓ, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.27, p.1013-1020, 2003.

SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. & VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial da resistência a penetração de um Latossolo Vermelho-Escuro ao longo de uma transeção. R. Bras. Ci. Solo, 13:1-5, 1989.

SILVA NETO, S.P; SANTOS A.C; LIMA LEITE, R.L; DIM, V.P; CRUZ, R.S; PEDRICO, A; NEVES NETO, D.N. Análise espacial de parâmetros da fertilidade do solo em região de ecótono sob diferentes usos e manejos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.32, n.2, p. 541-552, 2011.

SILVA NETO, S. P.; SANTOS, A. C.; LEITE, R.L.L.; DIM, V.P.; NEVES NETO, D.N.; SILVA,J.E.C. Variação espacial do teor de matéria orgânica do solo e produção de gramínea em pastagens de capim-marandu. **Bioscience Journal,** Uberlândia**,** v. 28, n. 1, p. 41-53, 2012.

SOUZA, Z. M. de; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MONTANARI, R.; CAMPOS, M. C. C. Soil sampling viewing the determination of chemical and physical attributes in areas with different pedoforms. **Científica,** Jaboticabal, v.34, n.2, p.249-256, 2006.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J. & PEREIRA, G.T.Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. Ci. Rural, 40:48-56, 2009.

SOMBROEK, W. **Amazon soils:** A Reconnaissance of the Soils of the Brazilian Amazon Region. Wageningen, Center for Agricultural Publications and Documentation. p. 292, 1966.

SURFER FORWINDOWS. **Contouring and 3D surface mapping for scientist´s engineers: user´s guide**. Realese 8.0. New York: Golden Software, 2000. Software.

SMITH N. J. H. Anthrosols and human carrying capacity in Amazonian. **Annals of the Association of American Geographers**, Washington, v. 70, n.4, p. 553-566, 1980.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudo da variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. Ed. **Tópicos ciência do solo Campinas**: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1:1-54, 2002.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, T. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Berkeley, v. 51, n. 3, 1-75, 1983.

VIEIRA, S. R.; DECHEN, S. C. F.; SIQUEIRA, G. M.; DUFRANC, G. Variabilidade espacial de atributosNfísicos e químicos relacionados com o estado de agregação de dois Latossolos cultivados no sistema de semeadura direta. **Bragantia**. Campinas. v. 70, n. 1, p. 185-195, 2011.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability ofnsoil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic, 1980. p.319-344.

ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidade em um Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência Rural,** Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 1000-1007, 2007.

## 9. Cronograma de Atividades

| Nº | Descrição | Ago 2015 | Set 2015 | Out 2015 | Nov 2015 | Dez 2015 | Jan 2016 | Fev 2016 | Mar 2016 | Abr 2016 | Mai 2016 | Jun 2016 | Jul 2016 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Atualização da Revisão de Literatura | X | | | | | | | | | | | |
| 2 | Seleção e Identificação da área de estudo. | X | | | | | | | | | | | |
| 3 | Divisão da área em Malhas | | X | | | | | | | | | | |
| 4 | Coleta do Material no Campo | | X | X | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **5** | Análises Laboratoriais | | | | **X** | **X** | **X** | | | | | | |
| **6** | Análises Estatísticas | | | | | | | **X** | | | | | |
| **7** | Discussão dos Resultados | | | | | | | | **X** | **X** | **X** | | |
| **8** | Elaboração do Resumo e Relatório Final (atividade obrigatória) | | | | | | | | | | | **X** | |
| **9** | Preparação da Apresentação Final para o Congresso (atividade obrigatória) | | | | | | | | | | | | **X** |