

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

KHETLEN LEITÃO

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS DO
SOLO EM DIFERENTES MODELOS DE PAISAGEM VISANDO
A DIFERENCIAÇÃO DE ZONAS DE MANEJO**

PONTA GROSSA

2011

KHETLEN LEITÃO

ATRIBUTOS QUÍMICOS E FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS DO
SOLO EM DIFERENTES MODELOS DE PAISAGEM VISANDO
A DIFERENCIAÇÃO DE ZONAS DE MANEJO

Dissertação apresentada à Universidade
Estadual de Ponta Grossa para a obtenção
do título de Mestre em Agronomia – Área
de Concentração em Agricultura. Ênfase
em Uso e Manejo do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Pedro H. Weirich Neto

PONTA GROSSA

2011

Ficha Catalográfica Elaborada pelo Setor de Tratamento da Informação BICEN/UEPG

L533a Leitão, Khetlen
 Atributos químicos e frações granulométricas do solo em diferentes
 modelos de paisagem visando a diferenciação de zonas de manejo /
 Khetlen Leitão. Ponta Grossa, 2011.
 113f.
 Dissertação (Mestrado em Agronomia – Área de Concentração :
 Agricultura. Ênfase em Uso e Manejo do Solo) , Universidade
 Estadual de Ponta Grossa.
 Orientador : Prof. Dr. Pedro H. Weirich Neto

 1. Zonas de manejo. 2. Agricultura de precisão. 3. Variabilidade
 espacial. 4. Pedoformas. I. Weirich Neto, Pedro H. II. T.

CDD: 631.4



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DO CURSO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Titulo da Dissertação: "ATRIBUTOS QUÍMICOS E FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS DO SOLO EM DIFERENTES MODELOS DE PAISAGEM VISANDO ZONAS DE MANEJO AGRÍCOLA".

Nome: Khetlen Leifão

Orientadora: Pedro Henrique Weirich Neto

Aprovado pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Pedro Henrique Weirich Neto

Prof. Dr. Marcia Freire Machado Sá

Prof. Dr. Carlos Hugo Rocha

Data da Realização: 30 de agosto de 2011.

DEDICO

A um pedaço de mim, minha filha Nycolle;

AGRADECIMENTOS

Bom, nem sei por onde começar, pois são tantas as pessoas que passam nas nossas vidas e, que das mais inesperadas formas nos ajudam e acaba sendo impossível numerá-las, porém, tão pouco esquecê-las.

Agradeço ao meu anjo da guarda e aos meus mentores espirituais por terem a difícil missão de me proteger e orientar nos desígnios da minha vida.

Mas nestes últimos tempos, tenho muito a agradecer a uma pessoa em especial, muito mais do que uma simples amiga, mas uma irmã e confidente, que nos momentos mais difíceis me abraçou, ouviram pacientemente meus anseios na tentativa de achar o melhor caminho..... A você Náta! Maild de Souza (viu escrevi certinho, não troquei o d e !), MEU SINCERO MUITO OBRIGADO por tudo que fez por mim e que mesmo que eu queira jamais vou conseguir retribuir, pois sua amizade não tem preço!

Ao Pedrinho..... Ô paciência, teve tempo pra desistir hein! não quis agora só não pode reclamar!!!! Obrigada Tchê, e desculpa por não ter saído como você pretendia!

Ao Prof. Dr. Carlos Hugo Rocha, pela colaboração e ensinamentos compartilhados.

Aos meninos Gabriel, Thiago, Pedro e Kássio por me darem um força no trabalho a campo, pois sem eles não poderia ter feito.

À Jaqueline laboratorista do Laboratório de Matéria Orgânica pela amizade que construí com meu convívio acadêmico e por ter compartilhado bons momentos e pela conversa nos tempo em que permaneci realizando minhas análises.

À laboratorista Dirce por estar sempre “quebrando uns galhos” pra mim.

À todo o pessoal do laboratório de mecanização agrícola (Lama) que de alguma forma contribuiu comigo.

À minha família, que agora é maior, por me apoiar quando precisei principalmente à minha mãe, que por algum tempo cuidou da Nycollita, obrigada!

Enfim a todos que se prestaram a me ajudar o meu MUITO OBRIGADA!!

“A fé necessita de uma base, e essa base é a perfeita compreensão daquilo em que se deve crer. Para crer, não basta ver, é necessário compreender”.

Allan Kardec

“A natureza conserva o que é essencial e se livra do que é inútil. Isso se chama organização.”

Andrew Matthews

RESUMO

ATRIBUTOS QUÍMICOS E FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS DO SOLO EM DIFERENTES MODELOS DE PAISAGEM VISANDO A DIFERENCIAÇÃO DE ZONAS DE MANEJO

RESUMO: Com avanço de métodos e técnicas aplicadas na ciência do solo, muito se questiona sobre a variabilidade espacial de atributos dos solos. O uso de modelos de paisagem poderia auxiliar no mapeamento de áreas com solos mais homogêneos. Este trabalho objetivou investigar o comportamento de atributos e características do solo em dois modelos de paisagem em uma área agrícola na região de Ponta Grossa, PR. Em uma área de 110 ha fez-se a coleta de amostras de solo de 0 - 200 mm e 200 - 400 mm de profundidade, realizando-se 60 amostras por camada. Para o primeiro modelo de paisagem (TROEH, 1965), a área foi dividida em três unidades de vertentes, sendo as pedoformas descritas como Linear (PF1), Côncavo-Convexo (PF2) e Sopé de Deposição (PF3). No segundo modelo (DARLYMPLE, 1968) a área foi segmentada em seis unidades hipotéticas da vertente, sendo estas descritas como Topo (SV1), Ombro (SV2), Terço superior da encosta (SV3), Meia-encosta (SV4), Terço inferior da encosta (SV5) e Sopé (SV6). Nas análises químicas determinou-se pH, H⁺, Al, Al, Ca, Mg, K e P trocáveis, C, e com base neste, determinou-se CTC, CTC_e, SB, V(%), m(%), relações (Ca + Mg), (Ca/Mg) e ((Ca + Mg)/K), e na física, granulometria. Os dados foram analisados por estatística descritiva e análise de variância com comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Concluiu-se que a maior variação no modelo de Troeh (1965) ocorreu na superfície geomórfica PF3 (sopé de deposição) nas duas profundidades. Já para o modelo de Darlymple (1968) ocorre maior variação das variáveis, para todos os seis segmentos, na profundidade de 0- 200 mm, quando comparados com a área total. Em ambos os modelos estudados; as pedoformas e segmentos da vertente foi possível verificar interação com a distribuição dos elementos estudados, principalmente para as variáveis K, P, CTC, areia e argila. Assim, conclui-se que os modelos podem potencialmente ser utilizados para recomendações de zonas de manejo.

Palavras-chave: zonas de manejo, agricultura de precisão, variabilidade espacial, pedoformas.

ABSTRACT

CHEMICAL PROPERTIES AND PARTICLE SIZE FRACTIONS SOIL LANDSCAPE MODELS IN DIFFERENT DIFFERENTIATION OF TARGETING ZONES OF MANAGEMENT

ABSTRACT: As soil science's applied techniques and methods advance, questions regarding spatial variability of soil characteristics arise. Using landscape models could help mapping areas with more homogeneous soils. This article's goal is to investigate how the soil's features behave in a hogback model in an agricultural area in the Ponta Grossa region in Paraná. In a 110 hectare area, soil samples from 0.0 – 0.2 m and 0.2 – 0.4 m deep were collected – 60 samples per layer. The first model of landscape (TROEH, 1965), area was divided into 3 hogback areas, where the landforms were described as Linear (PF1), Concave – Convex (PF2) and Foothill Deposition (PF3). In the second model (DARLYMPLE, 1968) the area was divided into six units of the hypothetical component, which are described as Top (SV1), Shoulder (SV2), Upper Third of the Slope (SV3), Half-slope (SV4), Lower Third the slope (SV5) and Foothill (SV6). The Chemical analysis showed that pH, H⁺, Al, Al, Ca, Mg, K and P can change, C e CTC_e, CTC, SB, V(%), m(%), relations (Ca + Mg), (Ca/Mg) and ((Ca + Mg)/K) and in Granulometry Physics. Data was analyzed by descriptive statistics and variance analysis with comparison of means by Tukey test at 5% probability. Results indicate that the model of landscape (TROEH, 1965) the greatest variation occurred in comparison with landform PF3 (Foothill Deposition) in both depths. As for the model Darlymple (1968) there is greater variation in variables for all six segments at a depth of 0.0-0.2 mm, compared with the total area. In both models studied, the landforms and segments of the strand was possible to verify interaction with the distribution of the elements studied, especially for the variables K, P, CTC, sand and clay. Thus, we conclude that the models can potentially be used for recommendations of tillage zones.

Key words: Tillage zones, precision agriculture, spatial variability, landform.

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 1 – Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na profundidade de 0-200 mm.....	38
Tabela 2 - Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na profundidade de 200 – 400 mm.....	42
Tabela 3 - Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na pedoforma Linear (PF1) na profundidade de 0-200 mm.....	47
Tabela 4 - Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na pedoforma Côncavo-Convexo (PF2) na profundidade de 0 - 200 mm.....	49
Tabela 5 - Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na pedoforma Sopé (PF3) na profundidade de 0 – 200 mm.....	51
Tabela 6 - Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na pedoforma Linear (PF1) na profundidade de 200 – 400 mm	52
Tabela 7 - Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na pedoforma Côncavo-Convexo (PF2) na profundidade de 200 - 400 m.....	53
Tabela 8 - Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na pedoforma Sopé (PF3) na profundidade de 200-400 mm	55
Tabela 9 - Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na segmentação vertente Topo (SV1) na profundidade de 0 – 200 mm.....	57
Tabela 10 - Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na segmentação vertente Ombro (SV2) na profundidade de 0 – 200 mm.....	58
Tabela 11 - Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na segmentação vertente Terço Superior da Encosta (SV3) na profundidade de 0 – 200 mm.....	60
Tabela 12 - Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na segmentação vertente Meia Encosta (SV4) na profundidade de 0 – 200 mm.....	61

Tabela 13 - Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na segmentação da vertente terço inferior da encosta (SV5) na profundidade de 0 – 200 mm.....	63
Tabela 14 - Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na segmentação da vertente sopé (SV6) na profundidade de 0 – 200 mm.....	65
Tabela 15 - Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na segmentação da vertente topo (SV1) na profundidade de 200 - 400 mm.....	67
Tabela 16 - Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na segmentação da vertente ombro (SV2) na profundidade de 200 – 400 mm.....	68
Tabela 17 - Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na segmentação da vertente terço superior da encosta (SV3) na profundidade de 200 – 400 mm	69
Tabela 18 - Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na segmentação da vertente meia encosta (SV4) na profundidade de 200 – 400 mm	71
Tabela 19 - Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na segmentação da vertente terço inferior da encosta (SV5) na profundidade de 200 - 400 mm.....	72
Tabela 20 - Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na segmentação da vertente sopé (SV6) na profundidade de 200-400mm.....	73
Tabela 21 - Análise Descritiva e de Normalidade das variáveis transformadas nas pedoformas (Troeh) (profundidade 0 – 200 mm).....	79
Tabela 22 – Teste de comparação de médias entre as 3 pedoformas na profundidade de 0 – 200 mm.....	81
Tabela 23 – Análise Descritiva e de Normalidade das variáveis transformadas nas pedoformas (Troeh) (profundidade 200-400 mm).....	82
Tabela 24 – Teste de comparação de médias entre as 3 pedoformas na profundidade de 200 – 400 mm.....	83
Tabela 25 - Análise Descritiva e de Normalidade das variáveis transformadas nas segmentações (Dalrymple) (profundidade 0-200 mm).....	86
Tabela 26 - Teste de comparação de médias entre as 6 segmentações da vertente na profundidade de 0 – 200 mm.....	87

Tabela 27 - Análise Descritiva e de Normalidade das variáveis transformadas nas segmentações (Dalrymple) (profundidade 200-400 mm)..... 91

Tabela 28 - Teste de comparação de médias entre as 6 segmentações da vertente na profundidade de 200 – 400 mm.....92

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Formação e transformação: relação solo x geomorfologia.....	15
2.2 Modelos de Paisagem.....	16
2.3 Variabilidade dos solos: simples ou complexa?.....	20
2.4 Abordagens matemática dos solos: métodos e modelos	23
3. OBJETIVO	29
3.1 Objetivo geral.....	29
3.2 Objetivo específico.....	29
4. MATERIAL E MÉTODOS	30
4.1 Caracterização da área de estudo	30
4.2 Caracterização da área de estudo.....	30
4.3 Amostragem	33
4.4 Modelos de paisagem	34
4.4.1 Modelo de Troeh (1965)	34
4.4.2 Modelo de Dalrymple et al. (1968).....	35
4.5 Variável Dependente	36
4.5.1 Análises químicas	36
4.5.2 Análises físicas.....	36
4.5.3 Análise estatística.....	36
4.5.4 Representações gráficas	37

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5. Análises descritivas da área total.....	38
5.1 Análises descritiva das unidades de paisagem propostas por Troeh (1965).....	45
5.1.1 Profundidade de amostragem 0–200 mm	45
5.1.1.1 Modelo Troeh: Pedoforma linear (PF1)	45
5.1.1.2 Modelo Troeh: Pedoforma côncavo-convexo (PF2)	48
5.1.1.3 Modelo Troeh: Pedoforma sopé de deposição (PF3)	49
5.1.2 Profundidade de amostragem 200 – 400 mm	52
5.1.2.1 Modelo Troeh: Pedoforma linear (PF1)	52
5.1.2.2 Modelo Troeh: Pedoforma côncavo-convexo (PF2)	53
5.1.2.3 Modelo Troeh: Pedoforma sopé de deposição (PF3)	54
5.2. Análises descritiva das unidades de paisagem propostas por Darlymple et al. (1968)	56
5.2.1 Profundidade de amostragem 0 – 200 mm	56
5.2.1.1 Modelo Darlymple: Segmentação Vertente topo (SV1).....	56
5.2.1.2 Modelo Darlymple: Segmentação Vertente ombro (SV2)	57
5.2.1.3 Modelo Darlymple: Segmentação Vertente Terço Superior da Encosta (SV3)	59
5.2.1.4 Modelo Darlymple: Segmentação Vertente Meia Encosta (SV4).....	60
5.2.1.5 Modelo Darlymple: Segmentação Vertente Terço Inferior da Encosta (SV5)	62
5.2.1.6 Modelo Darlymple: Segmentação Vertente Sopé (SV6).....	64
5.2.2 Profundidade de amostragem 200 – 400 mm	66
5.2.2.1 Modelo Darlymple: Segmentação Vertente Topo (SV1)	66
5.2.2.2 Modelo Darlymple: Segmentação Vertente Ombro (SV2)	67
5.2.2.3 Modelo Darlymple: Segmentação Vertente Terço Superior da Encosta (SV3)	69

5.2.2.4 Modelo Darlymple: Segmentação Vertente Meia Encosta (SV4).....	70
5.2.2.5 Modelo Darlymple: Segmentação Vertente Terço Inferior da Encosta(SV5)	71
5.2.2.6 Modelo Darlymple: Segmentação Vertente Sopé (SV6).....	72
5.3 Considerações gerais da Análise Descritiva.....	74
5.4 Análise de Variância e Comparação de Médias	78
5.4.1 Modelo Troeh (1965): análise de comparação de médias.....	78
5.4.1.1 Profundidade de amostragem 0–200 mm	78
5.4.1.2 Profundidade de amostragem 200–400 mm	82
5.4.2 Modelo Darlymple et al. (1968): Análise de Comparação de Médias	85
5.4.2.1 Profundidade de amostragem 0 -200 mm	85
5.4.2.2 Profundidade de amostragem 200–400 mm	90
5.4.3 Discussão da Análise de Comparação de Médias	93
5.5 Representações gráficas.....	97
5.5.1 Profundidade de amostragem 0–200 mm.....	97
5.5.2 Profundidade de amostragem 200–400 mm.....	101
6. CONCLUSÃO.....	105
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	107

1. INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão, técnica que visa à maximização de uso dos solos para as atividades agrícolas, é baseada em teorias já conhecidas de manejo do solo. Porém, as informações geradas muitas vezes não são aproveitadas de forma coerente, devido ao não conhecimento da capacidade de uso do ambiente trabalhado, ocorrendo assim não o uso, mas sim o “abuso” do solo.

Atualmente vêm se questionando a determinação da variabilidade espacial de atributos e características dos solos e plantas, gerando desta forma, grandes discussões sobre o tema, mesmo após a introdução da teoria das variáveis regionalizadas.

Considerando que parte da variabilidade está associada aos processos de formação do solo, ou seja, associada a diversas fontes de variação, a determinação de padrões e métodos na tentativa de quantificar ainda são poucos. Contudo a necessidade de uma visão holística para melhor compreensão do fenômeno rendimento das culturas. Pois existem alguns consensos, mas nada que padronize ou tome como verdade absoluta alguma técnica para sua determinação e validação.

Nesta nova “técnica” um fator diferenciado é a forma de amostragem, apontada como sendo de importância para a determinação da variabilidade espacial do ambiente. Porém muitos casos não são empregados os conhecimentos sobre a geomorfologia e pedogênese, junto à coleta de informações de variabilidade.

Ressalta-se ainda que na exploração agrícola, baseada na economia de escala a agricultura de precisão ocupa-se principalmente com os atributos químicos do solo, tentando intensivamente homogeneizar a variabilidade destes, como se fossem únicos e não apenas um dos componentes da variabilidade apresentada no ambiente.

Sabe-se, por exemplo, que todo solo é heterogêneo estruturalmente na vertical e horizontal, principalmente na distribuição granulométrica. Além disto, deve-se considerar, juntamente com a variabilidade casual, a sistemática; impostas pelo manejo do solo.

De acordo com Álvares et al. (2003), muitos estudos têm demonstrado que as diversas formas de amostragem e tratamento de dados, onde muitas vezes a escolha dos pontos amostrados é realizada por software específico (SIG) ou pré-estabelecidos pelo tamanho da área, geralmente não levando em consideração a correlação solo-paisagem que poderiam ser indicativas para tal tipo de ação.

A associação das formas da paisagem (pedoforma) à variabilidade espacial dos atributos dos solos pode contribuir na identificação e mapeamento de áreas mais homogêneas, com limites mais precisos entre elas (SOUZA et al., 2003), o que permitiria que técnicas agronômicas possam ser transferidas com facilidade e economia para ambientes semelhantes. Pois as pedoformas, em áreas de mesma classe de solo e mesmo histórico de manejo durante longo dos tempos, influenciam a variabilidade dos atributos dos solos de maneira sistemática (MONTANARI et al., 2005).

Assim ao explorar grande quantidade e diversidade de informações levantadas sobre as características dos solos, por exemplo, a interação entre fatores como a morfologia do relevo que poderia favorecer a determinação de zonas de manejo.

Desta forma, neste trabalho foi investigada a influência de modelos de paisagem, em área agrícola, na variabilidade espacial de atributos químicos e físicos do solo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Formação e Transformação: Relação Solo x Geomorfologia

Os processos pedogenéticos mais importantes, conforme Oliveira (2008) são os de adição, perda, transporte seletivo e transformação, sendo estes responsáveis pela formação de horizontes e camadas, com diferentes características, que compõem os perfis de solos.

Estas variações, qualitativa e quantitativamente, devem-se a organização, constituição e comportamento dos solos de forma contínua na paisagem. Assim, horizontes ou camadas desaparecem gradativamente ou bruscamente, enquanto outras surgem gradativamente ou bruscamente na paisagem (OLIVEIRA, 2008).

Com relação ao termo paisagem, inúmeras vezes associa-se as formas do relevo como sinônimo. Entretanto, Soares Filho (1998) ao lembrar que o conceito introduzido por Alexander Von Humbolt no século XIX, cuja definição seria o caráter de uma área geográfica, não podendo apenas considerar as feições fisiográficas, geológicas e geomorfológicas de uma região da crosta terrestre, sem negligenciar os aspectos envolvidos, inclusive os antrópicos (Figura 1).

Assim, quando se associa a paisagem com formas de relevo pode-se pré-determinar e identificar as seqüências típicas de distribuição de solos dentro de cada região (Prado, 2008). As formas do relevo podem ser indicadores da variação dos atributos do solo, pois essa variabilidade pode ser causada por pequenas alterações do gradiente topográficas que afetam os processos pedogenéticos, bem como o transporte e o armazenamento de água no perfil do solo (SANCHEZ et al., 2009).

As pedoformas, em áreas de mesma classe de solo e mesmo histórico de manejo antrópico, influenciam a variabilidade dos atributos dos solos de maneira sistemática (MONTANARI et al., 2005). A determinação de atributos como granulometria, matéria orgânica, estrutura e densidade do solo, juntamente com a utilização de métodos que organizam a superfície do terreno de acordo com modelos geomorfológicos de paisagem, mostram-se potencialmente para melhorar a predição e variabilidade de atributos dos solos (MOORE et al., 1993).

Vários autores se propuseram a estudar e discutir as relações entre as condições do solo e o relevo (TROEH, 1965; RUHE et al., 1967; DALRYMPLE et al., 1968; DANIELS et al., 1971; LARK, 1999 apud CAMPOS et al., 2006), nestes casos vários modelos de paisagem foram utilizados.

Há uma diversidade de modelos onde a forma do relevo é uma porção de terra definida no espaço e no tempo, bem como na curvatura do terreno (CAMPOS et al., 2006). O modelo de paisagem proposto por Troeh (1965), não considerando o relevo apenas uma porção no espaço, mas sim, um passo inicial para a observação do funcionamento de um sistema. É baseado na curvatura do terreno, onde as pedoformas são denominadas de lineares, côncavas e convexas, associadas ao perfil e a curvatura da paisagem com o grau de intemperismo e a evolução do terreno.

Outros modelos, como o proposto por Dalrymple et al. (1968), com a mesma base de curvatura do terreno, traz uma divisão hipotética da vertente em 9 subdivisões, recebendo denominações que vão de topo, passando por ombro e meia-encosta até sopé.

De acordo com Gobin et al. (2001) em muitas paisagens os processos de desenvolvimento do solo são uma resposta ao fluxo de água subterrânea e superficial. Assim, levantamentos quantitativos de rotina de solos, juntamente com a forma do relevo, podem ser ferramentas adequadas para a previsão espacial de atributos e

características de solo, como a textura, e ainda, pode indicar comportamentos de atributos e características que são influenciados pela movimentação de água e sedimentos.

No entanto, Lin et al. (2005) e Momtaz et al. (2009) sugerem que é necessário a utilização de escalas adequadas. Os mesmos autores relatam que a paisagem e os processos do solo que afetam o desenvolvimento de uma catena (seqüência de solos relacionados que diferem principalmente devido a topografia e drenagem) são pouco conhecidos e necessitam de maiores investigações.

O modo e magnitude dos fatores citados acima (topografia e drenagem), dependem de onde o solo está localizado na paisagem (localização espacial) e que tipo de solo ou propriedade específica do solo é de interesse (Lin et al., 2005). Observa-se o comentado, através de trabalho de Momtaz et al. (2009) onde com a diminuição da escala, ocorrem fontes de menor escala de variabilidade, tais como formas de relevo, posição na paisagem e uso do solo, podendo ser compreendidos através da variabilidade da escala regional.

A escala de estudo, segundo Pennock & Veldkamp (2006), deve se ajustar as necessidades e interesses, e corresponder à dimensão do transporte lateral dos processos que estão sendo considerados, uma vez que as características do solo e processos não podem ser entendidos isoladamente do seu contexto espacial e temporal. As transferências laterais de água, solutos e sedimentos, são fundamentais para explicar o atributo do solo ou processo em um determinado ponto na paisagem.

Partindo desta base, estudos desenvolvidos por Gobin et al. (2001); Lin et al. (2005); Bishop & Lark (2007); Liu et al. (2009); Souza et al. (2009); Momtaz et al. (2009), Vasát et al. (2010), Camargo et al. (2010a) e Silva Jr. et al.(2010) entre outros,

visam a utilização das formas do relevo na quantificação de variabilidade de características e atributos físico, químicos e hídricos.

Nota-se que o uso da técnica não é recente, porém vem tendo destaque na última década. Na tentativa de quantificar a variabilidade espacial da textura do solo através de modelos de elevação digital no sudeste da Nigéria, Gobin et al. (2001) encontraram correlações significativas. Os autores ainda concluíram que o trabalho apresentou bom resultado devido à baixa resolução do modelo digital do terreno (50 m) e à alta variabilidade nas propriedades do solo; o modelo explicou 41 a 75% da variabilidade dos atributos do solo estudados.

Utilizando também modelos de paisagem, Camargo et al. (2010a) correlacionaram a distribuição espacial de densidade, macro e microporosidade e porosidade e os limites dos segmentos de vertentes, tendo estes influenciado na distribuição espacial dos elementos estudados. Resultados semelhantes foram encontrados no estudo realizado por Silva Jr et al. (2010) que avaliou características estruturais do solo (densidade, macro, microporosidade e porosidade total) com frações granulométricas do solo até a profundidade de 0,40m; onde pequenas variações da forma do relevo influenciaram na distribuição espacial dos atributos.

Analisando a relação de atributos físicos e a mineralogia da argila em um Latossolo Vermelho, Souza Jr. et al. (1999) identificaram que a variabilidade espacial de propriedades físicas e mineralógicas do solo possuem variações em função da forma do relevo. Matias et al. (2010) afirmam que a divisão de áreas através do critério de superfícies geomórficas associada ao uso da suscetibilidade magnética, mostrou-se uma técnica alternativa que permitiu mapear e identificar áreas mais homogêneas e específicas de manejo, no município de Guariba, São Paulo.

Entretanto não são apenas as características físicas dos solos que são associadas a modelos de vertente, Camargo et al. (2010b) realizaram estudo semelhante dividindo uma vertente em três segmentos, observaram correlação entre as superfícies geomórficas e as variáveis bases trocáveis, pH e matéria orgânica.

Desta forma, a utilização de modelos que diferenciem os segmentos da vertente mostra-se interessante na delimitação de áreas específicas de manejo de solos, porém ainda há necessidade de entender melhor a interação que considerem os processos físico-químicos para melhor compreensão do ambiente.

Contudo, de todas as características e atributos estudados com base nesta linha de pesquisa que expressaram melhor correlação com a geomorfologia, foram os atributos físicos, com destaque para a granulometria e em alguns casos a porosidade (KERRY & OLIVER, 2004).

A composição granulométrica é uma das características do solo relacionadas ao material de origem, já sua distribuição e variabilidade espacial são fatores relacionados aos processos de intemperização, forma de composição do ambiente, tipo de relevo e gradiente topográfico. Em áreas agrícolas, o manejo antrópico empregado também se torna fator de importância (GREGO & VIEIRA, 2005).

A utilização de modelos de paisagens pode propiciar melhor entendimento do sistema de fluxo de água no terreno e permite o entendimento das relações geomorfologia-estratigrafia e pedologia, sendo útil para a compreensão dos processos genéticos e do comportamento dos solos (CAMPOS et al., 2006).

2.3 Variabilidade dos Solos: Simples ou Complexa?

Com o avanço dos métodos e tecnologias aplicadas na ciência do solo a deter-

minação da variabilidade espacial de atributos e características dos solos ainda é questionada. Desde a década de 80, vem se fazendo progressos principalmente após a introdução da teoria das variáveis regionalizadas, para a determinação da estimativa espacial de atributos do solo (BRUS & GRUIJTER, 1997), mas no entanto, fora do ambiente da pesquisa pouco se utiliza; talvez um dos erros seja a idéia de obter solução única e exata.

Outro fator mencionado por estatísticos e pedólogos está relacionada à necessidade de uma visão holística para o entendimento do ambiente:

.....“ O ambiente não é um simples somatório de fatores que, analisados individualmente, nos levaria a sua compreensão total. O que existe é uma combinação infinita e aleatória destes fatores que torna a estrutura, o estudo e o encaminhamento de soluções tarefas para uma abordagem não mais multidisciplinar, mas, sim, transdisciplinar” (Guerra & Marçal, 2006) .

Considerações feitas por Crawford (2010) mostram que os progressos na área de Ciência do Solo, dependeram da compreensão do comportamento integrado do solo como um sistema, particularmente dos pontos específicos que regulam o estado dinâmico e a robustez do sistema para a mudança. Acrescentando ainda que talvez o maior desafio esteja em trabalhar com a complexidade da descrição do solo.

Entretanto são tantos os fatores que compõem este sistema e favorecem para a ocorrência da variabilidade, que compreendê-los na sua totalidade é humanamente impossível devido ao desconhecimento de muitas interações e inter-relações das variáveis que o compõem.

Porém, para Crawford (2010) é possível tolerar níveis altos de uma incerteza mesmo com a ignorância de interações e ainda descrever o comportamento do sistema com acurácia. Já para Aquino (2001), existem muitas incertezas no que deve ser feito,

porque as ações estão concentradas em contingentes singulares, que em razão da sua vicissitude, são incertezas.

Assim, Lark (2001) retrata que apesar dos avanços presentes na ciência do solo, sempre haverá pontos de incertezas, mesmo com a inclusão de novas descobertas que contribuam para compreender a complexidade. Esta, segundo Heuvelink & Webster (2001), é representada pela variação do solo e por ser tão multidisciplinar que nenhuma descrição pode ser completa, e por isso, a previsão é inevitavelmente incerta. Contudo o autor comenta ainda que os pesquisadores na área de solos devem ser capazes de quantificar e gerenciar tal incerteza.

Sendo este o caso, não um processo interativo de desenvolvimento de modelos e testes empíricos que levará a um nível adequado de entendimento da complexidade, na descrição para identificar os dados que são ou não importantes (LARK , 2001), mas sim a representação da variação através de modelos, que podem ser em parte deterministas, mas não em sua totalidade, contendo alguns fatores aleatórios para representar a variação imprevisível (WEBSTER, 2001).

Mesmo que todos os modelos tenham algum grau de incerteza, independentemente da forma como ocorre sua previsão e as diferenças que apresentem, todos serão pressuposições de como o solo se comporta no espaço e no tempo (HEUVELINK & WEBSTER, 2001).

Assim, a compreensão do comportamento de propriedades do solo e o entendimento das práticas de uso, cada vez mais vêm se tornando quantitativas, descrevendo o solo através de modelos numéricos e matemáticos, visando prever formas probabilísticas de valores e respostas para alterações das circunstâncias diante deste contexto de incerteza. (WEBSTER, 1997a).

2.4 Abordagens Matemática dos Solos: Métodos e Modelos

Acredita-se que os métodos matemáticos (determinístico) juntamente com o conhecimento humano (empírico) contribuam de forma mais determinística ao conhecimento dos sistemas complexos como os solos. Porém ainda há inúmeros trabalhos que se ocupam apenas em determinação de métodos de obtenção de variáveis, esquecendo-se da importância do conhecimento natural, intuitiva do homem, aliada ao conhecimento técnico-científico.

Considerando estes fatores, Webster (2000, 2001) relata ainda a importância de outras fontes de variabilidade associadas principalmente ao homem, à exemplo dos manejos aplicados; bem como, fontes adicionais de variação resultante de observações pessoais daqueles que as realizam, além da imprecisão dos instrumentos, das técnicas de laboratório, e da amostragem.

De todos os fatores relacionados ao homem, pode-se destacar dois que a muito geram discussões e que ainda não há consenso entre os pesquisadores, o desenho amostral e o método estatístico a ser utilizado para estudar e concluir. Vê-se isto pela enormidade de trabalhos; contudo, grande parte da base conceitual obedece sempre aos mesmos pesquisadores (WEBSTER, 1997b; 2000; 2001; 2007; BRUS & GRUIJTER, 1997; LARK, 2000; 2005; MACBRANTNEY et al., 1999; 2000; MINASNY et al., 1999; 2001 entre outros).

Com relação a amostragem, (GROENINGEM et al., 1999) destaca-se os custos de pesquisa como um importante fator de influência. Entretanto, os autores salientam que embora a amostragem intensiva acarrete em elevação dos custos, resulta em maior visualização da variabilidade espacial de uma determinada variável regionalizada,

enquanto a amostragem esparsa, embora com custos menores, possa perder em acurácia na visualização de importantes características espaciais.

A busca de estratégias de desenhos amostrais baseadas em custo-benefício, em circunstâncias específicas pelo uso otimizado de informação prévia tem sido um dos principais desafios (NEYMAN, 1934, 1938; COCHRAN, 1946; HORVITZ e THOMPSON, 1952; YATES, 1960; ROYALL, 1971 apud BRUS & HEUVELINK, 2007).

Alguns estudos se concentram na estimativa do variograma das propriedades do solo (WEBSTER & OLIVER, 1992), outros na otimização de amostragem para os processos hidrogeológicos espacialmente distribuídos (CHRISTAKOS e OLEA, 1992), e ainda outros preconizam o mapeamento digital de solos (MINASNY & McBRATNEY, 2006; BRUS e HEUVELINK, 2007). No entanto, geralmente são consideradas áreas em forma regular, em que nenhuma informação auxiliar é anexada à amostragem, realizado em grid regular (quadrado, triangular ou hexagonal) e frequentemente recomendada (VASAT et al., 2010).

Como em todo experimento de qualquer área busca-se a melhor representação da população em qual há interesse, no entanto Gustavsson et al. (2006) ressaltam a necessidade de atenção especial aos erros associados a etapa de determinação da variabilidade do solo. Principalmente para fornecer resultados com mais acurácia e reduzir as incertezas na caracterização do solo.

Outra questão fundamental, está relacionada ao uso do "modelo básico", com base na teoria da amostragem clássica, e "modelo baseado em abordagens de amostragem", que se baseia na geoestatística (LARK & CORSTANJE, 2009).

Isso se faz necessário para obtenção de mapas detalhados da variação das propriedades do solo de interesse, na tentativa de gerir estes de forma mais específica.

Assim prever (interpolare) com acurácia o mapeamento, assim como o intervalo no qual o solo deve ser amostrado depende da escala de variação espacial (KERRY & OLIVER, 2004).

Contudo a variação do solo, segundo Lark & Corstanje (2009), é causada por fatores que operam em diferentes escalas espaciais, desde as muito “finas” de variação e de curto alcance (conteúdo de água) a muito “grosseiras” com variações continental (umidade do solo em escala decorrentes do clima).

Observando o comportamento das técnicas utilizadas, Brus & Gruijter (1997) relatam que muitas publicações já haviam abandonado a estatística clássica e adotado a geoestatística. Desta forma na determinação do desenho amostral, não apenas para a pesquisa mas também no cenário agrícola, vêm sendo empregado os princípios da dependência espacial.

Com relação ao uso da geoestatística, o mesmo autor comenta ainda, que questões permanecem sobre o papel da amostragem, desde a década de 80, como a qualidade dos resultados quando o modelo é mal especificado e a subjetividade das escolhas feitas na análise geoestatística.

Para o primeiro modelo (estatística clássica) não se faz qualquer suposição de independência, mas cria-se independência através de sorteio. Por este motivo, muitos trabalhos tenham afirmado repetidamente que métodos de estatística clássica no desenvolvimento do desenho amostral e inferência, são inaplicáveis em ciência do solo (CRAWFORD, 2010).

No entanto, a pressuposição de independência, no ambiente geológico, não é aplicável. A distribuição de probabilidade de todas as realizações possíveis é a ferramenta básica para a inferência. Isto implica que a amostra não precisa ser

selecionada por um procedimento aleatório, porque o valor desconhecido num dado local e tempo já é considerado como aleatório, não fixo (BRUS & GRUIJTER, 1997).

Já a geoestatística, preconiza o uso de variogramas, e Kerry & Oliver (2004) demonstram duas maneiras que podem guiar a amostragem. Pode ser utilizado um intervalo de amostragem de menos de metade do alcance de dependência espacial, ou o variograma pode ser usado com as equações de krigagem para determinar um intervalo de amostragem ideal para atingir um determinado erro tolerável.

A amostragem na geoestatística acaba sendo a única fonte de estocasticidade implicando que o valor desconhecido em qualquer local e tempo é considerado como fixo, não aleatório. Este processo estocástico não é um experimento planejado como na abordagem clássica, mas é uma abstração matemática usada para descrever a realidade, onde o homem acaba sendo induzido por processos de seleção pré-determinados. Consequentemente, a probabilidade de ocorrência dos resultados elementares deste processo, não são conhecidos, mas necessitam ser modelados (Brus & Gruijter, 1997).

Ocorre que para se estimar um variograma, Webster & Oliver (1992) indicam que seja necessário pelo menos 150 valores para uma função aleatória estacionária. Ou seja, para Lark (2001), a aplicação desta prática na agricultura de precisão geralmente não é viável.

Para os dois métodos, é cabível a consideração que ambos trabalham apenas de forma univariada, informação isolada, e como vem se preconizando desde o início, necessita-se de meios que nos possibilitem o estudo de interações.

A importância desta interações para Crawford (2010), permitiram realizar avanços, através de uma consequência direta sobre a não-linearidade de condições inerentes ao solo, compreendendo os componentes de forma não mais isolada.

Porém como todo método, ainda existem grandes desafios para este tipo de abordagem não linear de sistemas. Neste caso poderiam ser considerados 4 desafios: o primeiro deles é a complexidade e, especificamente, o grande número de interações, o segundo é a heterogeneidade espacial; o terceiro é a incerteza e o nível de ignorância inevitável de todas as interações e o quarto e último é vincular conhecimento quantitativo com qualitativo (CRAWFORD, 2010).

Em trabalhos realizados por Lark (2000) utilizando a lógica fuzzy para planejamento de amostragem e cálculo de variogramas, este demonstra a possibilidade do uso da metodologia para fazer uma observação sobre a incerteza no variograma. Isto torna esta ferramenta útil para o planejamento de amostragem quando as informações precisas sobre variabilidade espacial não estão disponíveis.

Mais adiante Lark (2005) utiliza método de amostragem localizada, porém associado a análise estatística multivariada. Esta metodologia foi aplicada por Corstanje et al. (2007) para investigar a correlação entre atividade da urease em solo com diferentes propriedades em diferentes escalas, bem como por Momtaz et al. (2009) no estudo da variabilidade de atributos do solo entre pedoformas no Iran.

Nas últimas décadas ao empregar-se nas pesquisas de ciência do solo a análise multivariada, o método está trazendo consideráveis avanços ao correlacionar muitas variáveis simultaneamente, permitindo desta forma, a extração de uma quantidade maior de informações. (Poppi & Valarini, 2000).

Outros modelos também são testados como demonstra o trabalho realizado por Lark & Corstanje (2009), que utiliza a amostragem localizada, analisada com um modelo linear misto, em que os componentes de variância são parâmetros que podem ser estimados por máxima verossimilhança residual (REML). O autor conclui que seja possível propor uma alternativa de parametrização da variância, em que esta dependa de

algumas variáveis auxiliares, e por isso geralmente não é homogênea nem estacionária, pressupostos estes necessários à estatística clássica e geoestatística respectivamente.

Os métodos geoestatísticos, muito utilizados atualmente, de interpolação espacial, atendem à necessidade crescente por informação quantitativa do solo, mas exigem amostragens intensivas para estabelecer áreas de autocorrelação espacial e são de uso limitado, em situações de terrenos complexos com descontinuidades (WEBSTER & OLLIVER, 1992). Além disso, eles expressam a variação do solo apenas em termos espaciais excluindo o conhecimento da relação entre as propriedades do solo e da paisagem (GOBIN et al., 2001).

Através de bases filosóficas como estas, pode se observar que diversos métodos são propostos para estudar e compreender a variabilidade existente no solo e, que apesar de tudo o que já foi realizado, ainda há necessidade de progresso nas pesquisas.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Investigar a influência de modelos de paisagem, na variabilidade espacial de atributos químico e frações granulométricas do solo.

3.2 Objetivo Específico

Investigar a utilização de dois modelos de paisagem, baseados na morfologia da vertente e na segmentação em unidades hipotéticas, em área agrícola na região de Ponta Grossa, Paraná; visando determinar a variabilidade de atributos químico e frações granulométricas do solo.

Analisar o comportamento entre as pedoformas e segmentos da vertente para recomendação de zonas de manejo utilizando uma grade amostral regular.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização da Área de Estudo

A área de estudo situa-se na Unidade de Produção Agrícola Rosário, município de Ponta Grossa, Paraná, localização aproximada, coordenadas UTM $x=605881.03$ m e $y=7202855.74$ m S (quadrante 22J) ou coordenadas geográficas $25^{\circ}17'13,31''$ latitude Sul e $49^{\circ}56'53,93''$ longitude Oeste; com altitude aproximada de 880 m. O clima da região caracteriza-se como Cwa (Köppen), clima temperado propriamente dito; temperatura média no mês mais frio abaixo de 18°C (mesotérmico), com verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de 22°C , geadas frequentes, e sem estação seca definida (CAVIGLIONE et al., 2000).

4.2 Caracterização da Área de Estudo

As Unidades Litoestratigráficas descritas na Folha de Ponta Grossa (MINEROPAR, 2006), permite situar a área no Segundo planalto paranaense na sub-unidade de São Luíz do Purunã, sob transição geológica entre os Grupos Paraná e Itararé (FIGURA 2).

O Grupo Paraná é representado pela Formação Furnas com presença de arenitos quartzosos, de colorações que vão do branco ao amarelado, e predominância de tamanho médio a grosseiro, com arenito caulínítico. Já o Grupo Itararé é representado pela formação do Itararé Indiviso, sendo composto por arenitos finos a médios, rosados, com diamictitos subordinados (MINEROPAR, 2006).

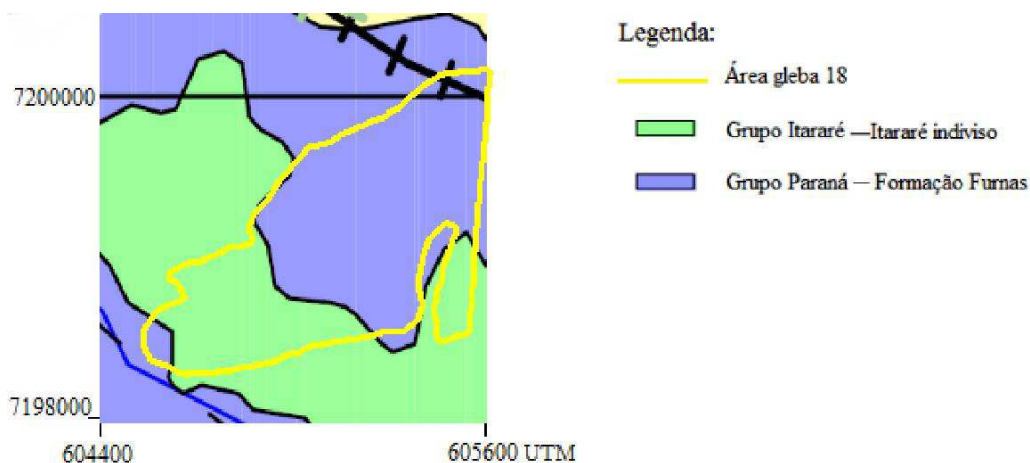


Figura 2 – Unidades litoestratigráficas. **Fonte:** Folha Ponta Grossa 1:250000.

Grande parte da área de estudo, apresenta o relevo com gradiente topográfico variando de 6 a 13% na parte superior e média e, de 0 a 6% na parte inferior. Porém, existem na parte média situações em que o relevo apresenta variações de gradiente de 20 a 45%. Sendo assim pode-se caracterizar o relevo, como predominantemente suave ondulado (FIGURA 3).

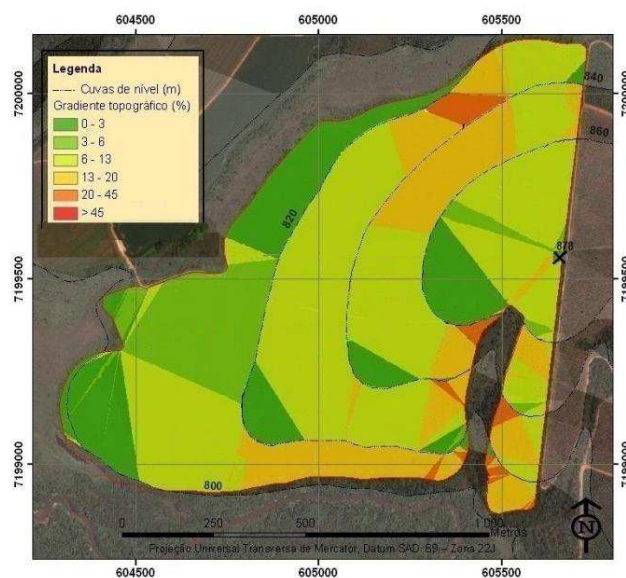


Figura 3 - Mapa com as classes de gradiente topográfico da área de estudo.

A seleção da área de estudo dentro da propriedade foi baseada no mapa de

levantamento de solos gerado pela Fundação ABC, em nível detalhado (escala 1:10.000), com objetivo de se obter as classes de solos mais representativas da região dos Campos Gerais de acordo com SÁ (2007). O mapa de solos (FIGURA 4) demonstra a ocorrência de dois tipos de solos, com predominância de LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico na maior parte da área e nas partes mais baixas. Na área de entorno ocorre à presença de CAMBISSOLO HÚMICO distrófico, representando uma seqüência típica de distribuição de solos na paisagem da região.

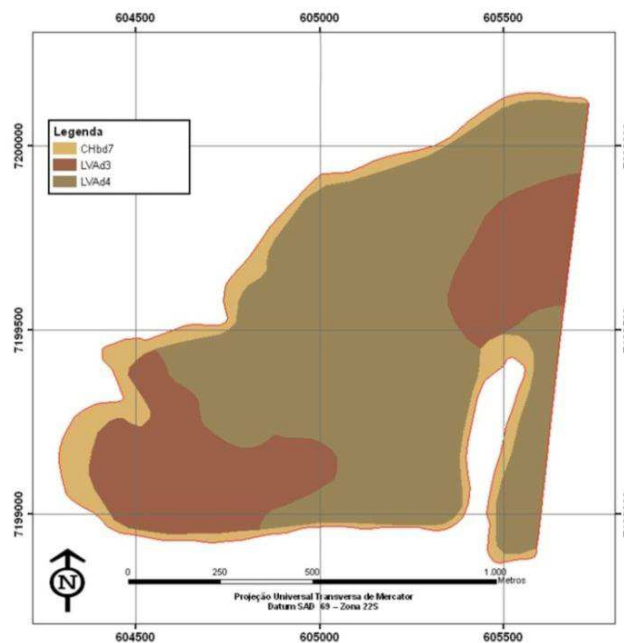


Figura 4 - Mapa com descrição da ocorrência de classes de solos na área de estudo.

A área é considerada e utilizada pelo responsável técnico como homogênea, com mais de 30 anos de cultivo agrícola. Isto é, a manutenção e reposição de fertilidade química e todos os manejos são realizados com recomendação única e o manejo adotado é o Sistema Plantio Direto (SPD). No ano agrícola de 2008/2009 o cultivo da área foi realizado com milho no verão e trigo no inverno, já para o ano de 2009/2010 o cultivo

foi realizado com soja no verão e aveia preta no inverno, realizando-se a coleta das amostras entre o intervalo destas culturas.

4.3 Amostragem

A realização da amostragem em grade regular obedeceu à metodologia empregada comercialmente. As empresas privadas prestadoras de serviço, em gerenciamento de variabilidade espacial de solo, adotam amostragens em intervalo regular de 2 hectares, gerados automaticamente por programa computacional do tipo SIG, específico ou não, sendo que os critérios pedológicos, geomorfológicos ou agrônômicos não foram adotados para tal prática. Para o caso em estudo, utilizando tal metodologia, chegou-se a 60 pontos amostrais em aproximadamente 111 hectares.

Em cada ponto desta malha, as amostras de solo foram coletadas nas profundidades de zero - 200 mm e de 200 a 400 mm, com trado tipo Holandês em amostragem composta com cinco subamostras para cada ponto. A primeira subamostra foi retirada no ponto indicado pelas coordenadas do desenho amostral, já as demais subamostras foram retiradas de forma radial ao ponto inicial.

Utilizando critérios científicos baseados na pedoforma do relevo e dinâmica da água, duas metodologias foram utilizadas para o estudo de gerenciamento de variabilidade espacial do solo através de prováveis zonas de manejo. A metodologia proposta por Troeh (1965) utiliza modelos geométricos da vertente associando a curvatura do terreno com o grau de intemperismo e evolução do terreno. Já o modelo de Dalrymple et al. (1968) classifica as vertentes em nove unidades hipotéticas, podendo estar parcialmente ausentes ou repetidas na catena.

4.4 Modelos de Paisagem

4.4.1 Modelo de Troeh (1965)

Atribuindo escalas diferenciadas, de maneira a considerar a pedoforma do relevo, a aplicação do modelo Troeh (1965) permitiu a divisão da área em três unidades, sendo estas denominadas de Pedoforma Linear (PF1), Côncava-Convexa (PF2) e Sopé de Deposição levemente côncavo (PF3), que se caracteriza por ser uma porção sedimentar (FIGURA 5).



Figura 5 – Representação das divisões das unidades. 1 – Pedoforma Linear (PF1); 2 – Pedoforma Côncava-Convexa (PF2) e 3 – Pedoforma Sopé de Deposição (PF3).

4.4.2 Modelo de Dalrymple et al. (1968)

A outra metodologia adotada baseou-se nos segmentos de vertente (SV) conforme proposto por Dalrymple et al. (1968). Dessa forma a área foi dividida em seis unidades sendo estas denominadas de Topo (SV1), Ombro (SV2), Terço Superior da Encosta (SV3), Meia-encosta (SV4), Terço Inferior da Encosta (SV5) e Sopé (SV6) (FIGURA 6).

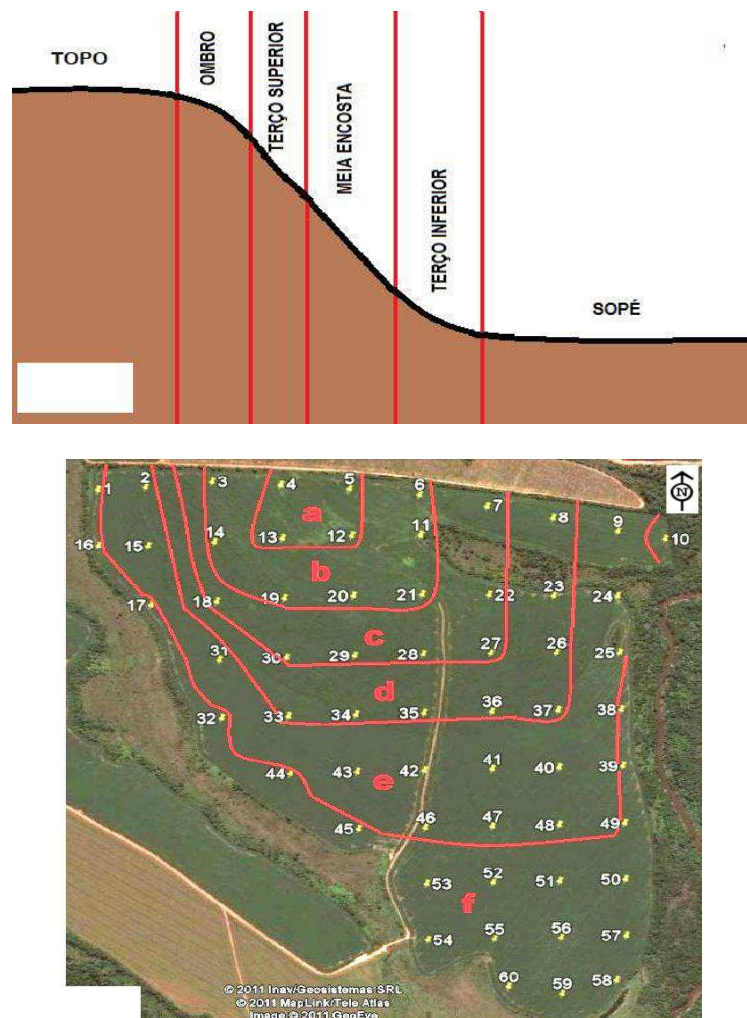


Figura 6 – 1. - Elementos de uma vertente segundo Dalrymple et al. (1968). 2. Segmentos da vertente a-topo (SV1), b – ombro (SV2), c – terço superior da encosta(SV3), d – meia-encosta(SV4), e – terço inferior da encosta(SV5), f – sopé(SV6).

4.5 Variável Dependente

4.5.1 Análises Químicas

As amostras foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas com malha de 2 mm de abertura (TFSA). Foram determinados pH em Cloreto de Cálcio (CaCl_2) 0,01 M; Alumínio (Al^{3+}) trocável; Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) trocáveis, Potássio (K) trocável e o Fósforo (P) disponíveis pelo extrator de Mehlich-1. O teor de Carbono Orgânico (C) foi determinado através do método de Walkley-Black. Com base nos resultados das análises químicas, calcularam-se a Capacidade de Troca de Cátions a pH=7,0 (CTC) e a Efetiva (CTC_e), Saturação por Bases (V%) e por Alumínio (m%), e as relações de Ca/Mg, (Ca + Mg)/K. citar metodologia de acordo com quem.

4.5.2 Análise Granulométrica

A análise granulométrica dos solos foi efetuada pelo método da pipeta (Embrapa 1997), empregando-se NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$, como dispersante químico, e agitação mecânica de 150 rpm por 16 h. As frações que englobam partículas maiores que 0,053 mm foram separadas por peneiramento, e as frações de tamanho menor por sedimentação, segundo a lei de Stockes (KIEHL, 1979), sendo o silte determinado por diferença.

4.5.3 Análises Estatísticas

Foi realizada análise descritiva com determinação de média, mediana, máximo,

mínimo e coeficiente de variação (CV). Para posterior análise de variância realizou-se teste de normalidade, conforme Anderson-Darling, e posterior análise de comparação de média através do teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico MINITAB[®] 16.1.1 (Versão Demo for Windows) 2011.

Para a realização da análise de variância e do teste de médias considerou-se para o modelo de Troeh (1965) cada forma de paisagem, (Linear (PF1), Côncavo-Convexo (PF2) e Sopé de Deposição levemente côncavo (PF3)), como um tratamento.

Para o modelo sugerido por Darlymple et al., (1968) cada segmento da vertente Topo (SV1), Ombro (SV2), Terço Superior da Encosta (SV3), Meia-encosta (SV4), Terço Inferior da Encosta (SV5) e Sopé (SV6) representou um tratamento. Sendo que para ambos os modelos a análise foi não balanceada.

4.5.4 Representações Gráficas

Para elaboração dos mapas de distribuição espacial das características e dos atributos do solo foi utilizado o método de interpolação de dados Mínima Curvatura de acordo com Weirich Neto et al. (2000), através do programa SURFER[®] 8 (Versão demonstrativa for Windows) 2002.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análises Descritivas da Área Total

A análise descritiva das variáveis estudadas para a profundidade de 0 – 200 mm são apresentadas na Tabela 1. Das 17 variáveis, 12 apresentaram distribuição normal, embora, apenas o K não apresentou valores discrepantes (outliers).

Tabela 1 – Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na profundidade de 0 – 200 mm

	Unidade	N ²	Média	Mediana	Desv. Pad.	Máx.	Mín.	C.V.	P. D ³
pH(CaCl ₂)		54	4,66	4,70	0,17	5,10	4,30	3,71	0,019
H + Al		57	5,83	5,76	1,05	8,36	3,42	18,01	0,016
Al		56	0,31	0,30	0,18	0,70	0,00	60,04	0,019
Ca		58	1,81	1,80	0,55	3,20	0,60	30,42	0,608
Mg	cmol _c dm ⁻³	55	0,84	0,80	0,23	1,30	0,40	26,97	0,048
K ¹		60	0,34	0,34	0,08	0,49	0,13	23,98	0,213
P ¹	mg dm ⁻³	53	30,63	29,40	18,11	69,80	2,70	59,13	0,070
C	g dm ⁻³	57	13,26	13,00	3,66	22,00	7,00	27,61	0,336
SB		57	2,99	2,92	0,75	4,69	1,31	24,91	0,727
CTC		56	8,88	8,92	1,41	12,21	6,79	15,85	0,026
CTC _e		54	3,23	3,21	0,66	4,49	1,94	20,37	0,594
Ca +Mg	cmol _c dm ⁻³	57	2,69	2,60	0,69	4,20	1,10	25,77	0,433
(Ca +Mg)/K		55	7,95	7,78	1,49	11,52	5,24	18,70	0,647
Ca/Mg		59	2,13	2,10	0,65	3,83	0,83	30,30	0,763
V	%	57	32,86	32,97	5,74	43,57	18,53	17,45	0,307
m		59	9,24	9,15	5,80	21,13	0,00	62,80	0,335
areia		59	668,70	655,25	62,77	795,70	530,85	9,39	0,042
silte	kg Mg ⁻¹	54	111,56	113,38	19,72	158,80	67,50	17,68	0,386
argila		60	216,00	226,00	46,68	296,00	111,00	21,61	<0,005

¹ K e P – Melich-I;

² N – número de repetições utilizados para realização da análise (sem valores discrepantes); ³ P.

D. – probabilidade da distribuição ser normal; teste de normalidade Anderson-Darling.

Considerando a classificação de valores do Coeficiente de Variação (CV) sugerida por Pimentel-Gomes & Garcia (2002), nota-se que para as variáveis Al, P e

m(%) os CVs foram de 60,04%; 59,13% e 62,80%, respectivamente, os quais são considerados muito altos. Apenas as variáveis pH e areia apresentaram valores considerados baixos, 3,71 e 9,39% respectivamente. Das variáveis com CV muito alto as variáveis Al e P não apresentaram normalidade na distribuição dos valores.

Tomando como base as escalas de classificação de conteúdos dos elementos, para a variável pH, conforme a Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS SC/RS) (2004), verifica-se acidez elevada na camada de 0 a 200 mm do solo, portanto segundo Varennes (2003) não haveria condições ótimas para a cultura, pois todos os valores encontram-se abaixo de 5,5.

Variável importante o V(%), apresenta valor médio que é a metade do recomendado pela CQFS SC/RS (2004) para as principais culturas agrícolas (TABELA 1). O valor médio de 32,86% caracteriza um solo distrófico. Para o alumínio, ocorrem valores baixos, com grande variação dentro da área, onde alguns pontos o m(%) representa aproximadamente 21% da CTC_e.

Quanto as bases Ca, Mg e K, pode-se afirmar que o Ca é limitante ao desenvolvimento de culturas, pois os valores encontrados de 3,20 a 0,60 cmol_c dm⁻³, para máximo e mínimo, são classificados como baixo e médios (CQFS SC/RS, 2004).

No entanto, para o Mg, mínimo de 0,40 e máximo de 1,30 cmol_c dm⁻³, e K, mínimo de 0,13 e máximo de 0,49 cmol_c dm⁻³, são classificados de médio a alto segundo CQFS SC/RS (2004). Estes conteúdos elevados são justificados por Neves et al. (2009), devido ao tipo de manejo adotado (plantio direto) e por aspectos regionais, onde são aplicadas em altas concentrações de fertilizantes sobre a superfície do solo ou em camadas superficiais.

Entretanto os altos teores de sais, principalmente o relacionado ao K, na camada superficial, podem, de acordo com Bevilaqua et al. (1996), interferir na

germinação e desenvolvimento inicial das culturas pela concentração eletrolítica da solução.

Quando observado a totalidade dos valores ou área total, as relações entre as características químicas têm um comportamento semelhante ao relatado por Kiehl (1979), sendo que onde há maiores valores para o pH, ocorre o aumento do V(%), bem como maior disponibilidade de cálcio.

Os conteúdos de P presentes chamam a atenção (TABELA 1); mesmo sendo a área inserida em região com ocorrência de arenitos e granulometria com baixos conteúdos de partículas de argilas, o valor médio dos teores de P ($30,63 \text{ mg dm}^{-3}$), está acima do considerado elevado pela CQFS SC/RS (2004) ($P > 24,00 \text{ mg dm}^{-3}$).

As altas concentrações de P na camada de 0 – 200 mm são justificáveis por Muzilli (2002) e Sá (2008), devido ao Sistema Plantio Direto. Neste caso a disponibilidade de P solúvel (P-lábil) de natureza inorgânica tende a ser sensivelmente mais alta nas camadas superiores do perfil cultural do solo, em virtude da baixa mobilidade do nutriente e do não revolvimento do solo pelas operações de preparo.

Alguns fatores como pH ácido devido a presença de Al, podem segundo Tomé Jr. (1997) estar favorecendo a formação de complexos do P com Al, o que necessita atenção especial, para que a quantidade de nutriente esteja adequadamente disponibilizada, tendo em vista a necessidade de correção de acidez (calagem) da área.

Considerando os atributos físicos do solo, a ocorrência de conteúdos altos de areia, provenientes dos materiais de origem, arenitos, observa-se a presença de duas classes texturais, Franco arenosas e Franco argilo-arenosa, com valores de argila não ultrapassando $296,00 \text{ kg Mg}^{-1}$.

Assim, associando-se granulometria do solo com a baixa CTC_e (média $3,23 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), e o teor de C (máximo de $22,00$ e mínimo de $7,00 \text{ g dm}^{-3}$) é possível

afirmar que parte da capacidade de troca provém, conforme descrito por Varennes (2003), do carbono acumulado no solo devido ao manejo adotado.

Para a camada de 0 - 200 mm de profundidade, pode-se afirmar que o sistema, mesmo sendo de propriedade com alta tecnologia, não está em equilíbrio químico, pois há vários pontos divergentes em relação às recomendações. Este fato pode ser pela tentativa de manejo homogêneo em área heterogênea.

O teste de Anderson-Darling, utilizado para verificar a adequação de uma variável à curva de distribuição normal, recomenda que a probabilidade (%) seja maior que 0,100 para ser considerada normal (MINITAB[®] 16.1.1).

Com relação ao pH, Webster (2000) relata que esta variável geralmente não é homoscedástica, a variância tende a não ser estacionária, o que contribui para a não normalidade de distribuição dos seus valores.

Apesar da exigência de normalidade dos valores para proceder algumas análises estatísticas, Momtaz et al. (2009) relatam que muitos autores assumem distribuição normal, explícita ou implicitamente, aplicando técnicas estatísticas com base nessa suposição. No entanto, o autor comenta que muitas propriedades do solo não podem ser normalmente distribuídas, pois, sua distribuição e variabilidade são dependentes da escala, além de estarem associados ao material de origem, a processos pedogenéticos e a erro de manejo e não somente a escolha antrópica de limites.

Representando a variabilidade da área, no ponto denominado de 6, retirou-se apenas a amostra na camada de 0 - 200 mm, pois na profundidade conseguinte ocorreu o aparecimento do horizonte C.

Para a profundidade de 200 - 400 mm conforme análise descritiva, Tabela 2, observou-se comportamentos semelhantes, principalmente para as variáveis físicas, aos da primeira camada (0 - 200 mm)(TABELA1).

De acordos com a observação do conjunto de valores pode-se afirmar que das 19 variáveis apresentadas 12 não apresentaram distribuição normal (TABELA 2), bem como todas as variáveis apresentaram valores discrepantes. Este fato pode caracterizar a homogeneização antrópica da camada de 0-200 mm. Considerando a classificação de valores de coeficiente de variação de Pimentel-Gomes & Garcia (2002), nota-se que para as mesmas variáveis comentadas na discussão da camada de 0-200 mm (TABELA 1) observaram-se problemas. Sendo estas: Al com CV=83,26 %, P com CV=78,27%, e m(%) com CV=78,73%, mais o Mg com CV de 40,29%; valores considerados como muito elevados.

Tabela 2 - Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na profundidade de 200 – 400 mm

	unidade	N ²	Média	Mediana	Desv. Pad.	Máx.	Min.	C.V.	P. D ³
pH(CaCl ₂)		57	4,59	4,6	0,27	5,20	4,20	5,95	< 0,005
H + Al		52	5,71	5,76	0,79	7,76	3,69	13,89	0,172
Al		55	0,41	0,30	0,34	1,30	0,00	83,26	< 0,005
Ca		49	0,95	1,00	0,21	1,40	0,50	22,57	0,039
Mg	cmol _c dm ⁻³	58	0,68	0,60	0,28	1,40	0,20	40,29	< 0,005
K ¹		59	0,26	0,25	0,07	0,43	0,13	26,51	0,053
P ¹	mg dm ⁻³	59	12,19	6,00	13,64	59,20	2,30	78,27	< 0,005
C	g dm ⁻³	56	12,46	12,00	3,32	21,00	5,00	26,67	0,109
SB		52	1,89	1,80	0,49	3,23	0,83	26,31	0,551
CTC		55	7,85	7,72	1,16	10,60	6,09	14,74	0,087
CTC _e		57	2,51	2,30	0,68	3,99	1,55	27,01	< 0,005
Ca +Mg	cmol _c dm ⁻³	50	1,62	1,55	0,47	2,80	0,70	28,76	0,267
(Ca +Mg)/K		58	6,91	6,67	1,85	12,80	2,81	26,78	0,293
Ca/Mg		59	1,72	1,75	0,51	3,00	0,79	29,56	0,212
V	%	57	24,67	24,65	6,19	38,79	13,43	25,09	0,035
m		59	18,95	15,15	14,92	52,02	0,00	78,73	0,008
areia		53	632,45	624,60	53,18	742,85	526,05	8,41	0,046
silte	kg Mg ⁻¹	54	118,07	117,63	29,39	180,70	52,00	24,90	0,504
argila		59	244,61	250,98	50,65	320,00	95,00	20,71	0,009

¹K e P – Melich-I;

²N – número de repetições utilizados para realização da análise (sem valores discrepantes); ³ P.

D. – probabilidade da distribuição ; teste de normalidade Anderson-Darling.

Os CVs foram classificados na sua maioria em altos a muito altos, tendo apenas para as variáveis pH e Areia valores de 5,45% e 8,41 % respectivamente, considerados baixos.

Analisando as condições de solos descritas na Tabela 2 para a profundidade de 200 – 400 mm e, comparando com as condições descritas na Tabela 1 para a camada superior (0 – 200 mm), evidencia-se uma variação dos conteúdos das variáveis químicas não interessantes em relação às necessidades agronômicas; ocorrendo apenas incremento de argila com o aumento da profundidade.

No caso da m(%), as concentrações de Al chegam a representar quase 52% da CTC da camada amostrada, em alguns pontos. Por ser uma das variáveis indicadoras da “qualidade” química do complexo de troca de íons do solo, necessita atenção, por evidenciar a influência do teor de Al no solo de acordo com Carvalho et al. (2007).

Sendo assim, as implicações do excesso de Al além da toxidez causada as plantas, a sua maior solubilidade no solo pode provocar, segundo Kiehl (1979), deficiências de elementos na planta como Ca, desta forma é possível compreender os resultados obtidos para a variável Ca que apresentou valor médio de $0,95 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, metade do valor da camada de 0 – 200 mm. Outro fator que pode ser associado às baixas concentrações do elemento é relatado por Ernani et al. (2007) como sendo o excesso de KCl, que é expresso pelos teores de K (TABELA1), provocando expressiva percolação de Ca.

Já para as variáveis Mg e K fica evidente altas concentrações para esta profundidade, variando de 0,20 (mínimo) a $1,40 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (máximo) e de 0,13 (mínimo) a $0,43 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (máximo) respectivamente. Estes teores podem ser justificados, de acordo com Ernani et al. (2007) e Neves et al. (2009), pela alta

mobilidade vertical que ambos os íons possuem no solo, sendo nas camadas superiores as concentrações também consideradas elevadas (TABELA 2).

Com relação à saturação por bases V (%), o valor médio é de 24,67, caracteriza o solo como Hiperdistrófico (Embrapa, 2006).

Para todas as variáveis na profundidade de 200 - 400 mm, apenas o P não apresentou as medidas de tendência central semelhantes, ou seja, a média foi de 12,19 mg dm^{-3} , enquanto que a mediana foi de 6,00 mg dm^{-3} . Desta forma apesar da variação de 78,27%, com pontos de mínimo de 2,30 e máximo de 59,20 mg dm^{-3} , pode-se observar que com base no valor da mediana, que em grande parte da área as concentrações de P podem ser consideradas baixas (CQFS SC/RS, 2004).

Tanto para o P como para o C a dinâmica dos elementos obedece ao descrito na bibliografia correlata, ou seja, com aumento da profundidade há diminuição natural dos mesmos (KIEHL, 1979).

Considerando os atributos físicos do solo (TABELA 2), classifica-se a área em duas classes texturais, Franco arenosa e Franco argilo-arenosa. Esta camada, 200 – 400 mm, tem como valor mínimo de argila de 95,00 kg Mg^{-1} e máximo de 320,00 kg Mg^{-1} , ou seja, apresenta incremento destas partículas em relação a camada superficial para pontos específicos dentro da área. Entretanto há situações representadas pelos valores mínimos em que provavelmente ocorre maior influência do material de origem.

Mesmo com esta expressiva diferença na concentração de partículas de argila, as variáveis CTC_e (média 2,51 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e concentração de C (máximo 21,00 e mínimo 5,00 g dm^{-3}), são valores caracterizados como baixo. Estes tiveram variações agronômicas negativas quando comparadas com a camada superficial (TABELA 1), fato este considerado normal por Kiehl (1979) e Prado (2009).

Para a camada de 200 – 400 mm a condição de elevada acidez e baixo V (%) associados à textura Franco arenosa, demonstram um quadro agronomicamente de baixa fertilidade. Segundo Varennes (2003) o Al, por exemplo, pode prejudicar o desenvolvimento e aprofundamento das raízes em uma condição de menor disponibilidade hídrica.

5.1 Análise Descritiva - Unidades de Paisagem propostas por Troeh (1965)

5.1.1 Profundidade de 0–200 mm

5.1.1.1 Modelo Troeh: Pedoforma Linear (PF1)

Todas as classificações adotadas neste capítulo se baseiam nos valores sugeridos pela CQFS SC/RS (2004).

Observando a Tabela 3, observa-se a normalidade da distribuição de valores da variável pH, visto em alguns trabalhos, há dificuldade para existência de normalidade para esta variável (WEBSTER, 2000; MOMTAZ et al., 2009).

Contudo, para outras variáveis, principalmente as relacionadas à química do solo, como Mg (TABELA 3), a não normalidade é verificada de modo semelhante ao que ocorre com a variável na área total (TABELA 1), fato este que pode ter como hipóteses a falta de repetições ou a representação de duas populações em apenas uma. Neste último caso seria um indicativo contrário a divisão sugerida, pois esperava-se uma menor variabilidade com esta.

Desta forma pode-se verificar que na divisão da área através do modelo de paisagem (TROEH), a PF1, não teve o efeito esperado, já que com a aplicação do modelo pretendia-se a divisão das populações que ocorrem em área total.

O solo da PF1 caracteriza-se de levemente a moderadamente ácido, visto que os valores extremos para variável pH encontram-se entre 5,10; ponto de máximo e, 4,20; ponto de mínimo.

Para PF1, na profundidade de 0 – 200 mm, observa-se que os CVs são elevados para as variáveis Al, P, relação Ca/Mg e m(%), sendo estes 67,17; 53,68; 32,34 e 69,80 %, respectivamente (TABELA 3), principalmente quando comparados com os valores da área total (TABELA 1), exceto para o elemento P que para as duas situações os valores são semelhantes.

Apesar da grande variação de Al, os teores não são agronomicamente preocupantes, visto que em média apresentam $0,25 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, valor considerado baixo. Já, os valores de P, são extremamente elevados, com média de $30,14 \text{ mg dm}^{-3}$.

Embora em condições naturais, os solos tropicais apresentem conteúdos muito baixos de P, de acordo com Kamprath (1967) e Varennes (2003) a aplicação sucessiva de fertilizantes, muitas vezes em taxas superiores as extraídas anualmente pelas culturas, conduz a elevação progressiva deste elemento no solo; podendo por vários anos manifestar-se o efeito residual. Outro fator que contribui para aumento do elemento, segundo Kiehl (1979), é o aumento do C, contribuindo assim para o aumento de P.

Analisando as bases trocáveis desta unidade (TABELA 3), Ca, Mg e K, fica evidente que tanto pela média $1,88 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, quanto pelo máximo $2,60 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, o teor de Ca para a unidade é baixo; já pelos valores de máximos $1,30$ e $0,49 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e

mínimos 0,60 e 0,23 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ pode-se classificá-los com teores médios a altos, respectivamente.

Tabela 3 - Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na pedoforma Linear (PF1) na profundidade de 0 – 200 mm

	Unidade	N ²	Média	Mediana	Desv. Pad.	Máx.	Min.	C.V.	P. D ³
pH(CaCl ₂)		27	4,70	4,70	0,21	5,10	4,20	4,49	0,255
H + Al		25	5,67	5,35	0,98	8,36	4,28	17,26	0,121
Al		26	0,25	0,25	0,17	0,60	0,00	67,17	0,132
Ca	$\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$	27	1,88	1,90	0,45	2,60	0,90	23,92	0,479
Mg		26	0,89	0,90	0,21	1,30	0,60	23,06	0,035
K ¹		27	0,37	0,39	0,07	0,49	0,23	18,35	0,341
P ⁱ	mg dm^{-3}	27	30,14	27,80	16,18	69,80	4,70	53,68	0,144
C	g dm^{-3}	25	13,92	13,00	3,05	21,00	8,00	4,49	0,148
SB		27	3,18	4,20	0,60	3,15	1,95	18,99	0,615
CTC		25	8,82	12,18	1,27	8,59	7,20	14,35	0,071
CTC _e	$\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$	27	3,44	4,49	0,60	3,42	2,35	17,33	0,897
Ca +Mg		27	2,97	2,80	0,66	4,80	1,80	22,07	0,144
(Ca+Mg)/K		25	7,65	7,29	1,61	11,52	5,81	20,99	0,028
Ca/Mg		27	2,15	2,09	0,70	3,83	0,92	32,34	0,698
V	%	27	35,00	43,57	5,98	36,50	18,83	17,08	0,157
m (%)		27	7,80	7,14	5,45	20,41	0,00	69,80	0,512
areia	kg Mg^{-1}	25	649,78	650,80	30,01	701,15	590,25	4,62	0,258
silte		27	118,05	118,70	24,33	177,80	67,50	20,61	0,411
argila		22	244,41	237,00	26,10	294,00	210,00	10,68	0,102

¹K e P – Melich-I;

²N – número de repetições utilizados para realização da análise (sem valores discrepantes); ³ P.

D. – probabilidade da distribuição ; teste de normalidade Anderson-Darling.

Tendo em vista a classificação da CQFS SC/RS (2004), apesar das concentrações razoáveis de Mg e K, a solução do solo não se encontra favorável a culturas exigentes, como é o caso do milho, pois tanto a CTC_e e V(%), com medianas 4,49 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ e 43,57 % respectivamente, o que demonstra que a maior parte do conjunto de valores é considerada muito baixo.

Com relação às partículas do solo areia, silte e argila, a quantidade de material de maior granulometria, areia, com média de 649,78 kg Mg^{-1} e de menor, argila, com

média de $244,41 \text{ kg Mg}^{-1}$ classificam o solo da PF1 como franco argilo-arenoso (EMBRAPA, 2006). Já para o C, os teores variam de baixo a altos, com mínimos de $8,00 \text{ g dm}^{-3}$ e máximo de $21,00 \text{ g dm}^{-3}$, respectivamente.

Desta forma considerando que a PF1 contém teores de acidez, associado à presença de Al, bem como, altas concentrações de Mg, P e a presença de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, favorecem aos processos de precipitação e adsorção, podendo principalmente afeta a disponibilidade de P através da imobilização.

5.1.1.2 Modelo Troeh: Pedoforma Côncavo- Convexo (PF2)

Conforme análise descritiva, Tabela 4, verifica-se que as variáveis Al, Ca, P, C, MO e m(%) devido à ocorrência de altos CVs, apresentaram grande variação dentro da unidade, no entanto todas apresentaram distribuição normal.

Observando as bases trocáveis do solo de forma isolada, o conteúdo de Ca com $\text{CV}=37,00\%$, e pontos de mínimo e máximo de $0,60$ e $3,20 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente, classifica os teores do elemento como de baixos a médios de acordo com a CQFS SC/RS (2004), no entanto para o ponto de máximo tem-se o valor maior que os encontrados na unidade 1 (TABELA 3).

Com comportamento semelhante da pedoforma anterior, Mg e K, possuem teores que variam de médio a altos, sendo que a maior parte do conjunto de valores caracteriza-se como médio devido as medianas estarem muito próximas das médias, sendo que as médias assumem valores de $0,70$ e $0,29 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente.

O que chama a atenção para esta unidade são alguns pontos com valores extremamente alto de P, alcançando $106,70 \text{ mg dm}^{-3}$. Para as condições da solução do solo de maneira geral, afirma-se, de acordo com Varennes (2003), que não há condições

de atender a demanda de culturas agrícolas, visto que V(%) e CTC_e estão muito abaixo do desejado, com máximos de 38,06% e 3,54 cmol_c dm⁻³.

Quanto aos atributos físicos, a PF2 apresenta elevado teor de areia, máximo de 794,6 kg Mg⁻¹ e muito baixo de argila, mínimo de 111,0 kg Mg⁻¹, caracterizando a unidade com textura franco arenosa. Desta forma os teores de C, média de 14,25 g dm⁻³, contribuem significativamente para a dinâmica dos elemento, uma vez que significa adicional na CTC.

Tabela 4 - Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na pedoforma Côncavo-Convexo (PF2) na profundidade de 0 – 200 mm

	Unidade	N ²	Média	Mediana	Desv. Pad.	Máx.	Min.	C.V.	P. D ³
pH(CaCl ₂)		15	4,73	4,70	0,30	5,30	4,20	6,42	0,183
H + Al		15	5,40	5,35	0,81	6,69	3,42	15,08	0,126
Al		15	0,27	0,30	0,23	0,80	0,00	85,83	0,119
Ca		15	1,65	1,70	0,61	3,20	0,60	37,00	0,206
Mg	cmol _c dm ⁻³	12	0,71	0,70	0,17	1,10	0,50	23,67	0,034
K ¹		16	0,30	0,29	0,08	0,44	0,13	27,64	0,881
P ¹	mg dm ⁻³	16	43,09	41,95	32,44	106,70	3,70	75,29	0,429
C	g dm ⁻³	16	14,25	13,00	5,99	29,00	7,00	42,07	0,388
SB		14	2,61	2,55	1,17	1,31	4,26	29,03	0,730
CTC		15	8,32	8,18	0,54	6,79	0,32	14,00	0,178
CTC _e		13	2,79	2,82	5,08	3,54	2,11	19,3	0,151
Ca +Mg	cmol _c dm ⁻³	13	2,61	2,40	0,76	1,10	3,90	30,47	0,760
(Ca +Mg)/K		13	7,99	7,60	2,26	13,08	5,24	28,21	0,508
Ca/Mg		16	2,14	2,26	0,62	3,00	1,17	29,05	0,278
V	%	14	30,26	30,14	5,08	38,06	18,53	16,77	0,443
m		16	10,69	9,06	9,76	37,91	0,00	91,26	0,119
areia		15	708,4	692,6	52,0	794,6	630,3	7,34	0,115
silte	kg Mg ⁻¹	15	105,00	104,50	12,14	121,95	80,45	11,56	0,513
argila		16	193,4	204,0	50,8	296,0	111,0	26,25	0,565

¹K e P – Melich-I;

²N – número de repetições utilizados para realização da análise (sem valores discrepantes); 3 P.

D. – probabilidade da distribuição ; teste de normalidade Anderson-Darling.

5.1.1.3 Modelo Troeh: Pedoforma Sopé (PF3)

Quanto à PF3, que pode ser caracterizada como sopé com leve concavidade e, que pela posição que ocupa na paisagem, recebe material e elementos da unidade com cota superior (pedoforma côncava-convexa) (FIGURA 2).

Apesar deste fato, as condições apresentadas na Tabela 5, não são semelhantes das duas outras pedoformas, ressalva-se apenas o aumento de concentração de Ca. Este pode ter ocorrido pela localização da unidade, visto que Ca é um dos elementos mais solúveis e parte do aumento pode estar relacionada à dinâmica da água que favorece a solubilização e transporte do elemento. Para esta unidade o valor médio ficou em $2,10 \text{ cmolc dm}^{-3}$ com máximo de $3,80 \text{ cmolc dm}^{-3}$, ou seja, com concentrações que variam de baixo a médio (TABELA 5), oposto o que aconteceu com as pedoformas anteriores onde os valores foram classificados como baixo (TABELAS 3 e 4).

As bases Mg e K apresentam teores médios de $0,76$ e $0,32 \text{ cmolc dm}^{-3}$, respectivamente. O fato de ocorrer alguns pontos com maior teor de Ca contribui para o desequilíbrio do sistema, podendo afetar o desenvolvimento das culturas.

De acordo com Tomé Jr. (1997), as relações entre as bases trocáveis nem sempre têm influência ao crescimento das plantas, desde que as necessidades das mesmas sejam satisfeitas.

Desta forma para uma condição química mais adequada do solo as determinações das relações entre as bases trocáveis, mostram-se interessante. Considerando-se como ideais para a relação $(\text{Ca}+\text{Mg})/\text{K}$, valores entre 14 a 21, e a relação (Ca/Mg) valor próximo a 5, pode-se observar na Tabela 5 que estas estão abaixo do considerado ideal.

Através dos atributos físicos granulométricos (TABELA 5), observa-se a importância do conteúdo de C, pois os índices de argila estão próximos a $185,70 \text{ kg Mg}^{-1}$ e areia em média $695,90 \text{ kg Mg}^{-1}$, caracterizando assim um solo com textura franco

arenosa (EMBRAPA, 2006); e por este motivo grande parte da CTC, mesmo que baixa deve ser explicado pela MO, com média de $21,84 \text{ g dm}^{-3}$.

Tabela 5 - Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na pedoforma Sopé (PF3) na profundidade de 0 – 200 mm

	Unidade	N ²	Média	Mediana	Desv. Pad.	Máx.	Mín.	C.V.	P. D ³
pH(CaCl ₂)		11	4,67	4,70	0,11	4,80	4,50	2,36	0,120
H + Al		12	6,17	6,45	1,27	8,36	4,61	20,53	0,333
Al		12	0,38	0,35	0,21	0,70	0,00	55,43	0,567
Ca	cmol _c dm ⁻³	12	2,10	1,85	0,76	3,80	1,10	36,04	0,439
Mg		11	0,76	0,70	0,26	1,20	0,40	33,78	0,512
K ¹		12	0,32	0,30	0,08	0,46	0,24	24,83	0,143
P ¹	mg dm ⁻³	12	54,77	48,25	31,19	110,20	6,80	56,95	0,616
C	g dm ⁻³	12	12,67	14,00	3,75	18,00	7,00	29,60	0,315
SB		12	3,31	2,84	1,27	6,46	1,74	38,25	0,123
CTC		12	9,48	9,21	1,95	12,21	7,26	20,51	0,106
CTC _e	cmol _c dm ⁻³	12	3,69	3,19	1,26	6,46	1,94	34,00	0,168
Ca +Mg		12	2,98	2,55	1,19	6,00	1,50	40,02	0,104
(ca +mg)/k		11	45,28	40,59	18,44	73,33	19,13	40,73	0,149
Ca/Mg		12	2,61	2,57	0,80	4,50	1,50	30,55	0,428
V	%	11	32,52	34,43	5,34	37,65	21,89	16,41	0,056
m		12	11,02	10,59	5,12	21,13	0,00	46,50	0,264
areia		12	695,9	694,20	71,5	795,7	587,8	10,28	0,416
silte	kg Mg ⁻¹	12	118,39	104,77	33,53	168,40	73,30	28,32	0,074
argila		12	185,7	198,00	41,4	250,00	127,0	22,29	0,126

¹ K e P – Melich-I;

² N – número de repetições utilizados para realização da análise (sem valores discrepantes); ³ P.

D. – probabilidade da distribuição ; teste de normalidade Anderson-Darling.

De maneira geral, as três unidades na profundidade de 0-200 mm caracterizam-se por serem moderadamente ácidas, pouco férteis, embora com alta concentração de P e com presença de Al, mesmo que em conteúdos não prejudiciais às culturas. Com relação à aplicação da metodologia de divisão, podem-se prever diferenças na concentração de Ca, ou seja, uma consequência positiva da utilização do modelo de TROEH.

5.1.2 Profundidade de amostragem 200 – 400 mm

5.1.2.1 Modelo Troeh: Pedoforma Linear (PF1)

Para a segunda camada, ou profundidade de 200 – 400 mm, nota-se semelhança com a camada superior ou de 0 – 200 mm, exceto para o P que possui valores menores, embora considerado médio, com média de $3,97 \text{ mg dm}^{-3}$ (TABELA 6).

Tabela 6 - Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na pedoforma Linear (PF1) na profundidade de 200 – 400 mm

	Unidade	N ²	Média	Mediana	Desv. Pad.	Máx.	Min.	C.V.	P. D ³
pH(CaCl ₂)		26	4,67	4,65	0,25	5,20	4,30	5,42	0,118
H + Al		25	5,64	5,76	0,73	7,20	3,97	12,90	0,393
Al		25	0,25	0,20	0,19	0,60	0,00	77,32	0,100
Ca	cmol _c dm ⁻³	20	1,06	1,00	0,15	1,30	0,80	14,25	0,104
Mg		25	0,75	0,70	0,26	1,40	0,40	34,54	0,122
K ¹		24	0,28	0,26	0,05	0,39	0,20	16,72	0,101
P ¹	mg dm ⁻³	25	3,97	3,90	1,26	6,40	2,30	31,86	0,251
C	g dm ⁻³	26	11,77	12,00	3,09	17,0	5,00	26,25	0,700
SB		24	2,09	2,16	0,45	3,23	1,11	21,70	0,806
CTC		25	7,79	7,96	0,95	9,62	6,09	12,15	0,575
CTC _e		23	2,31	2,30	0,42	3,42	1,71	18,11	0,570
Ca +Mg	cmol _c dm	25	1,86	1,80	0,48	3,00	0,90	25,80	0,543
(Ca+Mg)/k		26	6,67	6,55	1,46	10,42	4,29	21,83	0,640
Ca/Mg		27	1,66	1,63	0,47	2,60	0,79	28,22	0,910
V (%)	%	24	25,85	26,35	4,04	34,81	16,16	15,64	0,495
m (%)		27	11,99	11,17	10,07	35,09	0,00	83,99	0,124
areia		27	600,66	603,95	40,48	672,00	501,60	6,74	0,407
silte	kg Mg ⁻¹	27	126,57	124,50	25,07	180,70	89,14	19,81	0,190
argila		27	272,05	280,40	29,56	320,0	206,0	10,87	0,297

¹ K e P – Melich-I;

² N – número de repetições utilizados para realização da análise (sem valores discrepantes); ³ P.

D. – probabilidade da distribuição ; teste de normalidade Anderson-Darling.

Já com relação aos demais elementos, exemplo CTC e V(%), estes se encontram em baixos conteúdos, com média de $7,79 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e 25,85 %,

respectivamente. O C também assume valores menores, enquanto identificou-se maior quantidade de argila, com média de 272,05 kg Mg⁻¹.

5.1.2.2 Modelo Troeh: Pedoforma Côncavo-Convexo (PF2)

A área 2, cujas variáveis são descritas na Tabela 7, apresenta condições semelhantes às condições da área anterior (Linear) para maior parte dos elementos.

Tabela 7 Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na pedoforma Côncavo-Convexo (PF2) na profundidade de 200-400mm

	Unidade	2		Desv.				C.V.	P. D
		N	Média	Mediana	Pad.	Máx.	Min.		
pH(CaCl ₂)		16	4,70	4,80	0,26	5,20	4,30	5,47	0,100
H + Al		16	5,53	5,55	1,14	8,05	3,18	20,61	0,286
Al		16	0,41	0,35	0,40	1,40	0,00	96,92	0,130
Ca	cmol _c dm ⁻³	16	0,82	0,80	0,16	1,10	0,50	19,94	0,425
Mg		16	0,54	0,50	0,22	1,00	0,20	40,69	0,253
K ^I		16	0,21	0,20	0,05	0,32	0,13	21,79	0,335
P ^I	mg dm ⁻³	16	8,66	7,90	4,62	20,00	3,10	53,37	0,263
C	g dm ⁻³	16	14,33	14,00	5,01	27,00	9,00	34,95	0,119
SB		16	1,54	1,51	0,36	2,32	0,83	23,00	0,448
CTC		16	7,65	7,56	1,27	10,60	6,18	16,59	0,153
CTC _e	cmol _c dm ⁻³	16	1,95	1,96	0,24	2,32	1,55	12,16	0,721
Ca +Mg		16	1,33	1,30	0,33	2,00	0,70	24,62	0,769
(Ca +Mg)/K		16	6,69	6,25	1,67	10,31	4,17	25,01	0,467
Ca/Mg		16	1,80	1,78	0,42	2,50	1,17	23,37	0,607
V	%	16	20,82	20,17	3,88	27,95	13,43	18,62	0,882
m		16	19,30	17,59	16,98	52,02	0,00	87,97	0,317
areia		16	659,8	655,5	72,20	775,7	495,4	10,94	0,657
silte	kg Mg ⁻¹	16	110,0	107,1	20,19	144,7	82,25	18,35	0,326
argila		16	223,4	227,5	49,50	292,0	124,0	22,15	0,812

¹K e P – Melich-I;

² N – número de repetições utilizados para realização da análise (sem valores discrepantes); ³ P.

D. – probabilidade da distribuição ; teste de normalidade Anderson-Darling.

Apenas o Al apresenta dinâmica diferente, sendo que este, pela primeira vez apresenta conteúdos próximos ao considerado elevado, não pelo valor máximo de

1,40 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, mas sim pelo efeito que exerce, representando, em média 19,30% na CTC, ou seja, a m(%) com máximo de 52,02%, é considerada alta, portanto prejudicial a maioria das culturas.

5.1.2.3 Modelo Troeh: Pedoforma Sopé de Deposição (PF3)

Na área 3, região do sopé, conforme Tabela 8, a situação de acidez é mais grave, pois com média de pH de 4,27, pode ser considerada muito ácida. Com relação à concentração de Al, há situações em que o elemento chega a 1,80 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, bem superior a 0,5 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, valor considerado tóxico. Para a m(%), cujo valor médio é de 37,12%, isso significa que além da toxidez, haverá problemas quanto a disponibilidade de outros elementos, como o P, que apesar de não apresentar baixos valores, média de 19,58 mg dm^{-3} , pode ter sua disponibilidade afetada pela precipitação com o alumínio.

Para as demais variáveis, têm-se baixos conteúdos de Ca, máximo de 1,40 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, médio para K, média de 0,26 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e de baixo a alto para o Mg verificando valores de mínimo e máximo de 0,30 e 1,10 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente.

Observado o comportamento físico-químico do solo, para todas as três unidades da camada de 200-400 mm, as altas concentrações dos teores de areia são devidas principalmente a composição dos dois materiais de origem, ricos em arenitos.

Outras variáveis que merecem destaque nesta profundidade são o C, que de acordo com Kiehl (1979) tendem a diminuir com o aumento da profundidade.

No entanto os resultados obtidos, não demonstram tal situação, tal fato pode estar relacionado à composição granulométrica. A grande quantidade de partículas de areia favorece o desenvolvimento radicular das culturas; desta forma a associação com o

Sistema Plantio Direto, segundo Sá (2008) facilita, através do sistema radicular das culturas, o acúmulo de material orgânico nas camadas mais baixas.

Tabela 8 - Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na pedoforma Sopé (PF3) na profundidade de 200-400 mm

	Unidade	N ²	Média	Mediana	Desv. Pad.	Máx.	Min.	C.V.	P. D ³
pH(CaCl ₂)		12	4,27	4,30	0,07	4,40	4,20	1,58	0,008
H + Al		12	7,00	6,45	1,86	10,45	4,61	26,49	0,298
Al		12	0,98	0,80	0,47	1,80	0,20	47,86	0,312
Ca	cmol _c dm ⁻³	12	0,93	1,00	0,26	1,40	0,50	27,74	0,337
Mg		12	0,58	0,50	0,24	1,10	0,30	40,59	0,025
K ¹		12	0,26	0,27	0,08	0,37	0,15	29,90	0,299
P ¹	mg dm ⁻³	12	19,58	15,40	15,14	52,50	5,10	77,34	0,043
C	g dm ⁻³	12	13,17	12,50	3,64	20,00	8,00	27,64	0,505
SB		12	1,88	1,77	0,67	3,44	1,15	35,52	0,108
CTC		12	8,88	8,27	2,19	12,59	6,21	24,66	0,236
CTC _e	cmol _c dm ⁻³	12	2,95	2,96	0,79	3,99	2,02	26,67	0,170
Ca+Mg		12	1,49	1,40	0,45	2,50	0,90	29,91	0,360
(Ca+Mg)/		12	6,52	6,60	1,90	9,12	2,81	29,21	0,675
Ca/Mg		12	1,88	1,80	0,65	3,00	1,00	34,58	0,315
V (%)	%	12	21,25	18,71	5,4	33,96	16,42	25,54	0,028
m (%)		12	37,12	39,60	7,10	45,69	23,81	19,13	0,169
areia		12	675,9	675,2	72,7	781,6	577,1	10,75	0,600
silte	kg Mg ⁻¹	11	87,08	69,00	43,33	173,0	40,0	49,76	0,159
argila		12	243,2	253,00	49,00	299,0	175,0	20,14	0,122

¹ K e P – Melich-I;

² N – número de repetições utilizados para realização da análise (sem valores discrepantes); ³ P.

D. – probabilidade da distribuição ; teste de normalidade Anderson-Darling.

Assim como na camada superficial, as unidades na profundidade de 200-400 mm caracterizam-se por serem moderadamente ácidas, pouco férteis, embora com alta concentração de P, exceto na pedoforma linear, bem como a presença de Al, mesmo que em conteúdos não prejudiciais às culturas. Outro ponto de destaque é que o C apresenta consideráveis níveis no solo.

5.2 Análise Descritiva - Unidades de Paisagem propostas por Darlymple et al. (1968)

5.2.1 Profundidade de amostragem 0 – 200 mm

5.2.1.1 Modelo Darlymple: Segmentação Vertente Topo (SV1)

Para esta segmentação, o número de pontos amostrados é apenas 4, ou seja, a pequena concentração de pontos deve-se a pequena porção de área dentro da gleba com este tipo de forma de relevo. Porém, como a área representativa amostral é de 2 hectares, resulta em uma área considerável para unidade de 8 ha.

Considerando os aspectos de normalidade das características, conforme análise descritiva (TABELA 9), das 20 variáveis estudadas, apenas cinco não apresentaram distribuição normal, sendo elas o pH, Al, SB, CTC_e e a relação Ca/Mg.

No entanto a ocorrência deste tipo de resposta, segundo Park & Giesen (2004) e Souza et al. (2006), pode estar associada à quantidade de pontos amostrados, pois neste caso a utilização de apenas 4 observações não trazem acurácia aos resultados, contudo um dos objetivos deste trabalho relaciona-se a aplicação dos modelos de paisagem sobre a grade amostral normalmente utilizada para a caracterização comercial de áreas na Agricultura de Precisão.

Observando as condições do solo da Unidade observa-se que este é muito ácido, com valor médio de 4,48 para o pH, prejudicando assim a saturação por bases que apresenta valor médio de 32,02 % (com um CV de 14,31%) considerado baixo pela CQFS SC/RS (2004).

Para as bases a seguinte classificação é feita de acordo com a CQFS SC/RS (2004). Observa-se que para Mg e K, os teores presentes são altos e muitos altos, tendo em vista os valores médios dos mesmos, respectivamente. Já para o P a alta variação dos valores, pode ser esperada de acordo com Conte et al. (2000).

Tabela 9 - Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na segmentação vertente Topo (SV1) na profundidade de 0 – 200 mm

	Unidade	N ²	Média	Mediana	Desv. Pad.	Máx.	Min.	C.V.	P. D ³
pH(CaCl ₂)		4	4,48	4,55	0,19	4,60	4,20	4,23	0,092
H + Al		4	7,86	7,53	1,46	9,70	6,69	18,54	0,257
Al		4	0,33	0,25	0,19	0,60	0,20	58,25	0,092
Ca	cmol _c dm ⁻³	4	2,20	2,40	0,55	2,60	1,40	24,90	0,117
Mg		4	1,10	1,15	0,14	1,20	0,90	12,86	0,155
K ¹		4	0,40	0,41	0,08	0,49	0,30	19,50	0,607
P ¹	mg dm ⁻³	4	18,30	19,80	4,93	22,00	11,60	26,91	0,222
C	g dm ⁻³	4	17,50	18,50	4,04	21,00	12,00	23,09	0,419
SB		4	3,70	4,01	0,76	4,20	2,60	20,42	0,085
CTC		4	11,56	11,54	1,95	13,89	9,29	16,87	0,872
CTC _e	cmol _c dm ⁻³	4	4,03	4,41	0,82	4,49	2,80	20,34	0,014
Ca + Mg		4	3,30	3,55	0,69	3,80	2,30	20,85	0,129
(Ca + Mg)/K		4	8,20	7,88	0,90	9,50	7,55	10,92	0,140
Ca/Mg		3	1,94	2,09	0,33	2,17	1,56	17,19	0,147
V	%	4	32,02	30,76	4,58	38,57	27,99	14,31	0,255
m (%)		4	7,99	6,91	3,89	13,58	4,55	48,76	0,186
areia		4	612,61	628,50	51,29	655,2	538,2	8,37	0,148
silte	kg Mg ⁻¹	4	131,39	130,00	38,91	177,8	87,75	29,62	0,842
argila		4	256,00	255,00	22,14	284,0	230,0	8,65	0,583

¹ K e P – Melich-I;

² N – número de repetições utilizados para realização da análise (sem valores discrepantes); ³ P.

D. – probabilidade da distribuição ; teste de normalidade Anderson-Darling.

Quanto a granulometria, a unidade de relevo caracteriza-se por ser franco argilo-arenosa, ou seja, textura média (EMBRAPA, 2006).

5.2.1.2 Modelo Darlymple: Segmentação Vertente Ombro (SV2)

A forma de relevo denominada ombro, pode ser associada à perda de elementos químicos e físicos; seja pela solubilização e lixiviação de bases como pelo escorrimento superficial ou erosões (OLIVEIRA, 2008).

A análise descritiva, conforme tabela 10, mostra que para as variáveis Al, Mg, C os CVs são elevados de acordo com Pimentel-Gomes & Garcia (2002), 91,89; 47,24; 38,74%; respectivamente. Quanto à normalidade, a argila foi à única variável que não apresentou distribuição normal.

Tabela 10 - Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na segmentação vertente Ombro (SV2) na profundidade de 0 – 200 mm

	Unidade	N ²	Média	Mediana	Desv. Pad.	Máx.	Min.	C.V.	P. D ³
pH(CaCl ₂)		7	4,67	4,70	0,24	5,00	4,20	5,20	0,119
H + Al		7	7,23	6,69	2,05	11,26	5,35	28,34	0,207
Al		6	0,15	0,10	0,14	0,40	0,00	91,89	0,105
Ca	cmol _c dm ⁻³	7	2,27	2,30	0,48	3,00	1,50	20,92	0,934
Mg		7	1,10	0,90	0,52	1,80	0,60	47,24	0,149
K ¹		6	0,40	0,38	0,07	0,49	0,33	16,42	0,210
P ¹	mg dm ⁻³	7	21,44	22,00	6,39	30,20	9,60	29,78	0,536
C	g dm ⁻³	7	20,43	17,00	7,91	30,00	12,00	38,74	0,112
SB		7	3,77	3,98	0,74	4,69	2,45	19,61	0,703
CTC		7	11,00	10,49	2,51	15,52	8,00	22,82	0,338
CTC _e	cmol _c dm ⁻³	7	4,04	3,98	0,95	5,26	2,55	23,62	0,887
Ca + Mg		7	3,37	3,50	0,71	4,20	2,10	21,09	0,700
(Ca + Mg)/K		7	8,61	8,57	1,97	11,52	6,00	22,88	0,538
Ca/Mg		7	2,43	2,50	0,99	3,83	1,11	40,66	0,314
V	%	7	34,68	35,94	5,33	43,57	27,45	15,37	0,664
m		6	3,68	3,44	2,58	7,86	0,00	70,24	0,602
areia		7	592,14	619,50	61,66	657,60	486,85	10,41	0,262
silte	kg Mg ⁻¹	7	144,44	125,75	43,05	217,15	98,50	29,81	0,320
argila		7	263,43	282,00	28,88	296,00	228,00	9,88	0,066

¹ K e P – Melich-I;

² N – número de repetições utilizados para realização da análise (sem valores discrepantes); ³ P.

D. – probabilidade da distribuição ; teste de normalidade Anderson-Darling.

Com relação às condições do solo, segundo Tomé Jr. (1997), a acidez presente é elevada no solo, demonstrada pelo pH médio de 4,67, e um baixo teor de alumínio,

máximo de $0,40 \text{ cmolc dm}^{-3}$. No entanto quando observados suas bases trocáveis Ca, Mg, K, e P, verifica-se que para todas as variáveis os teores apresentam-se muito elevados com médias de 2,27; 1,10; $0,40 \text{ cmolc dm}^{-3}$ e $21,44 \text{ mg dm}^{-3}$, respectivamente de acordo com a CQFS SC/RS(2004).

Ao contrário do descrito não é possível associar a unidade com perda de elementos químicos e físicos, pois os resultados de concentração de bases do solo estão em níveis elevados quanto à presença no solo.

Apesar da forma do relevo e a dinâmica da água contribuir para o processo de perda de elementos físico-químicos de acordo com Oliveira (2008), a unidade apresenta conteúdos de C com níveis considerados elevados (média de $20,43 \text{ g kg}^{-1}$), bem como uma concentração de argila média de $263,43 \text{ kg Mg}^{-1}$, que é considerável alto pela composição que o material de origem apresenta.

5.2.1.3 Modelo Darlymple: Segmentação Vertente Terço Superior da Encosta (SV3)

A análise descritiva da unidade 3 ou terço superior da encosta (TABELA 11) demonstra que esta unidade tem menor variação, visto que para as unidades 1, 2, 4, 5 e 6 ocorrem valores entorno de 70, 80 e até 90% de CV, na unidade 3 os valores não ultrapassam os 54%. Apenas sete variáveis das 20, apresentaram CVs acima de 30%.

Pela posição que ocupa na paisagem, bem como contrariando os resultados obtidos por Park & Giesen (2004) e as considerações feitas por Oliveira (2008), os teores de Mg, K e P, são altos, com médias de 0,97; $0,37 \text{ cmolc dm}^{-3}$ e $30,89 \text{ mg dm}^{-3}$, respectivamente. No caso da variável Ca, com média de $1,69 \text{ cmolc dm}^{-3}$, teor muito baixo, segundo Tomé Jr. (1997), contrastando com a unidade superior (ombro), que

apresentou valores em média (TABELA 10) superiores ao valor de máximo nesta unidade 3 (TABELA 11).

Tabela 11 - Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na segmentação vertente Terço Superior da Encosta (SV3) na profundidade de 0 - 200 mm

	Unidade	N ²	Média	Mediana	Desv. Pad.	Máx.	Min.	C.V.	P. D ³
pH(CaCl ₂)		6	4,67	4,60	0,15	4,90	4,50	3,23	0,117
H + Al		7	5,43	5,35	0,82	6,69	4,61	15,18	0,436
Al		7	0,36	0,30	0,19	0,60	0,10	53,27	0,486
Ca	cmol _c dm ⁻³	7	1,69	1,80	0,42	2,30	1,00	25,03	0,459
Mg		6	0,97	0,90	0,15	1,20	0,80	15,57	0,117
K ¹		7	0,37	0,39	0,07	0,44	0,24	18,54	0,431
P ¹	mg dm ⁻³	7	30,89	32,80	1,15	44,30	2,70	45,82	0,217
C	g dm ⁻³	7	14,00	14,00	3,88	19,00	9,00	27,66	0,796
SB		7	2,99	3,09	0,45	3,64	2,42	14,98	0,629
CTC		7	8,42	8,18	0,92	9,78	7,05	10,88	0,676
CTC _e	cmol _c dm ⁻³	7	3,35	3,46	0,42	3,84	2,74	12,45	0,180
Ca + Mg		7	2,77	2,80	0,39	3,20	2,10	14,09	0,676
(Ca + Mg)/K		6	6,98	6,91	0,50	7,78	6,41	7,11	0,664
Ca/Mg		7	1,84	2,00	0,55	2,56	0,83	29,70	0,402
V		7	35,67	34,61	4,98	41,87	29,58	13,96	0,246
m	%	7	10,77	10,95	5,48	17,19	2,92	50,85	0,755
areia		7	648,13	650,80	31,89	692,65	609,05	4,92	0,684
silte	kg Mg ⁻¹	7	120,01	116,20	17,69	146,95	94,80	14,74	0,929
argila		7	231,86	235,00	19,67	254,00	193,00	8,48	0,243

¹ K e P – Melich-I;

² N – número de repetições utilizados para realização da análise (sem valores discrepantes); ³ P.

D. – probabilidade da distribuição ; teste de normalidade Anderson-Darling.

5.2.1.4 Modelo Darlymple: Segmentação Vertente Meia Encosta (SV4)

A região de meia encosta, conforme Tabela 12, mostra que para variáveis como Al, P e m(%) os CVs são muito elevados, tendo para o último caso valores superiores a 100%. Mesmo com esta variação de saturação por alumínio, os teores de Al, segundo CQFS SC/RS (2004), não são altos, no entanto em alguns casos há de se considerar a

participação do Al na CTC do solo, pois pode representar 36% desta variável. Assim a interferência no sistema não pode ser desconsiderada, e a área deve ser manejada na tentativa de correção, para não agravamento do problema.

Tabela 12 - Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na segmentação vertente Meia Encosta (SV4) na profundidade de 0 – 200 mm

	Unidade	N ²	Média	Mediana	Desv. Pad.	Máx.	Min.	C.V.	P. D ³
pH(CaCl ₂)		8	4,64	4,60	0,23	5,00	4,30	4,88	0,548
H + Al		7	6,03	5,76	0,51	6,69	5,35	8,52	0,177
Al		8	0,30	0,25	0,25	0,80	0,00	83,57	0,310
Ca	cmol _c dm ⁻³	7	1,59	1,80	0,55	2,10	0,60	34,62	0,242
Mg		8	0,80	0,80	0,23	1,10	0,50	29,12	0,332
K ¹		8	0,34	0,33	0,08	0,45	0,21	24,42	0,841
P ¹	mg dm ⁻³	8	46,70	33,90	32,78	106,70	13,60	70,18	0,222
C	g dm ⁻³	6	12,00	12,00	0,89	13,00	11,00	7,45	0,215
SB		8	2,79	3,08	0,81	3,54	1,31	29,15	0,191
CTC		8	8,78	9,13	1,01	9,70	7,07	11,52	0,033
CTC _e	cmol _c dm ⁻³	8	3,07	3,33	0,60	3,67	2,11	19,43	0,115
Ca +Mg		8	2,49	2,70	0,79	3,40	1,10	31,76	0,429
(Ca + Mg)/K		8	7,34	7,41	1,59	9,19	5,24	21,68	0,400
Ca/Mg		8	2,06	2,05	0,47	2,86	1,20	22,92	0,308
V		8	31,20	33,19	6,83	38,07	18,53	21,88	0,319
m (%)	%	8	11,21	7,46	11,44	36,00	0,00	102,1	0,111
areia		8	677,29	650,13	63,95	776,85	608,9	9,44	0,114
silte	kg Mg ⁻¹	8	110,46	117,55	13,83	123,10	90,30	12,52	0,021
argila		8	212,25	230,00	51,37	268,00	127,0	24,20	0,156

¹K e P – Melich-I;

²N – número de repetições utilizados para realização da análise (sem valores discrepantes); ³ P.

D. – probabilidade da distribuição ; teste de normalidade Anderson-Darling.

Dentro desta unidade as variáveis que não apresentaram distribuição normal foram CTC e silte (TABELA 12).

Já para as bases e P, apenas o Ca apresenta valores muito baixos, dentro da escala descrita pela CQFS SC/RS (2004), com média de 1,59 cmol_c dm⁻³ e CV de 34,62%, apresentando valor máximo de 2,10 cmol_c dm⁻³.

No caso do Mg, apesar da amplitude dos valores e do CV de 29,12%, o valor mínimo de $0,50 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ é considerado médio pela CQFS SC/RS (2004), bem como, a média e mediana são iguais, tendo como valores $0,80 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; desta forma pode-se afirmar que os teores caracterizam-se como muito elevados (CQFS SC/RS, 2004).

Para as relações $(\text{Ca} + \text{Mg})/\text{K}$ e Ca/Mg , pode ser verificado que nenhuma das relações se aproxima dos valores tidos com interessante para melhor condição química do solo.

Pela análise granulométrica, descrita na Tabela 12, tem-se que a composição na profundidade de 0 - 200 mm do solo é franco argilo-arenosa, ou seja, textura média, no entanto quando observado a amplitude dos valores o ponto de máximo chega a $776,85 \text{ kg Mg}^{-1}$ de areia e mínimo de $127,00 \text{ kg Mg}^{-1}$ de argila.

5.2.1.5 Modelo Darlymple: Segmentação Vertente Terço Inferior da Encosta (SV5)

A unidade de relevo do Terço Inferior da Encosta (5), teoricamente, não se trata de região de acúmulo de material advindo das unidades superiores, como seria o caso do sopé, contudo trata-se de uma região que sofre influência das unidades anteriores (1,2,3 e 4). Este fato pode ser explicado à posição em que está inserida, bem como a solubilidade dos elementos, carregamento de partículas e a dinâmica que água no segmento (SOUZA Jr. et al., 2009).

A análise descritiva, Tabela 13, caracteriza esta unidade de relevo pela alta acidificação do solo com pH médio de 4,83; porém com um baixo teor de alumínio, máximo $0,50 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, embora com grande variação, $\text{CV} = 75,26\%$.

Assim como nas duas unidades já discutidas da encosta (terço superior da encosta e meia encosta), os teores das bases e o fósforo tem comportamentos semelhantes, ou seja, baixo teor de Ca (média de $1,72 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e elevados de Mg, K e P, quando considerados apenas as médias, sendo estas $0,83 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, $0,30 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $33,01 \text{ mg dm}^{-3}$, respectivamente.

Tabela 13 - Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na segmentação da vertente terço inferior da encosta (SV5) na profundidade de 0 – 200 mm

	Unidade	N ²	Média	Mediana	Desv. Pad.	Máx.	Min.	C.V.	P. D ³
pH(CaCl ₂)		12	4,83	4,75	0,28	5,30	4,40	5,80	0,160
H + Al		13	5,31	4,96	0,70	6,69	4,28	13,08	0,014
Al		14	0,24	0,30	0,18	0,50	0,00	75,26	0,008
Ca	$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	13	1,72	1,90	0,61	3,20	1,00	35,55	0,111
Mg		12	0,83	0,80	0,21	1,20	0,50	25,24	0,729
K ¹		14	0,30	0,29	0,08	0,44	0,13	27,06	0,701
P ¹	mg dm^{-3}	14	33,01	30,00	26,71	97,80	3,70	80,86	0,137
C	g dm^{-3}	14	12,50	11,50	4,01	22,00	7,00	32,12	0,465
SB		12	2,74	2,86	0,61	3,64	1,80	22,30	0,509
CTC		14	8,35	8,28	1,11	10,32	6,79	13,23	0,641
CTC _e	$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	13	3,20	3,20	0,88	5,34	2,13	27,46	0,402
Ca + Mg		12	2,43	2,50	0,55	3,30	1,70	71,95	0,444
(Ca + Mg)/K		14	13,95	9,67	10,04	36,00	5,91	71,01	0,005
Ca/Mg		14	2,04	1,89	0,64	3,17	1,20	32,12	0,435
V		13	35,14	32,87	7,60	51,74	26,25	21,62	0,165
m (%)	%	13	8,79	9,93	6,24	17,94	0,00	31,45	0,116
areia		13	673,67	665,75	47,02	784,60	606,30	6,98	0,195
silte	kg Mg^{-1}	14	109,70	108,38	15,81	138,80	80,45	14,41	0,267
argila		12	223,00	222,50	31,57	269,00	150,00	14,16	0,251

¹K e P – Melich-I;

²N – número de repetições utilizados para realização da análise (sem valores discrepantes); ³P.

D. – probabilidade da distribuição ; teste de normalidade Anderson-Darling.

Conforme classificação CQFS SC/RS (2004) observa-se que ocorrem pontos com teores médio de K, mesmo os teores mínimo de $0,13 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ estão concentrados nesta classe (médio), com mediana apresentando valor de $0,29 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Para as variáveis argila e areia, as concentrações presentes caracterizam um solo franco argilo-arenoso, ou seja, com textura média, visto que os valores de argila não ultrapassam $269,00 \text{ kg Mg}^{-1}$.

Para a variável C, segundo Tomé Jr. (1997) os teores apresentados pode ser caracterizados como baixo a médios, com pontos de máximo e mínimo de $22,00 \text{ g dm}^{-3}$ e $7,00 \text{ g dm}^{-3}$, respectivamente. Associando esta variação aos atributos físicos e a forma do relevo, as baixas concentrações de C podem estar relacionadas à grande quantidade de areia presente na unidade 5, desfavorecendo assim a fixação de carbono segundo Siqueira Neto et al. (2009).

Dentro desta unidade as variáveis que não apresentaram distribuição normal foram H + Al; Al e a relação (Ca + Mg)/K.

5.2.1.6 Modelo Darlymple: Segmentação Vertente Sopé (SV6)

Na forma de relevo denominado de sopé, que pode ser caracterizada como área de concentração sedimentar, pois está na posição de menor altitude, e deve ser favorecida pela dinâmica da água, no acúmulo de material e solutos.

No entanto, apresenta comportamento semelhante as demais formas como é demonstrado na análise descritiva (TABELA 14). O solo caracteriza-se por apresentar pH ácido (média = 4,67), com baixo teor de Al = $0,37 \text{ cmolc dm}^{-3}$, porém com grande variação (CV = 51,21%).

Desta forma as médias das relações, conforme propostas por Tomé Jr. (1997), não estão dentro de valores agronomicamente interessantes, obedecendo aos critérios já mencionados para relação (Ca + Mg)/K, valores que mostrariam o equilíbrio entre os teores seria de 14 a 21, para (Ca/Mg) o recomendado seria 5. No entanto todos os

valores, excluindo-se os valores máximos estão abaixo do ideal, para ambas relações. Os valores encontrados demonstra diferença proporcional desigual de K e Mg em superioridade ao Ca, o que pode causar absorção desequilibrada.

Tabela 14 - Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na segmentação da vertente sopé (SV6) na profundidade de 0 – 200 mm

	Unidade	N ²	Média	Mediana	Desv. Pad.	Máx.	Mín.	C.V.	P. D ³
pH(CaCl ₂)		20	4,67	4,70	0,21	5,20	4,30	4,47	0,115
H + Al		19	5,93	5,55	1,11	8,36	4,61	18,66	0,155
Al		20	0,37	0,30	0,19	0,70	0,00	51,21	0,133
Ca	cmol _c dm ⁻³	19	1,74	1,70	0,52	2,80	0,90	29,91	0,148
Mg		18	0,74	0,70	0,21	1,20	0,40	27,73	0,117
K ¹		18	0,33	0,31	0,08	0,46	0,24	22,89	0,134
P ¹	mg dm ⁻³	20	51,13	42,50	30,74	110,20	4,70	60,11	0,509
C	g dm ⁻³	20	12,85	13,50	3,23	18,00	7,00	25,16	0,543
SB		15	2,65	2,70	0,36	3,50	1,95	13,57	0,208
CTC		20	9,23	8,37	2,06	14,39	7,26	22,28	0,005
CTC _e	cmol _c dm ⁻³	14	2,94	2,98	0,26	3,33	2,44	8,95	0,432
Ca +Mg		15	2,28	2,40	0,39	3,10	1,50	16,92	0,134
(Ca + Mg)/K		20	8,41	8,33	1,84	13,04	5,81	21,84	0,389
Ca/Mg		20	2,37	2,43	0,81	4,50	0,92	34,12	0,397
V		19	31,47	33,15	5,72	37,65	18,83	18,19	0,031
m (%)	%	20	11,44	10,16	5,16	21,13	0,00	45,13	0,180
areia	kg Mg ⁻¹	20	691,87	699,73	67,11	795,70	542,90	9,70	0,558
silte		20	115,18	105,20	30,97	168,40	67,50	26,89	0,058
argila		20	192,95	197,00	43,40	294,00	127,00	22,49	0,317

¹K e P – Melich-I;

²N – número de repetições utilizados para realização da análise (sem valores discrepantes); ³ P.

D. – probabilidade da distribuição ; teste de normalidade Anderson-Darling.

Com relação à granulometria fica evidente a grande quantidade de partículas de areia, caracterizando a unidade como franco arenosa, ou simplesmente arenosa. Esta situação, associada à concentração de C, média de 12,85 g dm⁻³, contribui para o aumento da fertilidade do solo, visto que naturalmente esta é pouco fértil.

Dentro desta unidade as variáveis que não apresentaram comportamento de distribuição normal foram CTC, V(%) e silte.

5.2.2 Profundidade de amostragem 200 – 400 mm

5.2.2.1 Modelo Darlymple: Segmentação Vertente Topo (SV1)

Apesar da profundidade de 200 – 400 mm, não sofrer interferência antrópica diretamente, os manejos realizados nas camadas superficiais, tendem, com defasagem temporal, interferirem na composição das camadas subjacentes. Porém, as variações presentes na camada de 200 – 400 mm para a classificação sugerida por Darlymple (1968) são menores, e em apenas alguns casos específicos o CV passou de 50%.

Analisando a unidade de relevo do topo (SV1) (TABELA 15), a presença de teores de Al com CV= 71,90%, mesmo que em concentrações baixas, média de 0,53 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, pode vir a limitar o desenvolvimento das culturas, visto que para esta forma de relevo, na camada de 0 – 200 mm apresenta grande quantidade de areia, favorecendo deficiência hídrica na cultura, já que o aprofundamento do sistema radicular pode ser prejudicado (FOTH, 1990).

Com relação ao Ca, mesmo em maior profundidade nota-se a presença de baixos teores, com valor máximo de 1,80 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Já para os atributos físicos, ocorrem baixos CVs, devido principalmente pela forma plana que o topo apresenta, este fator contribui para que não haja carreamento das partículas para fora da unidade e, sim movimentação dentro do perfil. Podendo assim contribuir para que ocorra o incremento de argila na profundidade de 200 – 400 mm.

A divisão de paisagem proporcionou, da mesma forma que na profundidade de 0-200 mm (TABELA 9), com poucos pontos amostrados, que variáveis como pH apresente uma distribuição normal, sendo que de todas as 20 variáveis apenas o silte não

apresentou normalidade (TABELA 15). Contudo vale ressaltar o baixo número de observações nesta unidade deve-se ao tamanho da área ocupada pelo segmento da vertente, bem como, aos critérios utilizados na determinação de grade amostral.

Tabela 15 - Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na segmentação da vertente topo (SV1) na profundidade de 200-400mm

Topo	Unidade	N ²	Média	Mediana	Desv. Pad	Máx.	Min.	C.V.	P. D ³
pH(CaCl ₂)		4	4,50	4,50	0,16	4,70	4,30	3,63	0,410
H + Al		4	7,25	6,95	1,52	9,35	5,76	20,99	0,475
Al		4	0,53	0,50	0,38	1,00	0,10	71,90	0,831
Ca	cmol _c dm ⁻³	4	1,40	1,40	0,37	1,80	1,00	26,08	0,608
Mg		4	0,95	0,95	0,21	1,20	0,70	21,91	0,845
K ¹		4	0,31	0,31	0,06	0,39	0,24	20,23	0,798
P _i	mg dm ⁻³	4	5,03	4,90	0,73	6,00	4,30	14,78	0,627
C	g dm ⁻³	4	16,25	14,50	5,68	24,00	12,00	34,95	0,218
SB		4	2,66	2,51	0,51	3,39	2,24	19,17	0,216
CTC		4	9,91	9,45	2,01	12,74	8,00	20,30	0,299
CTC _e	cmol _c dm ⁻³	4	3,19	3,06	0,64	3,99	2,64	20,23	0,322
Ca + Mg		4	2,35	2,20	0,45	3,00	2,00	19,19	0,186
(Ca + Mg)/K		4	7,63	7,81	0,76	8,33	6,56	9,95	0,361
Ca/Mg		4	1,53	1,42	0,55	2,29	1,00	35,64	0,437
V	%	4	26,92	27,26	1,34	28,00	25,16	4,50	0,307
m (%)		4	15,79	15,10	10,45	29,24	3,72	66,20	0,398
areia		4	555,98	555,80	47,03	610,70	501,60	8,46	0,854
silte	kg Mg ⁻¹	4	161,27	161,05	21,13	180,70	142,30	13,10	0,082
argila		4	282,75	282,00	29,81	320,00	247,00	10,54	0,406

¹K e P – Melich-I;

²N – número de repetições utilizados para realização da análise (sem valores discrepantes); ³P.

D. – probabilidade da distribuição ; teste de normalidade Anderson-Darling.

5.2.2.2 Modelo Darlymple: Segmentação Vertente Ombro (SV2)

Para a unidade de relevo ombro (SV2), a análise descritiva, Tabela 16, aponta tendência de redução de P e C, quando comparados com a mesma unidade de relevo da camada superior. Com relação à variabilidade do P, esta é pequena, CV de 28,84% em

relação à profundidade de 0 - 200 mm, sendo que os valores de P são classificados como médios.

A redução de C leva a redução da CTC e V%, com valor máximo de 9,85 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e 29,50 %, respectivamente, mesmo a unidade apresentando quantidades de argila maiores que a camada de 0 - 200 mm.

Tabela 16 - Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na segmentação da vertente ombro (SV2) na profundidade de 200 – 400 mm

		N ²	Média	Mediana	Desv. Pad.	Máx.	Min.	C.V.	P. D ³
pH(CaCl ₂)		6	4,65	4,65	0,06	4,70	4,60	1,18	0,007
H + Al		6	6,49	6,33	0,85	8,05	5,76	13,12	0,176
Al		4	0,60	0,40	0,55	1,40	0,20	91,29	0,117
Ca	$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	6	1,10	1,15	0,21	1,30	0,80	19,07	0,377
Mg		6	0,63	0,65	0,12	0,80	0,50	19,12	0,415
K ¹		5	0,27	0,29	0,04	0,31	0,20	16,32	0,239
P ¹	mg dm^{-3}	6	3,93	4,00	1,13	5,50	2,30	28,84	0,940
C	g dm^{-3}	4	13,57	12,00	4,99	21,00	10,00	36,30	0,146
SB		6	2,01	1,98	0,32	2,41	1,59	15,66	0,793
CTC		6	8,50	8,23	0,69	9,85	8,06	8,09	0,012
CTC _e		6	2,48	2,60	0,49	3,20	1,79	19,92	0,317
Ca + Mg	$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	6	1,73	1,70	0,29	2,10	1,30	16,98	0,732
(Ca + Mg)/K		6	6,35	6,41	1,15	8,00	4,48	18,17	0,549
Ca/Mg		6	1,76	1,74	0,33	2,20	1,29	18,47	0,887
V	%	6	23,86	23,82	4,64	29,50	18,27	19,46	0,595
m (%)		6	17,18	11,36	13,60	43,75	7,66	79,16	0,015
areia		6	576,43	583,05	49,59	635,05	495,40	8,60	0,597
silte	kg Mg^{-1}	6	138,57	133,05	41,41	217,60	102,95	29,88	0,051
argila		6	285,00	286,50	21,38	311,00	259,00	7,50	0,457

¹K e P – Melich-I;

²N – número de repetições utilizados para realização da análise (sem valores discrepantes); ³P.

D. – probabilidade da distribuição ; teste de normalidade Anderson-Darling.

Nesta forma de relevo a variável de maior destaque, não pela importância, mas pela variabilidade, é o Al com CV de 91,29%, com valor máximo de 1,40 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (tóxico) e mínimo de 0,20 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, variando de teores muito baixo a médios.

Com relação ao teste de Normalidade, demonstrado na Tabela 16, observa-se a não normalidade das variáveis pH, CTC, m% e silte.

5.2.2.3 Modelo Darlymple: Segmentação Vertente Terço Superior da Encosta (SV3)

Com relação ao teste de Normalidade, demonstrado na Tabela 17, observa-se que as variáveis Mg e silte são classificadas com distribuição não normal.

Tabela 17 - Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na segmentação da vertente terço superior da encosta (SV3) na profundidade de 200-400mm

	Unidade	N ²	Média	Mediana	Desv. Pad.	Máx.	Min.	C.V.	P. D ³
pH(CaCl ₂)		7	4,67	4,60	0,23	5,10	4,40	4,91	0,503
H + Al		7	5,67	5,76	0,58	6,21	4,96	10,17	0,106
Al		7	0,33	0,30	0,25	0,70	0,00	76,01	0,793
Ca	cmol _c dm ⁻³	7	0,90	0,95	0,17	1,10	0,70	18,59	0,245
Mg		7	0,60	0,50	0,20	0,80	0,30	33,33	0,055
K ¹		7	0,24	0,24	0,01	0,25	0,23	3,11	0,143
P ¹	mg dm ⁻³	7	4,63	3,90	2,24	8,70	2,30	48,35	0,163
C	g dm ⁻³	7	11,83	12,00	2,86	15,0	8,00	24,15	0,182
SB		7	1,90	1,75	0,57	2,94	1,24	29,81	0,530
CTC		7	7,57	7,45	0,45	8,34	7,10	5,88	0,580
CTC _e		7	2,23	2,15	0,42	3,04	1,74	18,64	0,164
Ca +Mg	cmol _c dm ⁻³	7	1,64	1,50	0,56	2,70	1,00	34,23	0,521
(Ca + Mg)/K		7	6,49	5,83	2,47	11,25	4,17	38,00	0,121
Ca/Mg		7	1,79	1,80	0,47	2,38	1,25	25,97	0,353
V	%	7	25,05	24,65	6,97	37,22	16,64	27,83	0,792
m (%)		7	15,79	12,35	12,61	32,56	0,00	79,85	0,618
areia		7	626,72	641,65	24,98	651,45	586,35	3,99	0,160
silte	kg Mg ⁻¹	7	123,3	115,0	26,6	177,9	102,6	21,62	0,067
argila		7	250,0	247,0	39,6	291,0	179,0	15,84	0,391

¹K e P – Melich-I;

²N – número de repetições utilizados para realização da análise (sem valores discrepantes); ³P.

D. – probabilidade da distribuição ; teste de normalidade Anderson-Darling.

De maneira geral pode-se afirmar que as condições de bases nessa unidade, não estão em equilíbrio, seja pelas relações demonstradas, ou pela presença de conteúdos de elementos, como Al, que não são desejáveis.

Para a referida unidade as condições de Ca são mais baixas do que na camada superior (0 - 200 mm), pelo elemento ser muito solúvel, pela forma de relevo (inclinado) somado a granulometria, a movimentação lateral do Ca em relação à percolação em profundidade pode ser maior.

Com relação ao Mg e K, os teores estão mais baixos que na camada superior de 0 - 200 mm, máximo de 0,80 e 0,25 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente, sendo classificados segundo CQF SC/RS (2004) como médios. Pode-se ainda observar que as relações entre as três bases (Ca, Mg e K), apresentam valores muito baixos, a relação (Ca + Mg)/K com média de 6,49 e Ca/Mg de 1,79; quando comparados com os valores que seriam ideais, de 14 a 21 para a relação (Ca + Mg)/K e próximo a 5 para Ca/Mg.

5.2.2.4 Modelo Darlymple: Segmentação Vertente Meia Encosta (SV4)

A situação da unidade de pedoforma meia-encosta (4) é muito semelhante à unidade terço superior. Fica evidente para a forma da paisagem descrita, Tabela 18, a distribuição normal para todos os valores, embora com grande variabilidade.

Um dos pontos interessantes desta unidade são os valores da variável pH, pois além de apresentar distribuição normal, grande parte dos valores encontra-se próximo de 5,2 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, ou seja, condição de média acidez.

Outro fato é a grande variabilidade de alumínio com CV de 102,38%, bem como a m(%) que pode chegar a representar 52% da CTC_e do solo.

Tabela 18 - Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na segmentação da vertente meia encosta (SV4) na profundidade de 200 – 400 mm

		N ²	Média	Mediana	Desv. Pad.	Máx.	Min.	C.V.	P. D ³
pH(CaCl ₂)		8	4,73	5,20	0,12	5,40	4,80	4,30	0,224
H + Al		8	5,52	5,45	0,55	6,21	4,96	10,00	0,140
Al		8	0,33	0	0,33	0,90	0,00	102,3	0,335
Ca	cmol _c dm ⁻³	8	0,85	0,80	0,21	1,10	0,50	24,36	0,349
Mg		8	0,58	0,55	0,27	1,00	0,20	46,25	0,510
K ¹		8	0,23	0,24	0,06	0,32	0,13	26,95	0,830
P ¹	mg dm ⁻³	8	7,80	5,70	5,99	20,00	2,30	76,75	0,163
C	g dm ⁻³	8	14,25	15,00	2,87	17,00	9,00	20,11	0,178
SB		8	1,66	1,55	0,50	2,34	0,83	30,02	0,309
CTC		8	7,18	7,25	0,83	8,30	6,18	11,54	0,144
CTC _e	cmol _c dm ⁻³	8	1,98	1,89	0,26	2,34	1,71	13,05	0,174
Ca +Mg		8	1,43	1,35	0,45	2,10	0,70	31,77	0,408
(Ca + Mg)/K		8	6,15	5,79	1,44	8,75	4,80	23,33	0,180
Ca/Mg		8	1,67	1,67	0,52	2,50	1,10	31,35	0,100
V	%	8	22,83	22,50	5,26	29,66	13,43	23,06	0,732
m (%)		8	17,35	16,66	18,25	52,02	0,00	105,2	0,240
areia		7	653,83	635,00	54,79	737,0	602,1	8,38	0,103
silte	kg Mg ⁻¹	8	112,72	111,05	18,30	137,0	85,95	16,23	0,849
argila		8	241,4	250,5	46,0	292,0	160,0	19,08	0,473

¹ K e P – Melich-I;

² N – número de repetições utilizados para realização da análise (sem valores discrepantes); ³ P.

D. – probabilidade da distribuição ; teste de normalidade Anderson-Darling.

5.2.2.5 Modelo Darlymple: Segmentação Vertente Terço Inferior da

Encosta (SV5)

Para a análise descritiva (TABELA 19), da unidade terço inferior, identifica-se grande variabilidade das variáveis Al, m(%) e P. Com relação ao teste de Normalidade, observa-se as variáveis Ca, Mg, P, CTC_e e m(%) com distribuição não normal.

Para o P ocorrem valores de máximo, considerados altos (CQFS SC/RS, 2004). Estes contribuem para o aumento da variabilidade na unidade, bem como a não normalidade da variável. Para esta profundidade (200-400 mm) a tendência natural para

este elemento, segundo Kiehl (1979) e Varennes (2003), seria a diminuição das concentrações com aumento da profundidade, o que não ocorreu nesta unidade.

Tabela 19 - Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na segmentação da vertente terço inferior da encosta (SV5) na profundidade de 200-400mm

	N ²	Média	Mediana	Desv. Pad.	Máx.	Min.	C.V.	P. D ³
pH(CaCl ₂)	11	4,81	4,80	0,24	5,20	4,30	4,96	0,104
H + Al	14	5,27	5,25	0,98	6,69	3,18	18,51	0,674
Al	14	0,23	0,20	0,23	0,80	0,00	102,14	0,112
Ca	14	1,29	1,05	0,54	2,30	0,60	42,15	0,030
Mg	14	0,76	0,65	0,37	1,40	0,30	48,31	0,052
K ¹	14	0,27	0,25	0,07	0,39	0,17	24,69	0,312
P _i	14	21,15	8,50	22,34	59,20	2,30	105,63	0,005
C	13	11,85	12,00	2,91	17,00	7,00	24,57	0,867
SB	12	2,12	1,88	0,74	3,44	1,22	34,91	0,129
CTC	14	7,59	7,39	1,17	10,13	6,09	15,35	0,397
CTC _e	14	2,55	2,32	0,77	3,65	1,55	30,26	0,040
Ca + Mg	14	2,05	1,80	0,82	3,30	0,90	39,89	0,082
(Ca + Mg)/K	14	7,73	7,67	2,50	12,80	2,81	32,35	0,901
Ca/Mg	14	1,83	1,90	0,57	2,88	0,79	30,95	0,594
V	14	30,34	28,18	9,72	53,24	16,42	32,02	0,371
m (%)	14	10,09	5,49	11,65	39,60	0,00	115,48	0,014
areia	14	652,3	641,6	62,0	775,7	568,5	9,51	0,389
silte	12	113,22	108,10	17,53	144,65	90,50	15,48	0,413
argila	14	227,8	250,5	67,0	307,0	95,0	29,40	0,176

¹ K e P – Melich-I;

² N – número de repetições utilizados para realização da análise (sem valores discrepantes); ³ P.

D. – probabilidade da distribuição ; teste de normalidade Anderson-Darling.

Já as demais variáveis seguem o comportamento semelhante ao já descrito para as duas unidades anteriores.

5.2.2.6 Modelo Darlymple: Segmentação Vertente Sopé (SV6)

Diferentemente das demais unidades, a região do sopé, Tabela 20, apresenta, altos valores de Al, máximo de 1,80 cmol_c dm⁻³.

Com relação à granulometria há grande variabilidade, devido a ocorrência de locais com altos valores de conteúdo de areia (máximo de 781,6 kg Mg⁻¹) e muito baixos de argila (mínimo de 172,0 kg Mg⁻¹), e outros com a uma condição próximas de textura argilosa, máximo de 315,0 kg Mg⁻¹, mostrando assim, que a divisão em segmentos não teve o efeito esperado.

Ainda com relação ao teste de Normalidade demonstrado na Tabela 20, ressalta as variáveis pH, Ca, Mg, CTC_e e m(%) com distribuição não normal.

Tabela 20 - Análise Descritiva e de Normalidade dos atributos químicos e de granulometria do solo na segmentação da vertente sopé (SV6) na profundidade de 200-400mm

	Unidade	N ²	Média	Median a	Desv. Pad.	Máx.	Min.	C.V.	P. D ³
pH(CaCl ₂)		19	4,38	4,30	0,18	4,80	4,20	4,00	0,005
H + Al		15	5,90	5,76	0,83	7,76	4,61	13,98	0,140
Al		19	0,84	0,80	0,49	1,80	0,10	58,84	0,314
Ca	cmol _c dm ⁻³	19	0,70	1,00	0,20	1,20	0,50	21,80	0,005
Mg		17	0,69	0,70	0,24	1,10	0,40	34,72	0,095
K ¹		19	0,23	0,21	0,06	0,37	0,15	25,96	0,179
P ¹	mg dm ⁻³	16	9,72	8,40	5,72	20,30	2,30	58,82	0,150
C	g dm ⁻³	14	10,64	11,00	1,74	14,00	8,00	16,32	0,139
SB		19	1,87	1,80	0,54	3,23	1,11	29,11	0,268
CTC		16	7,91	7,52	1,31	10,55	6,21	16,60	0,148
CTC _e	cmol _c dm ⁻³	19	2,79	2,44	0,85	4,73	1,71	30,27	0,024
Ca + Mg		19	1,62	1,60	0,49	2,80	0,90	30,17	0,317
(Ca + Mg)/K		19	6,81	6,67	1,40	8,62	3,78	20,52	0,284
Ca/Mg		19	1,65	3,00	0,55	1,67	0,90	33,61	0,150
V	%	19	22,41	22,69	5,46	38,00	16,16	24,37	0,030
m (%)		19	29,55	30,84	12,62	45,69	2,75	42,72	0,211
areia		19	665,4	659,5	72,4	781,6	526,0	10,88	0,767
silte	kg Mg ⁻¹	19	101,5	97,5	45,4	173,0	13,0	44,68	0,836
argila		19	233,1	229,0	45,1	315,0	172,0	19,37	0,364

¹ K e P – Melich-I;

² N – número de repetições utilizados para realização da análise (sem valores discrepantes); ³ P.

D. – probabilidade da distribuição ; teste de normalidade Anderson-Darling.

Considerando as duas camadas, observa-se que na camada superficial (0– 200 mm) ocorre maior acidez, não apenas pela presença de alumínio, mas também pelo

manejo aplicado, ou seja, pelo Sistema Plantio Direto, que favorece a acidificação das primeiras camadas, resultante, segundo Nicolodi et al. (2008), do acúmulo na superfície de resíduos orgânicos, alterando a dinâmica da acidez do solo.

5.3. Considerações Gerais da Análise Descritiva

Conforme análises descritivas, de forma geral ou através dos modelos de paisagem, é possível perceber diferenças na variabilidade das variáveis estudadas quando se trabalha com diferentes escalas.

Quando se utiliza a amostragem regular, considerando a área homogênea e uma amostragem com 60 pontos, é fácil perceber a grande variabilidade de alguns elementos, bem como, a não normalidade para muitas variáveis. Contudo quando se aplica mesma amostragem respeitando modelos que dividem a área maior em diferentes segmentos, verifica-se para algumas variáveis que a variabilidade diminui, bem como, também é possível verificar um ajuste relativo a normalidade dentro das divisões da paisagem.

Estas respostas concordam com estudos realizados por Minasny & Mcbratney (2001), que relacionaram a influência da amostragem na determinação de áreas de transição entre classes de uma mesma variável. Desta forma, ao considerar a área como única unidade da paisagem tem-se média baseada em diversos valores que muitas vezes não fazem parte do mesmo conjunto de valores (população). Contudo quando se divide esta mesma área em segmentos, neste caso em 3 ou 6, há no mínimo três médias, semelhantes ou não, porém baseadas em valores que tem maior chance de pertencerem a outro conjunto de valores (população).

Com relação ao modelo de Troeh (1965), as segmentações das vertentes mostram que para a maioria das variáveis, dentro das unidades classificadas, possuem

distribuição normal; exceto o Mg, CTC e relação $(Ca + Mg)/K$ para a unidade 1 (Linear); Mg unidade 2 (Convexo); V(%) unidade 3 (Sopé), na profundidade de 0-200 mm e; pH, Mg, P, V(%) somente para a unidade 3 (Sopé) na profundidade de 200-400 mm.

Estes resultados mostram que a morfologia das vertentes influencia na distribuição dos conjuntos de valores quando comparados com a área total, onde 13 variáveis apresentaram não normalidade.

Ao observar-se o comportamento das unidades na camada de 0-200 mm e compará-las com valores na mesma profundidade da área total, fica evidente para a área de pedoforma côncava-convexa e sopé, que das 19 variáveis, 11 e 12, respectivamente tiveram CVs mais elevados que a área total, indicando desta forma que nestas unidades a divisão não surtiu o efeito esperado. Para a pedoforma linear foram apenas 6 variáveis com índices maiores. Desta forma ao fazer estas afirmativas pode-se ver que sobre a distribuição dos dados (normalidade), a utilização do modelo de paisagem (TROEH) mostra-se interessante, contudo quando se verifica a variabilidade dos valores através do CV, verifica-se uma possível falha na aplicação do modelo. Uma provável solução poderia ser atribuída ao número de amostras que necessitaria ser maior, ou seja, mais repetições, ou realizar grid amostral não regular com amostragem que respeitasse a divisão vertical, também com algum critério agronômico.

Na camada de 200-400 mm para a pedoforma Côncava-Convexa (2) e Sopé (3) (TROEH) evidencia-se 8 e 11 variáveis com maior variação (CVs) que a área total, respectivamente. Entretanto na unidade 3, verifica-se a existência para as variáveis Mg, P, V(%) e argila que as variações (CVs) são muito semelhantes as obtidas na área total, mesmo que o número de observações não seja os mesmos.

Estas variações não estão apenas associadas com a mobilidade do elemento no solo, mas também estão relacionadas às condições pedogenéticas, à morfologia das vertentes, bem como a influência que a água tem sobre o comportamento das mesmas. De acordo com Oliveira (2008) a concavidade e convexidade das vertentes têm influência direta na convergência ou divergência do movimento superficial da água, bem como, na movimentação interna ao longo da vertente e, conseqüentemente, contribuem na formação e variabilidade espacial dos solos.

Aplicando estas análises preliminares, ficam evidentes as diferenças entre as unidades morfológicas das vertentes, principalmente quando comparados a forma linear (1) com as demais, pois para a unidade 1, nas duas profundidades, verifica-se a menor variação para a maior parte das variáveis. Este fato também é devido a uma maior infiltração de água e conseqüentemente um menor escoamento superficial, favorecendo a percolação ao longo do perfil.

Já para a área do Sopé (PF3) (TROEH) a variabilidade na distribuição dos elementos, segundo Oliveira (2008) além de estar relacionada à maior concentração de água ao longo do perfil, também sofre influência das vertentes contíguas; no entanto ao analisar os resultados para a PF3, e compará-los aos demais, principalmente com relação as bases solúveis, exceto o Ca, verifica-se que a concentração média é semelhante.

A água tem importância também no desenvolvimento pedogenético (KIEHL, 1979). Associando este conceito à variabilidade das frações granulométricas, as unidades da vertente apresentam maior variação, para ambas as camadas amostradas, em relação à área total. Isto ocorre principalmente na região onde se encontra o Sopé, que é diretamente influenciada pela unidade 2 (Côncavo-Conexo), que pela morfologia da vertente contribui para o carreamento de partículas para regiões adjacentes.

Para o modelo de Darlymple (1968), as divisões da vertente mostram que as variações das variáveis estudadas, em grande maioria, possuem comportamento semelhante aos encontrados na área total quanto à normalidade dos mesmos. Para ambas as profundidades observam-se efeito na divisão; fato relevante atribui-se aos valores de pH, dentro de cada unidade, com exceção Topo (SV1) na profundidade de 0-200 mm e, Ombro (SV2) e Sopé (SV6) na profundidade de 200-400 mm; tiveram uma distribuição normal. Para as demais variáveis não há diferença relevantes entre os segmentos da vertente em relação à área total, visto que das 20 variáveis 11 tiveram distribuição não normal, enquanto a área total foram 13.

Contudo, dentro da camada de 0-200 mm, um segmento merece destaque, a unidade 3, ou seja, o terço superior da encosta. Das 19 variáveis, todas apresentaram variação menor (TABELA 13) que a área total (TABELA 1). Já para as unidades 2, 4 e 5 não observou-se melhoria, visto que as variações para 12 variáveis são maiores que as obtidas na área total.

Em relação aos conteúdos de água e os elementos da vertente, a posição do ombro contém a menor concentração de água, bem como a maior velocidade de escoamento de água (OLIVEIRA, 2008). Sendo que a região do ombro é a que apresenta maior variação dentro da vertente (Park & Giesen, 2004), pode-se verificar a mesma situação dentro deste trabalho, pois apresentam em relação ao número de variáveis, variação maior do que a área total. Mas quando se analisa as variáveis entre as 6 unidades, verifica-se que tanto para Ca como K as variações são bem menores para a região do ombro.

Na mesma linha, Oliveira (2008) comenta ainda sobre a condição inversa que ocorre na posição de sopé da vertente. Entretanto quando se analisa os resultados da unidade 6, fica evidente que as condições de variação dos elementos estudados não são

muito diferentes das demais unidades. Nem mesmo os conteúdos de elementos no solo, segundo a CQFS SC/RS (2004), encontram-se em outras classes, evidenciando ação antropogênica citada por Webster (2000).

Para a camada de 200-400 mm a mesma condição não é verificada em relação à camada superior (0-200 mm), provavelmente devido à menor influência antrópica ao meio, bem como ao tipo de manejo adotado (SPD), onde os manejos químicos são realizados nas camadas superficiais sem revolvimento do solo.

Entretanto ao confrontar as análises da área total e das 6 unidades da vertente, todas as segmentações apresentam CVs maiores para algumas variáveis com relação ao total; merece destaque a unidade da posição do terço inferior da encosta, onde das 19 variáveis, 16 possuem variação maior que a área total.

5.4 Análise de Variância e Comparação de Médias

De acordo com o comportamento dos atributos do solo já discutidos, a inferência sobre os resultados obtidos tende, no primeiro momento, a não qualificar as divisões sugeridas.

5.4.1 Modelo Troeh (1965): Análise de Comparação de Médias

5.4.1.1 Profundidade de amostragem 0–200 mm

Para a profundidade de 0 – 200 mm, as variáveis que não apresentaram distribuição normal foram Mg, CTC, relação $((Ca+Mg)/K)$ para a área Linear; Mg para a área Convexa e; V(%) e silte para o Sopé.

Com relação às funções transformadoras para a variável saturação por base (V%), por tratar-se de uma variável expressa em porcentagem, Dias (2010) recomenda funções angulares, devido geralmente seguir uma distribuição binomial. Já para a variável relação (Ca + Mg)/K a função que teve melhor resposta foi a raiz quadrada (raiz), no caso das variáveis CTC e silte a função de efeito foi a mesma (log na base 10).

A variável Mg não foi apresentada pelo fato que nas unidades onde as distribuições de valores não foram normais (Linear e Convexo), nenhuma função transformadora obteve efeito.

Tabela 21 - Análise Descritiva e de Normalidade das variáveis transformadas em todas as pedoformas (profundidade 0 - 200mm)

	N ²	Média	Mediana	Desv. Pad.	Máx.	Min.	C.V.	P. D ³
PF1								
CTClog	25	0,94	0,93	0,06	1,09	0,86	6,35	0,196
Vcos								
(Ca+Mg)/Kraiz	22	7,83	7,49	0,07	11,1	5,95	0,93	0,111
siltelog	27	2,06	2,08	0,09	2,25	1,83	4,45	0,305
PF2								
CTClog	15	0,92	0,91	0,06	1,01	0,83	6,61	0,189
Vcos	13	0,21	0,19	0,59	0,95	-0,68	282,12	0,140
(Ca+Mg)/Kraiz	13	7,86	7,60	0,15	13,08	5,24	1,90	0,798
siltelog	15	2,02	2,02	0,05	2,09	1,91	2,56	0,469
PF3								
CTClog	12	0,97	0,96	0,09	1,09	0,86	9,22	0,112
Vcos	11	0,10	0,31	0,72	1,00	-1,00	725,24	0,493
(Ca+Mg)/Kraiz	12	45,83	40,70	2,03	74,17	19,13	4,43	0,196
siltelog	12	2,06	2,02	0,12	2,23	1,87	5,93	0,193

²N – número de repetições utilizados para realização da análise (sem valores discrepantes); ³ P.

D. – probabilidade da distribuição ; teste de normalidade Anderson-Darling.

Para a variável V(%), a função de transformação Coseno não normalizou os valores da área Linear; na tentativa para normalizar a variável, utilizou-se a função Seno, que teve efeito positivo para a área Linear (1), no entanto para a área do Sopé (3)

o mesmo não foi verificado, por este motivo optou-se pela exclusão da variável do quadro de transformações.

Conforme análise de variância foi observada diferença entre algumas variáveis. Conforme teste de médias (TABELA 22), considerando-se as três pedoformas, não foi possível obter diferenças estatísticas significativas para a diferenciação das mesmas. Este fato provavelmente se deve ao fator antrópico, que segundo Webster (2001) contribui para a modificação da variabilidade do solo. Este ponto pode ser analisado através da verificação dos teores que para grande parte das variáveis, exceto o cálcio, classificam-se como altos quando comparados com os padrões descritos pela CQFS SC/RS (2004).

Assim das 19 variáveis apenas seis apresentaram diferença estatística ($p > 0,005$), sendo estas; K, P, relação $(Ca+Mg)/K$, CTC_e , areia e argila. Analisando as diferenças presentes entre as pedoformas, verifica-se que para maior parte há semelhança entre as PF1 e PF2, diferindo, portanto da PF3.

Apenas para o caso do K é possível verificar semelhança entre as PF1 e PF3, no entanto esta resposta pode estar associada a mobilidade do elemento no solo, visto que a PF2 exerce influencia na unidade adjacente (PF3), mesmo que para Neves et al. (2009) os atributos físicos tenham pouca influência no movimento do elemento.

Na solução do solo as diferenças ocorreram para a capacidade de troca de cátions apenas dos elementos disponíveis para as plantas, ou seja, a CTC_e tendo a PF2 os menores teores em média, visto que a forma da vertente favorece a processos de perda de elementos pelo movimento da água.

Tabela 22 - Teste de comparação de médias entre as 3 pedoformas na profundidade de 0 – 200 mm

	Unidade	PF 1	PF 2	PF 3
pH		4,70 A	4,73 A	4,67 A
H + Al		5,67 A	5,40 A	6,17 A
Al		0,25 A	0,27 A	0,38 A
Ca		1,88 A	1,65 A	2,10 A
Mg	cmol _c dm ⁻³	0,94 A	0,84 A	0,86 A
K		0,37 A	0,30 B	0,32 AB
P	mg dm ⁻³	30,14 A	43,09 AB	54,77 B
C	g dm ⁻³	13,92 A	14,25 A	12,67 A
Ca+Mg		2,97 A	2,34 A	2,98 A
Ca/Mg		2,15 A	2,14 A	2,61 A
(Ca+Mg)/K	cmol _c dm ⁻³	2,80 A	2,80 A	6,77 B
SB		3,18 A	2,61 A	3,31 A
CTC		8,71 A	8,32 A	9,33 A
CTC _e		3,44 AB	2,79 A	3,69 B
V	%	1,51 A	1,36 A	1,47 A
m		7,80 A	10,69 A	11,02 A
areia		649,78 A	708,40 B	695,95 B
silte	kg Mg ⁻¹	114,82 A	104,71 A	114,82 A
argila		244,41 A	193,44 B	185,67 B

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem significativamente pelo Teste de Tukey ao nível de probabilidade de 5%.

Para o P não se verificou mesma situação, pois as diferenças invertem e as PF1 e PF2 são estatisticamente semelhantes, enquanto para as PF1 e PF3 são diferentes. Mesmo com altos teores do elemento na porção mais baixa da vertente, não há influência de nenhuma área da parte superior, visto que no solo, segundo Smeck (1985), o P é pouco móvel e depende das condições físicas (granulometria). Sendo assim, o acúmulo do elemento, tendo em vista o pouco conteúdo de argila, desfavorece a adsorção do elemento pela argila, tornando-o mais disponível no solo.

Com base nestes resultados, pode-se verificar a possibilidade de aplicação de manejo diferenciado nas PF, sendo que através dos elementos P e K, é possível agrupar

as PF1 e PF2, e PF2 e PF3, respectivamente, formando assim grupos mais homogêneos e que podem vir a facilitar o manejo.

Para os atributos físicos há diferença entre as PF1 e PF2 e PF3, caracterizando assim unidades geológicas diferentes. O conteúdo de areia e argila apresentam diferenças estatística ($p > 0,005$) da PF1 com as duas demais (PF2 e PF3).

5.4.1.2 Profundidade de 200–400 mm

Para a profundidade de 200 – 400 mm (TABELA 23), as únicas variáveis que não apresentaram distribuição normal foram pH, Mg, P e V(%) apenas na unidade de Sopé.

Tabela 23 - Análise Descritiva e de Normalidade das variáveis transformadas em todas as pedo-formas (profundidade 200-400mm)

	N ²	Média	Mediana	Desv. Pad.	Máx.	Min.	C.V.	P. D ³
PF1								
Mginver	21	1,51	1,43	0,53	2,50	0,71	35,14	0,132
Praiz	25	3,87	3,90	0,10	6,40	2,30	2,58	0,211
Vcos	21	0,04	0,08	0,69	0,94	-0,97	1668,17	0,114
PF2								
Mginver	13	1,95	2,00	0,65	3,33	1,00	33,15	0,458
Praiz	12	0,56	20,00	0,31	3,10	6,85	8,15	0,780
Vcos	12	0,14	0,25	0,74	0,10	-0,95	550,53	0,141
PF3								
Mginver	12	1,96	2,00	0,70	3,33	0,91	35,74	0,201
Praiz	12	17,23	15,27	2,56	52,51	5,10	14,88	0,370
Vcos	12	-0,05	-0,02	0,55	0,81	-0,83	-1058,94	0,581

²N – número de repetições utilizados para realização da análise (sem valores discrepantes); ³ P.

D. – probabilidade da distribuição ; teste de normalidade Anderson-Darling.

Em relação às funções transformadoras para a variável saturação por base V(%), a função Coseno teve bons resultados para as três áreas, contrário a situação anterior. Já para a variável Mg a função que teve melhor resposta foi o inverso do valor

(invers), no caso da variável P a função transformadora de melhor ajuste foi a raiz quadrada (raiz).

Com relação ao pH, a função raiz quadrada, não teve efeito para a área Sopé; na tentativa para normalizar a variável, utilizou-se a função logarítmica, que teve efeito positivo apenas para a área do Sopé, por este motivo optou-se pela exclusão da variável.

Para a profundidade de 200 – 400 mm, pode-se, conforme Tabela 24, observar que das variáveis estudadas oito não apresentam diferença ($p > 0,005$) pelo Teste de Tukey, sendo estas o Mg, C, relações (Ca/Mg) e (Ca + Mg)/K, CTC e a V%.

Tabela 24 - Teste de comparação de médias entre as 3 pedoformas na profundidade de 200 – 400 mm

	Unidade	PF1	PF2	PF3
pH		-	-	-
H + Al		5,64 A	5,53 A	7,00 B
Al		0,25 A	0,41 A	0,98 B
Ca		1,06 A	0,82 B	0,93 AB
Mg	cmol _c dm ⁻³	1,51 A	1,96 A	1,96 A
K		0,28 A	0,21 B	0,26 AB
P	mg dm ⁻³	3,87 A	8,15 B	17,24 C
C	g dm ⁻³	11,77 A	14,33 A	13,17 A
Ca+Mg		1,86 A	1,33 B	1,49 AB
Ca/Mg		1,66 A	1,80 A	1,88 A
(Ca+Mg)/K	cmol _c dm ⁻³	6,67 A	6,69 A	6,52 A
SB		2,09 A	1,54 B	1,88 AB
CTC		7,79 A	7,65 A	8,88 A
CTC _e		2,28 A	1,93 A	2,77 B
V	%	1,53 A	1,44 A	1,62 A
m		11,99 A	19,30 A	37,12 B
areia		600,66 A	659,77 B	675,93 B
silte	kg Mg ⁻¹	126,57 A	110,04 AB	87,08 B
argila		272,05 A	223,44 B	243,23 AB

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem significativamente pelo Teste de Tukey ao nível de probabilidade de 5%.

Assim como as respostas obtidas na camada superior (0 - 200 mm) foi possível verificar maior número de diferenças das variáveis entre as pedoformas. Principalmente entre as PF1 e PF2 e PF1 e PF3.

Área de maior relevância para a profundidade de 200 – 400 mm é a PF3, a qual apresenta uma situação de elevada acidez, quando comparada com as demais, contudo a SB é semelhante as duas outras pedoformas, mas quando observado sua CTC_e e a influência que o Al tem sobre essa, nota-se disparidade com as demais.

Parte desta acidificação está relacionada com os baixos teores de Ca, pois ao menos na PF1, onde ocorre média mais alta de Ca, verifica-se também a média mais baixa de Al. Já para as demais pedoformas, não se verificou o mesmo comportamento. A PF3 apresenta média semelhante em Ca da PF1 e quanto ao teor de Al a média é diferente das demais.

De todas as variáveis, o P apresentou comportamento diferenciado para cada pedoforma. A PF3 possui maior conteúdo, fato que não pode, teoricamente, ser explicado pelo teor de C, por serem estatisticamente iguais dentro das unidades; nem mesmo pela argila, por apresentar teores semelhantes as PF1 e PF3 e pela pouca mobilidade do elemento ao longo da vertente.

Com relação à granulometria das 3 unidades, pode-se inferir que para a areia há semelhança estatística entre as PF2 e PF3, diferenciando-se da PF1 que apresenta maior concentração desta partícula. Este fato pode estar relacionado com o material de origem presente na região, principalmente pela PF1 estar sobre maior influência do Grupo Itararé indiviso, quanto as PF2 e PF3 tem maior influência da Formação Furnas.

Já as partículas menores, silte e argila, comportam-se de forma contrária, assim enquanto que para o silte as PF1 e PF3 são contrastantes, no caso da argila esta diferença é vista entre as PF1 e PF2. Estes comportamentos podem ser justificados pela

dinâmica das partículas ao longo da vertente, pois como a silte possui maior tamanho em relação à argila, tende a percorrer menores distâncias (OLIVEIRA, 2008). Assim as menores concentrações de silte e, intermediárias de argila na PF3, podem ser explicadas, principalmente pela forte influência que a PF2 teria sobre esta.

Com relação à areia na PF3 o comportamento pode ser explicado, visto que é naturalmente esperado. De acordo com Camargo (2009), pela posição que ocupam na paisagem, devido à natureza do material de origem, arenito, existe favorecimento a um maior teor de areia do que de argila, e a ocorrência de solos menos profundos com camadas menos espessas.

A distribuição dos atributos Ca, Mg, K, CTC_e e silte tiveram maior variabilidade na PF3, verificando assim a influência das SG através das diferenças obtidas, semelhante ao encontrado por Camargo et al. (2010a), podendo desta forma identificar e estabelecer área mais homogêneas, favorecendo possível manejo diferenciado.

5.4.2 Modelo Darlymple (1968): Análise de Comparação de Médias

5.4.2.1 Profundidade de amostragem 0 -200 mm

De todas as variáveis que não apresentaram distribuição normal, pH, H + Al, Al, SB, CTC, CTC_e, V, (Ca + Mg)/K e silte, apenas para nas três últimas obteve-se função cuja transformação passou a apresentar distribuição normal pra todas as unidades de relevo. A análise descritiva dos valores transformados destas variáveis, V(%), relação (Ca + Mg)/K e silte são apresentadas na Tabela 25.

Para a variável V(%), geralmente bimodal, conforme Dias (2010), a função coseno (COS) apresentou efeito. Já para as variáveis relação (Ca + Mg)/K e silte, a função utilizada foi a logarítmica na base 10 (log).

Tabela 25 - Análise Descritiva e de Normalidade das variáveis transformadas em todas as segmentações (profundidade 0-200mm)

	²		Desv.					³
	N	Média	Pad.	Mediana	Máx.	Min.	C.V.	
SV1								
Vcos	4	0,25	0,85	0,48	0,99	-0,96	341,02	0,317
(Ca + Mg)/Klog	4	0,91	0,05	0,90	0,98	0,88	5,00	0,171
siltelog	4	2,10	0,13	2,11	2,25	1,94	6,30	0,835
SV2								
Vcos	7	0,43	0,64	0,70	0,99	-0,68	148,41	0,147
(Ca + Mg)/Klog	7	0,93	0,10	0,93	1,06	0,78	10,73	0,714
siltelog	7	2,14	0,12	2,10	2,34	1,99	5,74	0,598
SV3								
Vcos	7	-0,38	0,71	-0,51	0,94	-0,99	-	0,132
(Ca + Mg)/Klog	7	0,84	0,03	0,84	0,89	0,81	3,61	0,520
siltelog	7	2,08	0,07	2,07	2,17	1,98	3,11	0,325
SV4								
Vcos	6	0,15	0,73	0,12	0,93	-0,70	478,01	0,240
(Ca + Mg)/Klog	8	0,86	0,10	0,87	0,96	0,72	11,33	0,390
siltelog	6	2,03	0,06	2,03	2,09	1,96	2,98	0,108
SV5								
Vcos	13	-0,16	0,61	-0,15	0,99	-0,99	-	0,124
(Ca + Mg)/Klog	11	0,95	0,16	0,93	1,30	0,77	16,34	0,120
siltelog	14	2,05	0,06	2,04	2,14	1,91	2,73	0,380
SV6								
Vcos	20	0,19	0,68	0,31	1,00	-1,00	350,21	0,251
(Ca + Mg)/Klog	20	1,33	0,40	1,38	1,87	0,77	30,11	0,465
siltelog	20	2,05	0,12	2,02	2,23	1,83	5,67	0,567

²N – número de repetições utilizados para realização da análise (sem valores discrepantes); ³P.

D. – probabilidade da distribuição ; teste de normalidade Anderson-Darling

As demais variáveis pH, H + Al, Al, SB, CTC e CTC_e, não foram apresentadas pelo fato que na unidade onde a distribuição de valores não foi normal, nenhuma função transformadora obteve efeito.

Considerando-se as médias dos atributos químicos nas unidades de vertente, das 19 variáveis em apenas oito não se observou diferença ($p > 0.005$) (TABELA 26). Estas variáveis são pH, Al, Ca, P, relação (Ca/Mg), V(%), m% e silte (Siltelog).

Tabela 26 - Teste de comparação de médias entre as 6 segmentações da vertente na profundidade de 0 – 200 mm

	SV1	SV2	SV3	SV4	SV5	SV6
pH	-	4,67 _A	4,64 _A	4,64 _A	4,83 _A	4,67 _A
H + Al	7,86 _A	7,23 _{AB}	5,43 _B	6,03 _{AB}	-	6,93 _B
Al ₃ cmol _c dm ⁻³	-	0,15 _A	0,36 _A	0,30 _A	-	0,37 _A
Ca ₃ cmol _c dm ⁻³	2,20 _A	2,27 _A	1,69 _A	1,59 _A	1,72 _A	1,74 _A
Mg ₃ cmol _c dm ⁻³	1,09 _{AB}	1,10 _A	0,97 _{AB}	0,80 _{AB}	0,83 _{AB}	0,74 _B
K ₃ cmol _c dm ⁻³	0,39 _{AB}	0,40 _A	0,37 _{AB}	0,34 _{AB}	0,30 _B	0,33 _{AB}
P ₃ mg dm ⁻³	18,30 _A	21,44 _A	30,89 _A	46,70 _A	33,01 _A	51,13 _A
C ₃ g dm ⁻³	17,50 _{AB}	20,43 _A	14,00 _B	12,00 _B	12,50 _B	12,85 _B
Ca + Mg ₃ cmol _c dm ⁻³	3,30 _{AB}	3,37 _A	2,77 _{AB}	2,49 _B	2,43 _B	2,28 _B
Ca/Mg ₃ cmol _c dm ⁻³	1,97 _A	2,43 _A	1,84 _A	2,06 _A	2,04 _A	2,37 _A
(Ca + Mg)/K ₃ cmol _c dm ⁻³	0,91 _A	0,93 _A	0,84 _A	0,86 _A	0,95 _A	1,33 _B
SB ₃ cmol _c dm ⁻³	-	3,77 _A	2,99 _{AB}	2,79 _B	2,74 _B	2,65 _B
CTC ₃ cmol _c dm ⁻³	11,56 _A	10,99 _A	8,42 _B	-	8,35 _B	-
CTC _{e3} cmol _c dm ⁻³	-	4,04 _A	3,35 _{AB}	3,09 _B	3,20 _B	2,94 _B
V %	1,32 _A	1,12 _A	1,96 _A	1,30 _A	1,73 _A	1,38 _A
M %	7,99 _A	3,68 _A	10,77 _A	11,21 _A	8,79 _A	11,44 _A
areia kg Mg ⁻¹	612,61 _{AB}	592,14 _A	648,13 _{AB}	677,29 _B	673,67 _B	691,87 _B
silte kg Mg ⁻¹	126,97 _A	139,38 _A	118,91 _A	109,67 _A	111,12 _A	111,33 _A
argila kg Mg ⁻¹	-	263,43 _A	231,86 _{AB}	212,25 _{AB}	223,00 _{AB}	192,95 _B

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem significativamente pelo Teste de Tukey ao nível de probabilidade de 5%.

Para as demais variáveis ocorreu no máximo diferença entre duas unidades. Grande parte destas diferenças ocorre entre a SV2 e SV4, bem como, entre o SV2 e a SV6; estas podem estar associadas aos diferentes conteúdos de água nas unidades. Segundo Oliveira (2008) há correlação negativa entre o conteúdo de umidade e os segmentos da vertente, descreve ainda sentido do conteúdo de água, sendo ombreira < meia-encosta < sopé. Desta forma correlacionando a dinâmica da água na paisagem, segmentos da vertente e o grau de solubilização dos elementos, pode-se fazer inferências sobre a dinâmica dos elementos mais móveis no solo.

Considerando os atributos químicos do solo, observou-se que o Mg possui diferenças apenas entre a SV2 e SV6, tendo as demais unidades médias entre estes extremos. Embora os valores para todas as situações variem de médio a alto.

Dentre todas as variáveis que apresentaram diferença, as únicas que poderiam vir a ser manejadas de forma diferenciada são o Mg e K, mesmo que nas situações descritas, os elementos não estejam em baixas concentrações, a manutenção da fertilidade se faz necessária, devido a mobilidade no solo e requerimento pelas plantas. Para estas variáveis poder-se-ia dividir a área em dois “grupos”, sendo o primeiro que vai do topo (SV1) até o terço superior da encosta (SV3), já o outro vai da meia encosta (SV4) até o sopé (SV6), na tentativa de realizar manejos diferenciados.

Porém, fato que chama atenção para a profundidade de 0 – 200 mm são as diferenças de carbono, sendo as unidades de vertente SV1 e SV2 áreas de maior concentração de C quando comparados principalmente com o SV6, a qual poderia ser considerada região de acúmulo de material. Teoricamente, pela posição na paisagem e o gradiente topográfico, a SV6 deveria apresentar acúmulo de material e conseqüente maior conteúdo do elemento. Estes resultados podem ser justificados, segundo Kiehl

(1979) pela composição granulométrica, onde se observa correlação positiva entre C e argila.

Considerando ainda a granulometria, evidencia-se maior concentração de partículas de areia nas regiões mais baixas; ao contrario da condição natural e descrito por Park & Giesen (2004) e Oliveira (2008). Para este caso não se pode associar apenas a dinâmica da água como modificadora e carreadora de partículas leves a longas distâncias, pois como relatado na caracterização da área trata-se de uma região de transição entre o material do Grupo Itararé com o Furnas, favorecendo a ocorrência deste último em algumas regiões da área, mais especificamente na SV4 até SV6.

Esta divisão pode ser feita visualmente através da análise da coloração das partículas de areia, provenientes da Análise Granulométrica, tendo a Formação Furnas como característica a presença de um material esbranquiçado, quando comparado com ao Itararé que tende a ser rósea (FIGURA 7).

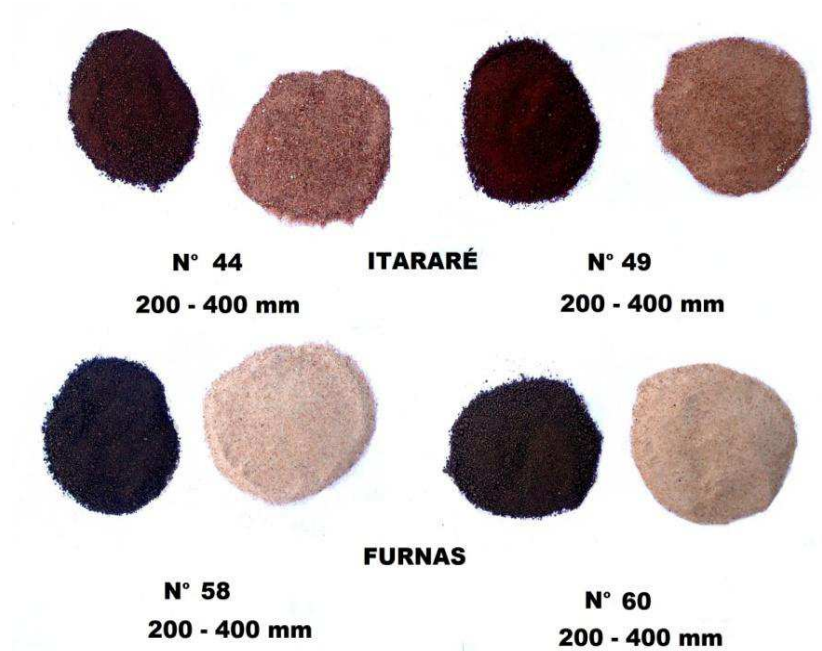


Figura 7 - Amostras de solo e frações de areia dos materiais de origem presentes na área.

Já com relação à solução do solo, apesar da baixa CTC, observa-se que para os maiores teores de argila há maiores concentrações de CTC, mesmo que esta seja considerada baixa (PRADO, 2008).

De todas as variáveis, os atributos físicos, areia e argila, chamam a atenção. No caso da areia, a posição SV2 é a que contém menores teores, com as SV1 e SV3 sendo intermediários as maiores concentrações das SV4, 5 e 6. A situação da argila pode ser descrita com um leve decréscimo ao longo da vertente, para uma baixa concentração na SV6.

5.4.2.2 Profundidade de amostragem 200–400 mm

De todas as variáveis que não apresentaram distribuição normal, pH, Ca, Mg, P, CTC, CTC_e, V(%), m% e silte, apenas para o pH e m% a transformação não obteve uma função em que os valores apresentaram a distribuição normal para todas as unidades de relevo. A análise descritiva para as novas variáveis são apresentadas na Tabela 27.

Com relação às funções transformadoras, para a variável V(%), por tratar-se de uma variável expressa em porcentagem, Dias (2010) recomenda funções angulares, recomendados para distribuições bimodais. Desta forma, a função Coseno teve bons resultados para as três áreas. Já para as variáveis CTC, CTC_e e silte, a função que surtiu efeito foi a logarítmica na base 10 (log). Já para Ca, Mg e P a função transformadora foi a raiz quadrada.

As variáveis que não apresentaram diferenças estatísticas ($p > 0,005$) entre as SV foram sete, sendo estas Mg, K, Cálcio e Magnésio (Ca+Mg), relações (Ca/Mg), (Ca+Mg)/K, V(%) e argila (TABELA 28).

Tabela 27 - Análise Descritiva e de Normalidade das variáveis transformadas em todas as segmentações (profundidade 200-400mm)

	2	Desv.						3
		N	Média	Pad.	Mediana	Máx.	Min.	
SV1								
Caraiz	4	1,91	0,001	1,94	3,24	1,00	0,03	0,610
Mgraiz	4	0,89	0,001	0,90	1,44	0,49	1,24	0,833
Praiz	4	5,00	0,03	4,90	6,00	4,30	0,51	0,688
CTC log	4	0,99	0,08	0,98	1,11	0,90	8,53	0,431
CTC _e log	4	0,50	0,09	0,48	0,60	0,42	17,40	0,318
Vcos	4	-0,20	0,94	-0,42	1,00	-0,96	-468,01	0,248
SV2								
Caraiz	6	1,05	0,10	1,07	1,14	0,89	9,82	0,341
Mgraiz	6	0,79	0,08	0,81	0,89	0,71	9,64	0,387
Praiz	6	1,97	0,29	2,00	2,35	1,52	14,96	0,900
CTC log	6	0,93	0,03	0,92	0,99	0,91	3,59	0,218
CTC _e log	6	0,39	0,09	0,42	0,51	0,25	23,07	0,279
Vcos	6	-0,02	0,83	-0,34	0,86	-	-	0,108
siltelog	6	2,13	0,12	2,12	2,34	2,01	5,45	0,156
SV3								
Caraiz	7	0,5	0,09	0,97	1,05	0,84	9,50	0,203
Mgraiz	7	0,74	0,13	0,71	0,77	0,55	17,84	0,133
Praiz	7	2,11	0,49	1,98	2,95	1,52	23,33	0,351
CTC log	7	0,88	0,03	0,92	0,87	0,85	2,86	0,287
CTC _e log	7	0,34	0,08	0,33	0,48	0,24	22,35	0,641
Vcos	7	0,12	0,87	0,38	0,92	-	713,81	0,329
siltelog	7	2,08	0,09	2,06	2,25	2,01	4,07	0,168
SV4								
Caraiz	8	0,92	0,12	0,89	1,05	0,71	12,63	0,338
Mgraiz	8	0,74	0,18	0,74		0,45	24,16	0,704
Praiz	8	2,63	1,01	2,37	4,47	1,52	38,21	0,159
CTC log	8	0,85	0,05	0,86	0,92	0,79	5,89	0,140
CTC _e log	8	0,29	0,06	0,28	0,37	0,23	18,92	0,224
Vcos	8	-0,17	0,68	-0,11	0,76	-	-400,99	0,397
siltelog	8	2,05	0,07	2,05	2,14	1,93	3,49	0,883
SV5								
Caraiz	14	1,09	0,22	1,00	1,52	0,78	20,08	0,113
Mgraiz	14	0,85	0,21	0,80	1,18	0,55	24,37	0,108
CTC log	14	0,88	0,07	0,87	1,01	0,79	7,38	0,563
CTC _e log	14	0,39	0,13	0,36	0,56	0,19	33,40	0,149
Vcos	14	0,12	0,70	0,25	1,00	-	604,67	0,137
siltelog	14	2,05	0,07	2,03	2,16	1,96	3,25	0,512
SV6								
Mgraiz	17	0,67	0,02	0,70	1,10	0,40	3,12	0,118
Praiz	19	3,35	1,21	3,29	5,65	1,52	36,12	0,471
CTC log	19	0,92	0,09	0,88	1,10	0,79	10,05	0,171
CTC _e log	19	0,43	0,12	0,39	0,68	0,23	28,98	0,137
Vcos	19	0,28	0,59	0,26	1,00	-0,90	212,62	0,326
siltelog	19	1,99	0,19	2,03	2,24	1,60	9,28	0,488

² N - número de repetições utilizados para realização da análise (sem valores discrepantes); ³ P.

D. - probabilidade da distribuição ; teste de normalidade Anderson-Darling.

Tabela 28 - Teste de comparação de médias entre as 6 segmentações da vertente na profundidade de 200 - 400 mm

	SV1	SV2	SV3	SV4	SV5	SV6
pH	-	-	-	-	-	-
H + Al	7,25 A	6,49 AB	5,67 B	5,52 B	5,27 B	5,90 B
Al cmol _c dm ⁻³	0,53 AB	0,47 AB	0,33 A	0,33 A	0,23 A	0,84 B
Ca cmol _c dm ⁻³	1,08 A	1,05 A	0,95 AB	0,92 AB	1,09 A	0,82 B
Mg cmol _c dm ⁻³	0,97 A	0,79 A	0,74 A	0,74 A	0,85 A	0,82 A
K cmol _c dm ⁻³	0,31 A	0,28 A	0,24 A	0,23 A	0,27 A	0,23 A
P mg dm ⁻³	5,02 AB	3,88 A	4,45 AB	6,92 AB	15,76 B	11,22 AB
C g dm ⁻³	16,25 A	13,50 AB	11,83 AB	14,5 AB	11,85 AB	10,67 B
Ca+Mg cmol _c dm ⁻³	2,35 A	1,73 A	1,64 A	1,43 A	2,09 A	1,62 A
Ca/Mg cmol _c dm ⁻³	1,53 A	1,76 A	1,79 A	1,66 A	1,83 A	1,65 A
(Ca+Mg)/K cmol _c dm ⁻³	7,63 A	6,35 A	6,49 A	6,15 A	7,73 A	6,81 A
SB cmol _c dm ⁻³	2,66 A	2,01 AB	1,90 AB	1,66 B	2,12 AB	1,87 AB
CTC cmol _c dm ⁻³	0,99 A	0,93 AB	0,88 AB	0,85 B	0,88 B	0,92 B
CTC _e cmol _c dm ⁻³	0,50 A	0,39 AB	0,34 AB	0,29 B	0,39 AB	0,43 AB
V% m%	1,77 A	1,43 A	1,32 A	1,74 A	1,53 A	1,29 A
areia kg Mg ⁻¹	-	-	-	-	-	-
silte kg Mg ⁻¹	555,98 A	576,43 A	626,72 AB	653,83 AB	652,31 AB	665,42 B
argila kg Mg ⁻¹	162,18 A	134,28 AB	121,06 AB	112,20 AB	112,20 AB	97,72 B
	282,75 A	285,00 A	250,00 A	241,38 A	227,78 A	233,09 A

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem significativamente pelo Teste de Tukey ao nível de probabilidade de 5%.

A Acidez Potencial (H + Al) destaca-se por apresentar apenas a unidade de SV1 diferente das demais, ou seja, pode-se considerar para esta variável que as condições de íons trocáveis H⁺ e Al³⁺ e não-trocáveis H⁺, apresentam dinâmica diferenciada.

Na questão do Al fica evidente a diferenciação do SV6 com a região da encosta, no entanto é semelhante às regiões do SV1 e SV2, este acúmulo na porção da vertente é esperado devido a grande solubilidade que o elemento possui, sendo lixiviado das unidades mais altas para as mais baixas.

Com relação ao Ca e P o aumento da profundidade da amostragem em relação à camada superior (0 – 200mm), verificou-se a diferença entre os segmentos da vertentes. Já para a variável argila não foi verificada diferença entre as SVs, fato que pode ser atribuído a composição dos materiais de origem da área serem arenitos.

Para as variáveis com diferença entre duas médias, é possível notar que para a maioria dos segmentos SV3, SV4 e SV5 apresentam médias semelhantes tanto à porção do SV1 e SV2, quanto do SV6.

Observa-se a influência da escala sobre o comportamento das variáveis, no modelo sugerido por TROEH não se verifica influência dos materiais de origem. Já para o modelo sugerido por DARLYMPLE há evidência da diferença entre as unidades devido à separação aproximada por condições de origem.

5.4.3 Considerações Gerais da Análise de Comparação de Médias

Tendo em vista as diferenças descritas para os modelos de paisagem, seja ele baseado na curvatura do terreno (modelo de TROEH) ou em unidades hipotéticas de segmentação de vertentes (modelos de DARLYMPLE), pode-se afirmar que ambos trazem informações que podem ser utilizadas na aplicação de manejos específicos.

A escala de trabalho influenciou muitas variáveis. As variáveis Mg, P, C, SB e CTC dependente do modelo aplicado apresentam ou não diferença estatística significativa entre as segmentações da vertente. Conforme relato de Pennock & Veldkamp (2006), quando se trabalha com a escala da paisagem pode-se focar

as propriedades dos solos e processos que isoladamente não são compreendidos, por estarem em um contexto espacial e temporal que envolve principalmente a movimentação lateral de água, solutos e sedimentos.

Assim através das análises descritivas e de comparação de médias, aplicadas aos modelos de paisagem observa-se claramente ao fazer recomendações técnicas à área agrícola considerando apenas a média, considerando a área total como apenas uma única unidade, pode-se subestimar ou superestimar espacialmente os conteúdos de elementos químicos.

Buscando aplicações diretas e de reflexos nas culturas, mesmo que para as camadas superficiais do solo, Webster (2001) relata à forte influência antrópica sobre a distribuição dos elementos, algumas variáveis como a granulometria e elementos a ela relacionados, podem evidenciar regiões mais homogêneas na área, baseados nas pedoformas existentes.

Corroborando com Camargo (2009), o comportamento dos atributos físicos, independentes da escala, nas pedoformas encontra-se de maneira diferenciada. Apesar das práticas de manejo serem as mesmas para toda a área, a forma do relevo e o gradiente topográfico são variáveis, e tendem a influenciar a distribuição dos atributos e características analisadas.

Considerando o modelo de Troeh (1965) as semelhanças para os teores de C em ambas as profundidades analisadas podem ser associadas ao fato da área possuir mais de trinta anos de cultivo com a adoção do Sistema Plantio Direto. Com relação aos demais atributos químicos os modelos de paisagem trazem diferenças tanto para os elementos de maior e menor mobilidade no solo.

Quando utilizado o modelo de segmentação de vertentes de Darlymple (1968), em ambas as profundidades pode-se observar de não forma isolada, como se comportam os processos internos do solo, em diferentes porções do relevo, semelhante ao descrito por Pennock & Veldkamp (2006).

Com relação à dinâmica da água associada às unidades de vertentes, Oliveira (2008) comenta a influência indireta da água na concentração de alguns atributos e características do solo, principalmente aos atribuídos aos intemperismo químico. De acordo com Park & Giesen (2004), a região do ombro possui conteúdo de água diferente das demais, com maior variação de água. Entretanto no presente trabalho verificaram-se diferenças na distribuição das variáveis estudadas, porém não há como afirmar que as respostas obtidas sejam apenas pela variação do teor de água, visto que para muitos elementos a unidade de ombro foi estatisticamente igual as demais.

Tendo em vista as variações dos elementos nas unidades de vertentes, os trabalhos de Souza et al. (2001) e Camargo et al. (2010a) trazem aspectos semelhantes quanto as diferenças das unidades, no entanto, Camargo et al. (2010b) mostra diferenças entre segmentos da vertente, tendo este segmentos mais de uma unidade de vertente.

Oposto ao estudo feito por Campos et al. (2010), em que a amostragem obteve diferentes profundidades obedecendo aos critérios de divisão de horizontes, o presente trabalho, preocupou-se em conciliar os conceito pedológicos com as práticas utilizadas por agricultores. Desta forma deve-se ressaltar que pelo procedimento adotado, principalmente na primeira camada, pode-se favorecer à presença de dois horizontes provocando alterações químico-físicas do ponto de vista pedológico, mas quando refere-se aos aspectos relacionados as culturas agrícolas anuais, a profundidade de 0 - 200 mm ainda é utilizada para quantificação dos conteúdos e recomendação de correção dos

elementos de análise de rotina do solo. Mesmo pelas prestadoras de serviço em “agricultura de precisão”.

Por outro lado os resultados entre as superfícies geomórficas demonstram semelhanças aos encontrados por Gray et al. (2009) e Ramos et al. (2007). Estes identificaram áreas de manejo agrícola através de superfícies geomórficas da vertente e análise multivariada, obtendo em uma mesma área mais de uma superfície. Neste caso associado a processos pedogenéticos ou químicos do intemperismo ou de transporte, devido à semelhança entre suas características químicas, físicas e morfológicas.

Entretanto a distribuição espacial das variáveis pode estar associada aos atributos do terreno e escala da paisagem trabalhada. Barthold et al. (2008) demonstram as influências de fatores extrínsecos sobre a dinâmica de características químicas do solo; sendo que para variáveis como P e CTC a distribuição espacial foi associada com a escala da paisagem, enquanto que o potássio foi associado aos atributos do terreno, bem como a distribuição granulométrica depende apenas da litologia.

Assim quando comparados os dois modelos de paisagem pode-se inferir que para o sugerido por Dalrymple (1968) as seis unidades possuem diferenças, mesmos para os elementos pouco móveis como o P. Já para o modelo de Troeh (1965) as diferenças são observadas na profundidade de 200 a 400 mm.

Entre as superfícies pode-se questionar o número de amostras que compõem cada uma, entretanto o objetivo do estudo foi demonstrar que utilizando a mesma “teoria” de amostragem utilizada comercialmente na “agricultura de precisão” é possível ter melhor aproveitamento das informações coletadas ou demonstrar erros na mesma. Neste caso podem-se estabelecer zonas de manejo, baseadas não apenas na disponibilidade de elementos no solo, mas na homogeneidade de distribuição na área.

Porém há uma questão, que possa por em prova a utilização destes modelos, pois indubitavelmente as diferenças quando obtidas são matemáticas, contudo as respostas obtidas das culturas cultivadas seriam semelhantes? Mas, no entanto estas diferenças vem a contribuir para a identificação de possíveis zonas manejos através de uma ou mais variáveis, podendo assim segundo Alvarez & Guarçoni (2003); Bishop & Lark (2007) e Barrios et al. (2010) utilizar esta técnica na identificação de áreas mais homogêneas. É interessante lembrar que tal utilização poderia ter ganho econômico (menor custo) e ambiental, embora este último de difícil dimensionamento.

Mesmo que em condições diferenciadas de clima e solo dos estudos já realizados, e bem como o comportamento para cada variável não sejam semelhantes, a metodologia contribuiu de forma a compreender melhor a distribuição de características e atributos e do solo. Este tipo de estudo pode identificar o elemento que deve ser manejado de forma diferenciada, devido à heterogeneidade apresentada entre as superfícies geomorfológicas. Vale ressaltar que ao utilizarem-se dois modelos de paisagem, em contrapartida a único conjunto de valores (área total), observa-se o efeito que a divisão, não em questão de qualificar as unidades em melhores ou piores, mas sim uma visão sobre como compreender o funcionamento do sistema solo.

Outro ponto importante é a possibilidade que em ambos os modelos, para algumas variáveis, agrupar tanto as pedoformas quanto os segmentos pela semelhança.

5.5 Representações Gráficas

5.5.1 Profundidade de amostragem 0–200 mm

As variáveis representadas foram escolhidas não apenas pela importância

agronômica, mas bem como, pelos resultados obtidos através da análise de variância, cujas diferenças foram detectadas.

No entanto, os mapas de distribuição espacial não têm como objetivo discutir aspectos relacionados à geoestatística, mas sim comparar resultados da comparação de médias e possíveis correlações com a distribuição dos elementos na área de estudo.

Assim na profundidade de 0-200 mm, a divisão de classes representada pela escala de cores no mapa demonstram que a variabilidade do elemento K (FIGURA 8) é mais expressiva no PF1, tendo valores que vão de baixos a altos, no entanto não é possível verificar as diferenças obtidas na análise estatística, diferenciando as 3 PF (TROEH).

Para a divisão em 6 segmentos (DALRYMPLE) pode-se observar que em cada segmento há pequenas variações na concentração de K (FIGURA 8), no entanto para SV1, 2 e 3 nota-se valores maiores em relação aos conteúdos de K presentes, coincidindo as diferenças matemáticas obtidas.

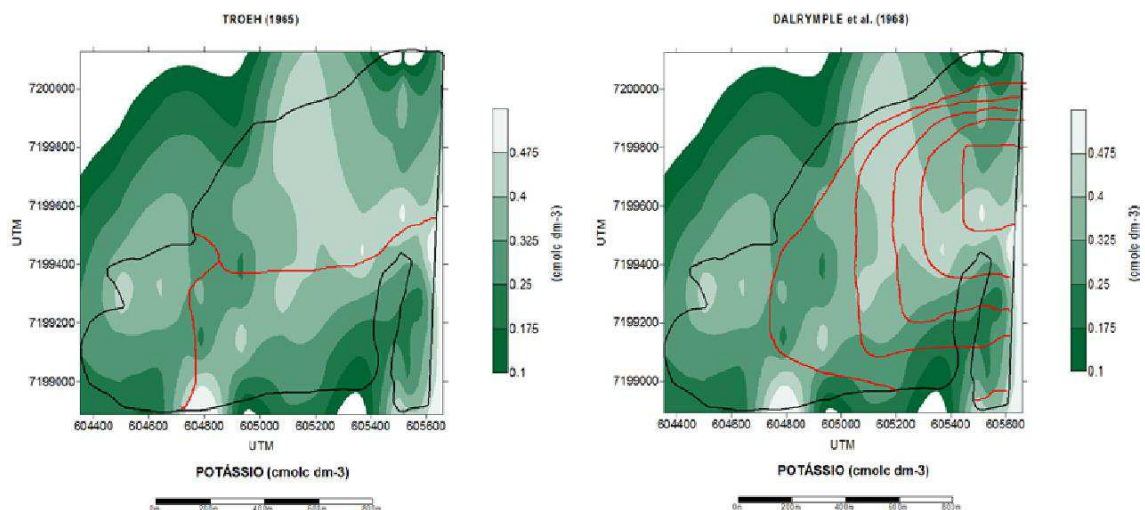


Figura 8 - Distribuição espacial de Potássio (K) nos modelos de paisagem na profundidade de 0- 200 mm.

O mapa de distribuição espacial do P (FIGURA 9) não permite distinguir relação da distribuição do elemento com a posição no relevo. Entretanto quando observado junto aos mapas de granulometria (areia e argila) (FIGUTRAS 10 e 11), pode-se verificar correlação espacial com a variação de P, ou seja, os altos teores do elemento são verificados nas regiões com menores teores de areia e conseqüentemente maiores de argila.

No entanto ao associar com a análise de comparação de médias do P, pode-se verificar que para o modelo de três pedoformas (TROEH) a diferença estatística obtida nos resultados é observada no mapa (FIGURA 8), onde PF2 é semelhante as duas demais por ter grande variação nos teores.

A divisão de DARLYMPLE não apresentou diferenças matemáticas, e através da representação gráfica (FIGURA 9), dificilmente seria possível contrariar os resultados obtidos devido à heterogeneidade que ocorrem dentro de cada segmento, exceto nas SV1 e 3.

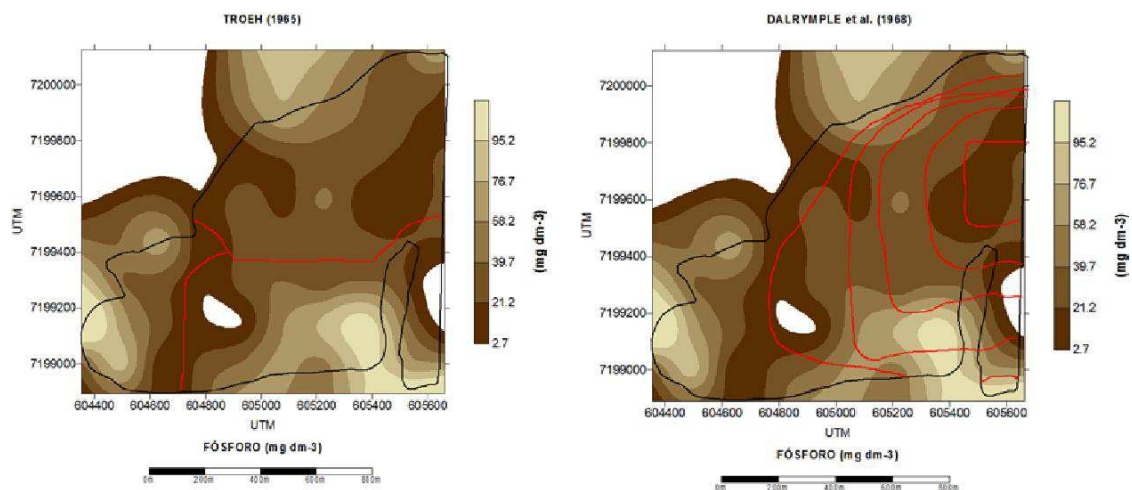


Figura 9 - Distribuição espacial de Fósforo (P) nos modelos de paisagem na profundidade de 0- 200 mm.

Para a distribuição granulométrica (modelo de TROEH) visualiza-se maior concentração de partículas de areia nas regiões dos PF2 e 3, enquanto que para o PF1 há maior variabilidade (FIGURA 10). Ao empregar o modelo de TROEH, a diferença de médias obtidas, pode ser observada no mapa de distribuição da partícula, permitindo desta maneira subdividir a área em duas áreas menores. Mas vale ressaltar que estas divisões provavelmente apontadas no mapa têm influência do material de origem, sendo que a região onde está inserida a área trata-se de transição entre as duas formações presentes na região (FIGURA 7), principalmente quando comparados a coloração das partículas de areia, obtidas pela análise granulometria.

O modelo sugerido por DARLYMPLE também permite a subdivisão da aérea em duas áreas menores. O que leva a tal agrupamento de segmentos é similaridade entre estes, ou seja, para as SV4, 5 e 6, há semelhanças, e o fator que favorece a esta ocorrência é justamente a influencia de altos teores de areia que são observados no mapa (FIGURA 10).

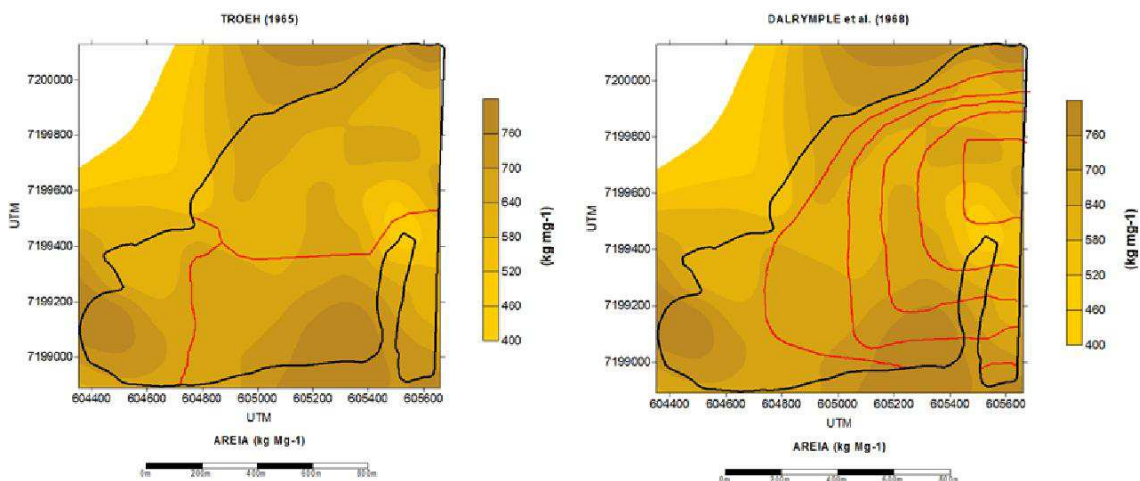


Figura 10 - Distribuição espacial de areia nos modelos de paisagem na profundidade de 0 - 200 mm.

Com relação à distribuição de argila (FIGURA 11) é possível observar que a região do mapa, onde se localiza a PF1 (TROEH) é onde ocorre as maiores concentrações da partícula, com relação às outras duas PFs, sendo ambas com variações semelhantes, ou seja, da mesma forma que as diferenças matemáticas são apontadas (TABELA 22).

No modelo de DARLYMPLE as diferenças no mapa podem ser verificadas entre as SV1 e 2 com as demais, pois estas duas não têm ponto de baixa concentração de argila, o que ocorre nas demais. Esta evidência é comprovada pelo teste de médias (TABELA 26), que demonstra semelhança das SV3, 4 e 5, justamente por sofrer influência de altas e baixas concentrações de partícula de argila.

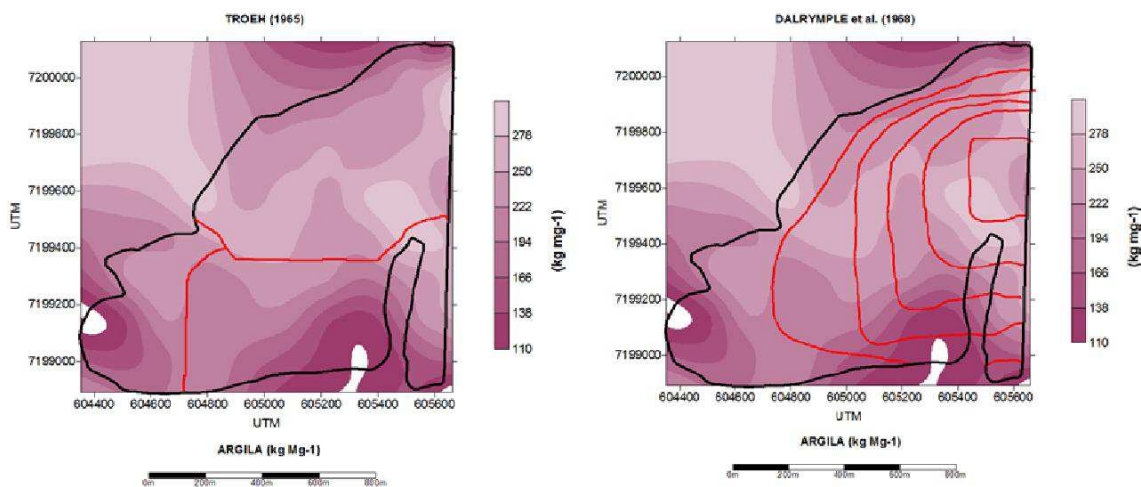


Figura 11 - Distribuição espacial de argila nos modelos de paisagem na profundidade de 0- 200 mm.

5.5.2 Profundidade de amostragem 200 a 400 mm

Nesta camada a distribuição espacial de K, mostra correlação com os resultados obtidos através dos testes de comparação de médias para o modelo de TROEH (1965), já para DARLYMPLE (1968) as diferenças matematicamente apontadas não ficam

visualmente definidas. Neste último caso as variações são mais expressivas dentro do próprio segmento sugerido (SV) (FIGURA 12).

Para o elemento P as diferenças estatísticas para os dois modelos podem ser verificadas através dos mapas de distribuição do elemento (FIGURA 13).

Para o modelo TROEH, as diferenças existem e podem ser comparadas aos resultados obtidos. Já no caso de DARLYMPLE a diferença da SV5 com as demais ficam explícita pela variação de P dentro da SV (FIGURA 13).

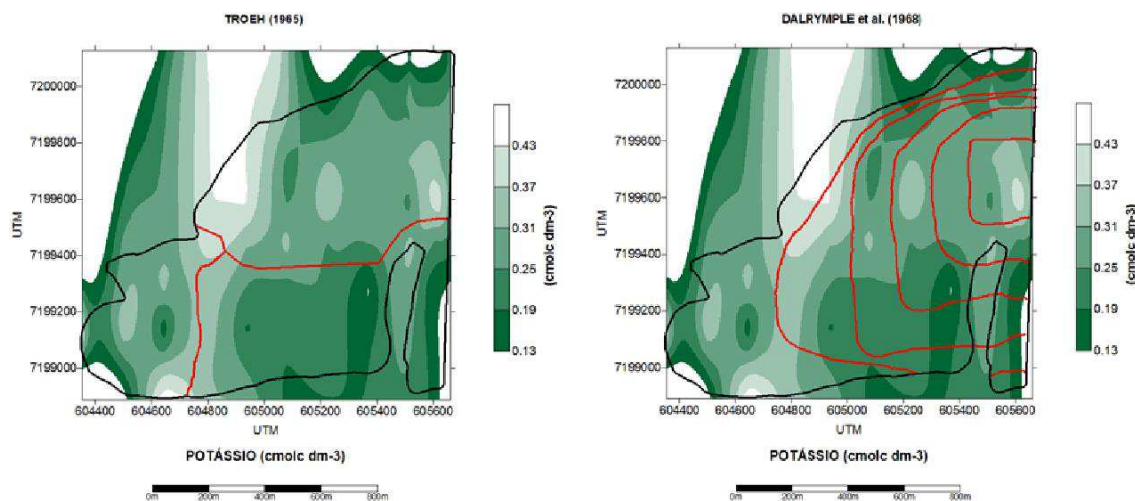


Figura 12 - Distribuição espacial de Potássio (K) nos modelos de paisagem na profundidade de 200 a 400 mm

Na distribuição granulométrica na profundidade 200 a 400 mm a areia e a argila demonstram tendência inversamente proporcionais. A maior variação ocorre na direção Y, o que permite afirmar que dentro da PF1 (TROEH) há uma menor variação na distribuição tanto para areia quanto para argila (FIGURA 14). Contudo como na camada superficial (0-200 mm) a área também pode ser dividida em duas, em ambos os modelos, pela influência geológica, que fica mais acentuado nesta profundidade.

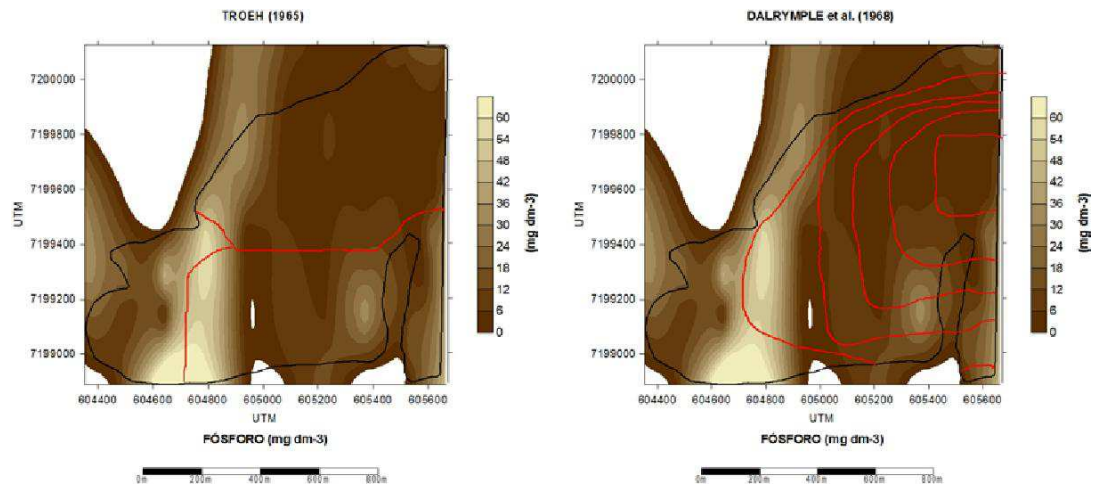


Figura 13 - Distribuição espacial de Fósforo (P) nos modelos de paisagem na profundidade de 200 a 400 mm

Entretanto deve-se ressaltar que as diferenças estão associadas aos materiais de origem com características diferenciadas e que são comprovadas visualmente pela granulometria e coloração das areias.

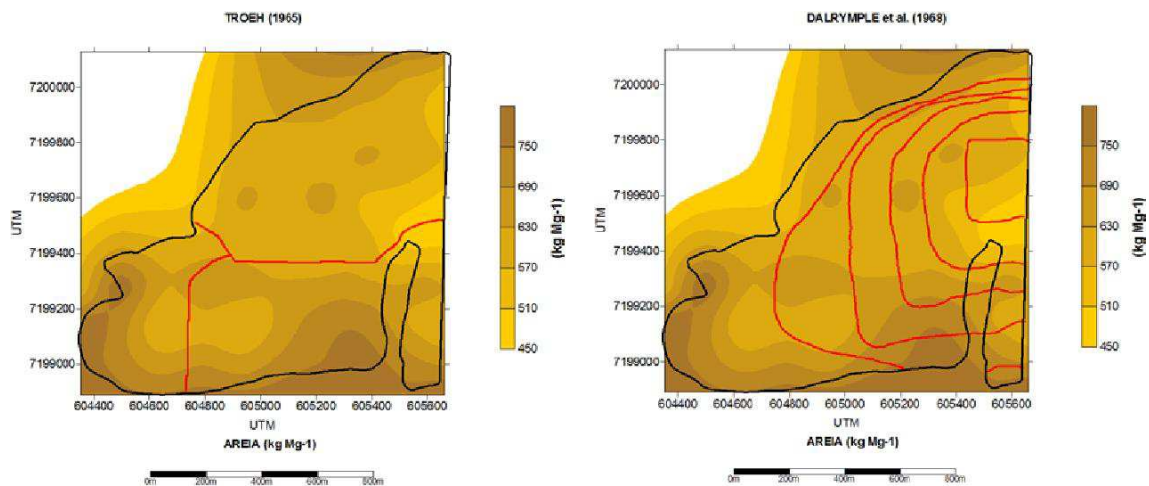


Figura 14 - Distribuição espacial de areia nos modelos de paisagem na profundidade de 200 a 400 mm

Para a partícula de argila, semelhante ao que ocorre para a areia no modelo de TROEH, pode-se dividir a área em dois grupos, destacando-se a área do sopé (PF3), que matematicamente é semelhante as demais, no entanto, visualmente (FIGURA 15) pode-se agrupá-la com a PF2 (côncavo-convexo).

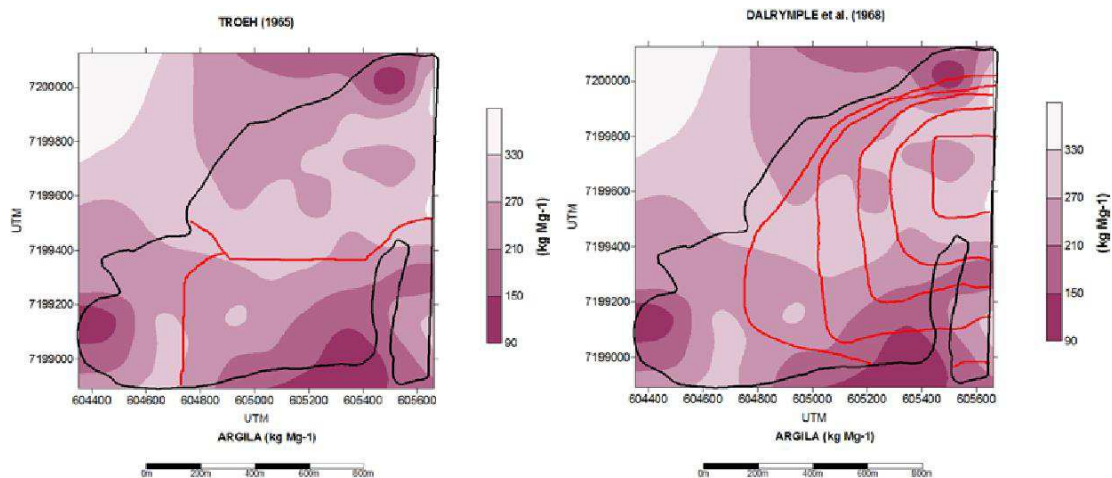


Figura 15 - Distribuição espacial de argila nos modelos de paisagem na profundidade de 200 a 400 mm.

Já com relação aos seis segmentos da vertente (DARLYMPLE), pode-se verificar que com o aumento da profundidade das camadas amostradas em algumas regiões da SV5 e 6 há baixos conteúdos de partículas de argila (FIGURA 15). Todavia os resultados da análise de médias não demonstram diferença entre as seis SVs, contrariamente dos resultados obtidos na camada superior (0-200 mm).

A utilização das representações gráficas, juntamente com os modelos de paisagem e os resultados obtidos na análise de comparação de médias, permitiu para os elementos como K e P, bem como, as partículas de areia e argila uma melhor compreensão da distribuição. Esta gera a possibilidade de analisar se as diferenças matemáticas permitem ou não a utilização de zonas de manejo para as variáveis descritas acima.

A utilização de modelos de paisagem seja ele baseado na forma do relevo ou vertente, trazem implicações positivas à forma de manejo na área. Entretanto há necessidade de adaptações na forma de amostragem em ambos os modelos para melhorar à dispersão de valores das variáveis dentro de cada pedofoma e segmento.

6. CONCLUSÃO

Verificou-se a influência dos modelos de paisagem na distribuição de atributos do solo.

A utilização de diferentes escalas e grade amostral regular de área de 2ha, fez-se interessante quando associada ao modelo de Troeh, pela praticidade com que as informações podem ser levantadas. Já para Dalrymple a distribuição dos pontos com relação à alocação das segmentações da vertente, não permitiu uma boa representação de todos os segmentos (topo e sopé), principalmente terem influencia de material de origem diferentes.

Para o modelo de TROEH (1965) a maior variação das variáveis ocorreu na PF3 nas duas profundidades. Já o modelo de DALRYMPLE (1968), apresentou maior variação das variáveis na profundidade de 0-200 mm.

Na profundidade de 0 – 200 mm verificaram-se correlação entre a divisão sugerida conforme TROEH (1965) e o comportamento dos elementos P e K, CTC_e, relação (Ca + Mg)/K, areia e argila. Já para a profundidade de 200 – 400 mm para quase todas as variáveis foi possível verificar interação entre a pedofoma e

Assim como os modelos a profundidade de amostragem também influenciou na concentração das variáveis analisadas. Na profundidade de 0 – 200 mm no modelo de DALRYMPLE (1968) os elementos H + Al, Mg, K, C, SB, CTC, CTC_e, relação (Ca+Mg)/K e Ca/Mg, areia, silte e argila sofreram influencia da segmentação da vertente. Já para a profundidade de 200 – 400 mm apenas para as variáveis H + Al, Ca, P, C, SB, CTC, CTC_e, relação Ca+Mg, (Ca+Mg)/K e Ca/Mg, areia e silte foi possível verificar interação entre a segmentação da vertente e a distribuição espacial dos elementos estudados.

Considerando a composição física da área, em ambos os modelos de paisagem há possibilidade de subdivisão em duas áreas menores com características granulométricas distintas.

Para este estudo de caso pode-se recomendar para os elementos P e K, a utilização de zonas de manejo quando aplicado o modelo de TROEH (1965), já com relação ao modelo de DALRYMPLE (1968) apenas para o K pode-se fazer esta afirmativa, considerando a profundidade de 0-200 mm.

A utilização de ambos os modelos de paisagem mostraram-se interessante, principalmente pela variabilidade apresentada entre as pedoformas e segmentações.

7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALVARES, V. V. H.; GUARÇONI, M. A. Variabilidade horizontal da fertilidade do solo de uma unidade de amostragem em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p. 297 – 310, 2003.

AMARO FILHO, J.; NEGREIROS, R. F. D.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. Amostragem e variabilidade espacial de atributos físicos de um latossolo vermelho em Mossoró, RN. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n.3, p.415-422, 2007.

AQUINO, T. **Verdade e conhecimento: São Tomás de Aquino**. Tradutor e organizador: LAUAND, L. J.; SPROVIERO, M. B. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

BARRIOS, M. R.; PANOSSO, A. R.; SIQUEIRA, D. S.; LEAL, F. T.; JÚNIOR, J. M. Caracterização de diferentes formas de relevo por meio da susceptibilidade magnética In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO- ConBAP, 2010, Ribeirão Preto. **Anais....** Ribeirão Preto: SBEA, 2010. 1 CD-ROM.

BARTHOLD, F. K.; STALLARD, R. F.; ELSENBEER, H. Soil nutrient–landscape relationships in a lowland tropical rainforest in Panama. **Forest Ecology and Management**, v. 255, n. 3-4, p. 1135-1148, 2008.

BEVILAQUA, G.A.P.; BROCH, D.L.; POSSENTI, J.C.; VILELA, F.A. Posição do fósforo e potássio na adubação da semente e no crescimento de plântulas de milho. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. , n. 2, p. 87-92, 1996.

BISHOP, T.F.A.; LARK, R.M. A landscape-scale experiment on the changes in available potassium over a winter wheat cropping season. **Geoderma**, v. 141, n. 3-4, p. 384–396, 2007.

BRUS, D.J., HEUVELINK, G.M.B. Optimization of sample patterns for universal kriging of environmental variables. **Geoderma**, v.138, n. 1-2, p. 86-95, 2007.

BRUS, D.J.; GRUIJTER J.J. Random sampling or geostatistical modelling? Choosing between design-based and model-based sampling strategies for soil(with Discussion). **Geoderma**, v.80, n.1, p.1-44, 1997.

CAMARGO et al. (2010a) CAMARGO, L. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SILVA JÚNIOR, J. F.; FIGUEIREDO, C. S. P. Atributos químicos de um Latossolo em diferentes superfícies geomórficas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO- ConBAP, 2010, Ribeirão Preto. **Anais....** Ribeirão Preto: SBEA, 2010. 1 CD-ROM.

CAMARGO et al.(2010b) CAMARGO, L. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SILVA JÚNIOR, J. F.; FIGUEIREDO, C. S. P. Atributos físicos de um Latossolo em diferentes superfícies geomórficas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE

AGRICULTURA DE PRECISÃO- ConBAP, 2010, Ribeirão Preto. **Anais....** Ribeirão Preto: SBEA, 2010. 1 CD-ROM.

CAMARGO, L. A. **Mineralogia da argila e atributos físicos de um argissolo em curvaturas de relevo**. Jaboticabal, 2009. 128p. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CAMPOS, M. C. C.; CARDOZO, N. P.; MARQUES JÚNIOR, J. Modelos de Paisagem e sua Utilização em Levantamentos Pedológicos. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6, n.1, p. 104-114, 2006.

CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, SOUZA JÚNIOR, M. R.; V. S.; RIBEIRO FILHO, M. R.; COSTA, E. U. C. Segmentos de vertente e atributos do solo de uma topossequência na região de Manicoré, AM. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 4, p. 501-510, outubro, 2010.

CAVIGLIONE, João Henrique ; KIIHL, Laura Regina Bernardes ; CARAMORI, Paulo Henrique ; OLIVEIRA, Dalziza. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina : IAPAR, 2000. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=597>>. Acesso em: 29 de janeiro de 2011.

CHRISTAKOS, G., OLEA, R.A. Sampling design for spatially distributed hydrogeologic and environmental processes. **Advances in Water Resources**, v. 15, p. 219–237, 1992.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10 ed. Porto Alegre; SBCS - Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2004. 400 p.

CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D. S. Formas de acumulação de fósforo em solo no sistema plantio direto com aplicações crescentes de fertilizante fosfatado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS-*Fertbio*, 2000. Santa Maria. **Anais...**Santa Maria, SBCS/SBM/UFSM, 2000. CD ROM. Disponível em: <www.ufsm.br/ppgcs/congressos/Fertbio2000/14.pdf> .Acesso em: 10 jan. 2011.

CORSTANJE, R.; SCHULIN, R.; LARK, R.M. Scale-dependent relationships between soil organic carbon and urease activity. **European Journal of Soil Science**, 58, p.1087–1095, 2007.

CRAWFORD, J. W. Can complex be simple? **Geoderma**, v. 160, n. 1, p. 1- 2, 2010.

DALRYMPLE, J. B.; BLONG, R. J.; CONACHER, A. J. A hipotetical nine unit landa surface model. Z. **Geomorphology**, Berlin, v.12, n.1, p.60-76, 1968.

DIAS, C. T. S. Exigências do Modelo Matemático-Transformação de Dados: **Apontamentos de aula**. 2010.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p. (EMBRAPACNPS. Documentos, 1).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 412p.

ERNANI, P.R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J.A.; CASSOL, P.C. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 393-402, 2007.

FOTH, H.D. **Fundamentals of soil science**. 8ª ed. New York: John Wiley & Sons, 1990. 360p.

GOBIN, A.; CAMPLING, P.; FEYEN, J. Soil-Landscape Modelling to Quantify Spatial Variability of Soil Texture. **Phys. Chem. Earth**. v. 26. n. 1, p. 41-45, 2001.

GRAY, J.M.; HUMPHREYS, G.S.; DECKERS, J.A. Relationships in soil distribution as revealed by a global soil database. **Geoderma**, v. 150, n. 3-4, p. 309- 323, 2009.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.169-177, 2005.

GUERRA, A.J.T.; MARÇAL, M.S. **Geomorfologia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 192 p., 2006.

GUSTAVSSON, B.; LUTHBOM, K.; LAGERKVIST, A. Comparison of analytical error and sampling error for contaminated soil. **Journal of Hazardous Materials**, v.138, p. 252–260, 2006.

HEUVELINK, G.B.M.; WEBSTER, R. Modelling soil variation: past, present, and future. **Geoderma**, v. 100, n. 3-4, p. 269-301, 2001.

KERRY; R., OLIVER; M.A. Average variograms to guide soil sampling. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation** 5, p.307–325, 2004.

LARK, R. M. Designing sampling grids from imprecise information on soil variability, an approach based on the fuzzy kriging variance. **Geoderma**, v. 98, n.1, p.35–59, 2000.

LARK, R. M. Exploring scale-dependent correlation of soil properties by nested sampling. **European Journal of Soil Science**, v. 56, n. , p. 307–317, 2005.

LARK, R. M.; CORSTANJE, R. Non-homogeneity of variance components from spatially nested sampling of the soil. **European Journal of Soil Science**, v. 60, n. 3, p. 443- 452, 2009.

LIN, H.; WHEELER, D.; BELL, J.; WILDING, L. Assessment of soil spatial variability at multiple scales. **Ecological Modelling**, v. 182, p. 271–290, 2005.

LIU, X.; ZHANG, W.; ZHANG, M.; FICKLIN, D. L.; WANG, F. Spatio-temporal variations of soil nutrients influenced by an altered land tenure system in China. **Geoderma**, v. 152, n.1-2, p. 23–34, 2009.

MATIAS, S. S. R.; MARQUES JR, J.; PEREIRA, G. T.; SIQUEIRA, D. S. Delimitação de área de manejo utilizando superfícies geomórficas e susceptibilidade magnética de Latossolos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO-ConBAP, 2010, Ribeirão Preto. **Anais....** Ribeirão Preto: SBEA, 2010. 1 CD-ROM.

MCBRATNEY, A.B.; ODEH, I.O.A.; BISHOP, T.F.A.; DUNBAR, M.S.; SHATAR, T.M. An overview of pedometric techniques for use in soil survey. **Geoderma**, v. 97, p. 293–327, 2000.

MCBRATNEY, A.B.; PRINGLE, M.J. Estimating average and proportional variograms of soil properties and their potential use in precision agriculture. **Precis. Agric.**, v. 1, n. 2, p. 125–152, 1999.

MINASNY, B., MCBRATNEY, A.B. A conditioned Latin hypercube method for sampling in the presence of ancillary information. **Computers & Geosciences**, 32, p.1378–1388, 2006.

MINASNY, B., MCBRATNEY, A.B. A rudimentary mechanistic model for soil production and landscape development. **Geoderma** v. 90, n. 1, p.3–21, 1999.

MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B. A rudimentary mechanistic model for soil formation and landscape development II. A two-dimensional model incorporating chemical weathering. **Geoderma**, v. 103, n.1-2, p.161–179, 2001.

MINERAIS DO PARANÁ (MINEROPAR). **Descrição das Unidades Litoestratigráficas. Folha de Ponta Grossa 1:250.000.** 2006. Disponível em: <<http://www.mineropar.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=127>>. Acesso em: 30 de novembro de 2010.

MINITAB[®] RELEASE 16.1.1. Minitab[®] Release 16.1.1 **Statistical Software** (Versão Demo for Windows), Pennsylvania, 2011.

MOMTAZ, H. R.; JAFARZADEH, A.A.; TORABI, H.; OUSTAN, SH.; SAMADI, A.; DAVATGAR, N.; GILKES, R.J. An assessment of the variation in soil properties within and between landform in the Amol region, Iran. **Geoderma**, v. 149. n. 1-2, p. 10-18, 2009.

MONTANARI, R.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M. Forma da paisagem como critério para otimização amostral de Latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.40, p.69-77, 2005.

MOORE, I.D.; GESSLER, P.E.; NIELSEN, G.A.; PETERSON, G.A. Soil attribute prediction using terrain analysis. **Soil Science Soc. Am. Journal**, v. 57, p. 443 – 452, 1993.

MUZZILLI, O. Manejo da matéria orgânica no sistema plantio direto: A experiência no Estado do Paraná. **Informações Agronômicas**, nº 100, p.6-10, dezembro, 2002.
Disponível em:<[http://www.ipni.org.br/ppiweb/brazil.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/d5fbc829a2f54298832569f8004695c5/\\$FILE/Page6-10100.pdf](http://www.ipni.org.br/ppiweb/brazil.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/d5fbc829a2f54298832569f8004695c5/$FILE/Page6-10100.pdf)>. Acesso em: 29 de janeiro de 2011.

NEVES, L. S.; ERNANI, P. R.; SIMONETE, M. A. Mobilidade de potássio em solos decorrente da adição de doses de cloreto de potássio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. ,p. 25-32, 2009.

NICOLODI, M.; ANGHINONI,I.; GIANELLO, C. Relações entre os tipos e indicadores de acidez do solo em lavouras no sistema plantio direto na região do planalto do rio grande do sul. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v. 32, p. 1217-1226, 2008.

OLIVEIRA, J. B. **Pedologia Aplicada**. 3ª. ed. Piracicaba: FEALQ, 2008. 592p.

PARK, S.J.; GIESEN N. Soil–landscape delineation to define spatial sampling domains for hillslope hydrology. **Journal of Hydrology**, v. 295, n., p. 28–46, 2004.

PENNOCK, D.J.; VELDKAMP, A. Advances in landscape-scale soil research. **Geoderma**, v. 133, n. 1-2, p. 1–5, 2006.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais: Exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309p.

PRADO, H. **Pedologia Fácil: aplicações na Agricultura**. 2ª Ed. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2008. 145p.

RAMOS, M.C.; COTS-FOLCH, R.; MARTINEZ-CASASNOVAS, J.A. Effects of land terracing on soil properties in the Priorat region in Northeastern Spain: a multivariate analysis. **Geoderma**, v. 142, n. 3-4, p. 251–261, 2007.

SÁ, J.C.M. **Apontamentos de aula**. 2008.

SÁ, M. F. M. Os solos dos Campos Gerais. MELO, M. S.; MORO, R. S.; GUIMARAES, G. B. **Patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná**. Ponta Grossa, Ed. UEPG, 2007. 230p.: II

SANCHEZ, R. B.; MARQUES JÚNIOR, 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**, Campinas, v.68, n.4, p.1095-1103, 2009.

SENA, M. M.; POPPI, R. J.; FRIGHETTO, R. T.S.; VALARINI, P. J. Avaliação do uso de métodos quimiométricos na análise de solos. **Química Nova**, v.23, n. 4, p. 556-574, 2000.

SILVA JUNIOR, J. F.; SANCHEZ, M. G. B.; JÚNIOR, J. M.; PEREIRA, G. T.; CAMARGO, L. A. Variabilidade espacial da qualidade física do solo e relação com as formas do relevo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO- ConBAP, 2010, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SBEA, 2010. 1 CD-ROM.

SIQUEIRA NETO, M.; VENZKE FILHO, S. P.; PICCOLO, M. C.; CERRI, C. E. P.; CERRI C. C. Rotação de culturas no sistema plantio direto em Tibagi (PR). I - seqüestro de carbono no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. , p. 1013-1022, 2009.

SMECK, N. E. Phosphorus dynamics in soil and landscapes. **Geoderma**, v.36, n. 3-4, p.185-199, 1985.

SOARES FILHO, B. S. **Análise de Paisagem: fragmentação e mudanças. Apostila. Departamento de Cartografia, Centro de Sensoriamento Remoto.** Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 1998. 89p. Disponível em:<www.csr.ufmg.br>. Acesso em: 12 dez. 2010.

SOUZA, C.K., MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M.V.; PEREIRA, G.T. Influência do relevo e erosão na variabilidade espacial de um Latossolo em Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.1067-1074, 2003.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA G. T. Spatial Variability of the Physical and Mineralogical Properties of the Soil from the Areas with Variation in Landscape Shapes. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. v.52, n. 2, p.305-316, 2009.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.937-944, 2004.

SURFER Versão Demo for Windows. Realese 8.0. (2002), Contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers. User's Guide. New York: Golden software.

TOMÉ JÚNIOR, J. B. **Manual para interpretação da análise de solo.** Guaíba: Agropecuária, 1997. 247p.

TREVISAN, R.L.; LANA, R. M. Q.; ZANÃO JUNIOR, L. A.; GUIMARÃES, E. C.; LACERDA, Z.C. Variabilidade vertical de fósforo, micronutrientes e matéria orgânica em latossolo vermelho cultivado sob sistema plantio direto e cultivo mínimo. **Horizonte Científico**, Uberlândia, vol. 2, n. 1, p. 1-13, 2008.

TROEH, F.R. Landform equations fitted to contour maps. **American Journal of Science**, v. 26, n.3, p.616-627, 1965.

VAN GROENIGEN, J.W.; SIDERIUS, W.; STEIN, A. Constrained optimisation of soil sampling for minimisation of the kriging variance. **Geoderma**, v. 87, n. 3, p. 239–259, 1999.

VARENNE, A. **Produtividade dos solos e ambientes**. Lisboa: Escolar, 2003. 490p.

VAŠÁT, R.; HEUVELINK, G.B.M.; BORŮVKA, L. Sampling design optimization for multivariate soil mapping. **Geoderma**, v.155, n. 3-4, p. 147–153, 2010.

WARRICK, A.W. ; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D., 2^a ed. **Applications of soil physics**. New York, Academic Press, 1980. p.319-344.

WEBSTER, R. Is soil variation random? **Geoderma**, v.97, n. 3-4, p.149–163, 2000.

WEBSTER, R. Analysis of variance, inference, multiple comparisons and sampling effects in soil research. **European Journal of Soil Science**, v. 58, n. 1, p. 74 - 82, 2007.

WEBSTER, R. Mathematics in soil science. **European Journal of Soil Science**, September, 48, p.3-63, 1997a.

WEBSTER, R. Regression and functional relations. **European Journal of Soil Science**, 48, p.557-566, 1997b.

WEBSTER, R. Statistics to support soil research and their presentation. **European Journal of Soil Science**, June, 52, p. 331-340, 2001.

WEBSTER, R., OLIVER, M.A. Sample adequately to estimate variograms of soil properties. **The Journal of Soil Science**, 43, p.177–192, 1992.

WEIRICH NETO, P. H.; BUZOLINI JR, O.; ROCHA, J. V. DA; BORGHI, E.; SVERZUT, C. B. Variabilidade espacial do teor de areia, utilizando-se diferentes métodos de interpolação. In: FERTBIO, 1. Santa Maria, 2000. **Anais...** Santa Maria, SBCS/SBM/UFSM, 2000. CD-ROM.